



POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura
per il progetto Sostenibile

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Dicembre 2018

**INDAGINI SULLE NECROPOLI ETRUSCHE
NEL PARCO ARCHEOLOGICO DI BARATTI
E POPULONIA**

**Integrazione di strumenti avanzati per il
rilievo metrico 3D e la rappresentazione dei
dati in ambiente cartografico tramite
strumenti GIS.**

Candidata:
ANNA RABBIA

Relatrice:
ANTONIA SPANO'
Correlatrice:
SILVIA GUIDERI

Indice

	Introduzione	6	
1	Inquadramento territoriale al Parco	1.1 Il Piano di Indirizzo Territoriale e le Colline Metallifere	12
		1.2 La Val di Cornia	32
		1.3 Sistema Parchi Val di Cornia.....	38
		1.4 Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia	44
		2.1 Le origini di Populonia	58
2	Inquadramento storico	2.2 Il mondo etrusco.....	66
		2.3 La decadenza con l'avvento del mondo romano.....	82
		2.4 Le scoperte del XX secolo	99
		2.5 Le strutture tombali e i materiali lapidei delle Necropoli	105
		3.1 Rete topografica e GPS.....	120
3	Metodi e strumenti per il rilievo 3D	3.2 Fotogrammetria	124
		3.3 Tecnologia Lidar.....	130
		3.4 Tecnologia Mobile Mapping.....	132

4

Acquisizione e resituzione dei dati

4.1	La rete	136
4.2	Fotogrammetria aerea	
4.2.1	Pianificazione dei voli	144
4.2.2	Caratteristiche dei droni utilizzati	146
4.2.3	Elaborazione dei dati acquisiti	150
4.3	Fotogrammetria terrestre	
4.3.1	Tomba del Bronzetto dell'Offerente	165
4.3.2	Necropoli delle Grotte	171
4.4	Tecnologia Lidar	
4.4.1	Acquisizioni delle scansioni	179
4.4.2	Registrazione delle scansioni	186
4.5	Tecnologia Mobile Mapping	
4.5.1	Caratteristiche dello strumento	194
4.5.2	Acquisizione della nuvola	196
4.5.3	Elaborazione della nuvola	201

5

Conoscenza dei luoghi a grande scala

5.1	Estrazione modelli bidimensionali	
5.1.1	Tombe Limitrofe	217
5.1.2	Cava delle Grotte	229
5.2	Estrazione modelli tridimensionali	
5.2.1	Cava delle Grotte	237

6

Conoscenza dei luoghi tramite la cartografia

6.1	Gestione dei dati spaziali	
6.1.1	Struttura dei dati GIS	253
6.1.2	I dati utilizzati	256
6.2	Nuovi dati della cartografia del parco	
6.2.1	I modelli di elevazione e di superficie	260
6.2.2	Traslazione dei modelli ed esiti dei dati georiferiti	268
6.2.3	Dalla nuvola di punti al tracciato del sentiero	280
6.2.4	Gli itinerari nel parco archeologico	292

Conclusioni	295
Bibliografia	296
Sitografia	300
Tesi	301

Introduzione

Questo elaborato di tesi si pone l'obiettivo di ricercare nuovi tipi di informazioni attraverso la conoscenza e l'investigazione dell'ambiente costruito nel relativo paesaggio, tramite l'integrazione di metodi avanzati per il rilievo metrico 3D, disponibili oggi per essere impiegati alle diverse scale di analisi, dal contesto territoriale e paesaggistico ai beni archeologici e architettonici.

Il parco Archeologico di Baratti e Populonia si estende tra le pendici del promontorio di Piombino e il Golfo di Baratti, si presenta come un vero e proprio museo all'aperto, dove il terreno delle necropoli luccica di scorie ferrose come testimonianza dell'imponente presenza di una città industriale etrusca.

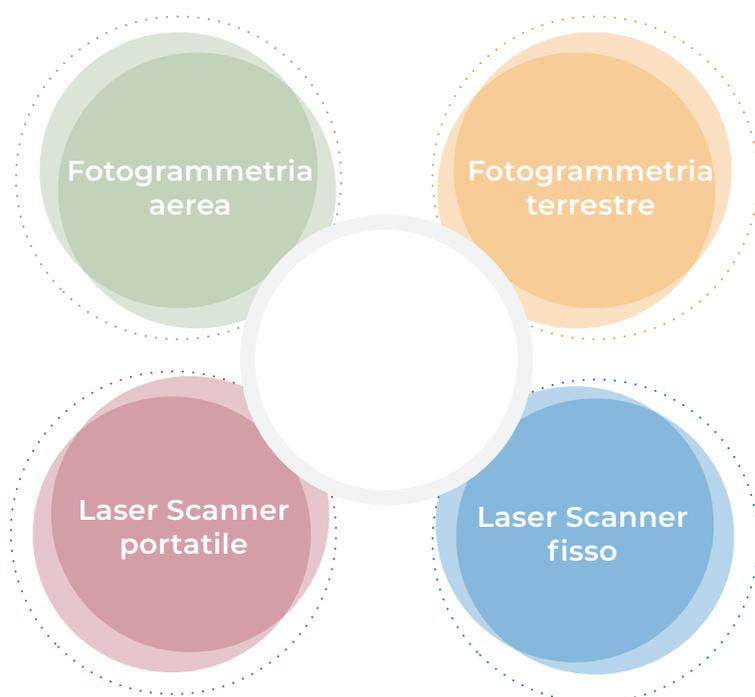
Per la conoscenza del territorio, nella prima parte dell'elaborato, sono stati utilizzati i sistemi informativi geografici per la creazione e l'analisi di una cartografia di base dell'area di studio e le relazioni con l'ambiente circostante. L'obiettivo prefissato è quello di aggiornare e integrare la cartografia presente con nuove informazioni spaziali ottenute tramite il rilievo 3D eseguito in prossimità delle Necropoli.

I metodi di indagine utilizzati, per la comprensione delle Necropoli del parco archeologico di Baratti e Populonia e le loro relazioni spaziali, hanno previsto la scelta della fotogrammetria UAV per la conoscenza complessiva del contesto in cui sono inseriti le aree di analisi. Questi dati sono integrati con i metodi terrestri per generare modelli tridimensionali multiscala e multisensore, ortofoto e prodotti grafici bidimensionali e tridimensionali, per poi traslare queste informazioni in un ambiente cartografico numerico. Per la creazione di modelli bidimensionali e tridimensionali densi e ricchi di informazioni sono state utilizzate le tecniche della fotogrammetria terrestre, la tecnologia Lidar e la tecnologia basata sull'algoritmo SLAM tramite un sistema di mappatura mobile. L'innovativo sistema di mappatura mobile 3D è in grado di generare la nuvola di punti in movimento, rilevando anche piccoli spazi circoscritti, mostrandosi di fondamentale importanza per la conoscenza e la ricostruzione del paesaggio e del

patrimonio indagato.

La sinergia e l'integrazione di queste metodologie ha permesso di ottenere un modello complessivo non carente di informazioni, non ridondante, tramite la scelta di conservare solo i dati necessari sulla base dell'obiettivo prefissato. I risultati raggiunti a seguito delle elaborazioni eseguite sono stati raccolti e trasportati in un ambiente cartografico numerico, un sistema GIS, per analizzare e comprendere al meglio il patrimonio indagato. La scelta di trasporre le informazioni in una piattaforma GIS mira a una maggiore condivisione di dati e delle informazioni raccolte del patrimonio archeologico e paesaggistico. Con la speranza che i prodotti metrici di rappresentazione ottenuti potranno fornire una base conoscitiva solida ed anche strumento di studio per gli specialisti.

Lo schema riportato ha l'obiettivo di identificare le tecniche impiegate e l'importanza di utilizzare queste informazioni tra loro. I dati acquisiti con il laser portatile non avrebbero la stessa valenza se non fossero stati intrecciati con i dati fotogrammetrici e laser scanner fissi per ottenere la georeferenziazione nel sistema prescelto, ma non solo. La Cava delle Grotte, riportata nella copertina, è in qualche modo il simbolo dell'integrazione e delle possibilità di restituzione di rilievo che si possono eseguire; sono stati necessari diversi dati, provenienti da strumentazioni e metodo di rilievo differenti, per poter ottenere il modello complessivo, sia 2D che 3D.





1 **INQUADRAMENTO TERRITORIALE**
Parco Archeologico di Baratti e Populonia

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Regione Toscana - Parco archeologico di Baratti e Populonia



Scala di rappresentazione

1 : 1.200.000

0 25 50 75 100 km



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra i confini amministrativi della Regione Toscana all'interno del panorama italiano. Fin da questa carta è possibile individuare il posizionamento del Parco Archeologico di Baratti e Populonia, di fronte all'Isola d'Elba, in provincia di Livorno, all'interno dei territori amministrativi del Sistema Val di Cornia.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Intorno Toscana - Italia
- Batimetriche (da -10 a -1500 m)
- Carta Topografica 50K

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- ambiti_provinciali
- ambiti_comunali

Dataset Regionale della Toscana dal Geoportale GEOscopio in coordinate Gauss-Boaga Fuso Ovest (codice EPSG:3003), convertite tramite l'utilizzo del Software ConveRgo 1.01.

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Profilo Val di Cornia
- Parco Archeologico di Baratti e Populonia

LEGENDA

-  profilo Val di Cornia
-  Parco Archeologico Baratti e Populonia
-  province Toscana

Basi WMS:

-  Italia
-  Batimetriche
-  Carta topografica 50K

1.1 PIT _

Piano di Indirizzo Territoriale

Sulla scena italiana viene riproposto il tema dei Piani paesaggistici regionali a seguito dell'entrata in vigore del Codice dei beni culturali e del Paesaggio (D.lgs. 42/2004), modificando in modo significativo il concetto di paesaggio. Il Codice richiede ai Piani Paesaggistici di ridefinire il concetto di paesaggio:

“non più solo i paesaggi eccellenti e la loro conservazione, ma anche i paesaggi delle periferie e delle campagne urbanizzate, delle lottizzazioni incrementali e delle aree dismesse, delle zone industriali degradate, dei bacini fluviali a rischio, delle aree interne in abbandono e così via.”

Come conseguenza della Convenzione europea siglata a Firenze nel 2006 dunque, cambia lo sguardo verso il paesaggio, mira ai modi di vita delle popolazioni estendendosi su tutto il territorio regionale. Il grande passo da compiere è quello di superare l'idea di tutela, attraverso la codificazione di nuove regole, condivise, al fine di far crescere e governare il paesaggio nei migliori dei modi.

Nella definizione del paesaggio, come emerge dalla Relazione generale del Piano Paesaggistico della Toscana, concorrono tre approcci: l'approccio estetico-percettivo (ossia il passaggio del concetto di “bellosguardo” alla percezione degli abitanti dei loro modi di vita), l'approccio ecologico (l'organizzazione eco-sistemica delle valenze ambientali) e l'approccio strutturale (identità e rapporto tra gli insediamenti urbani e l'ambiente, ponendo in relazione il ‘paesaggio ecologico’ e il ‘paesaggio culturale’).

Il Codice in diversi passaggi mira a sottolineare l'importanza della condivisione e confronto delle regole del Piano sia a livello regionale che locale, usando un approccio focalizzato su quelle che sono definite le ‘invarianti strutturali’, ossia “regole che informano ordinariamente la trasformazione del territorio”.

La Regione Toscana ha deciso di affiancare al piano di

indirizzo territoriale, PIT, un piano paesaggistico a partire dal 2007, redatto in forma conclusiva nel 2011. L'obiettivo principale è quello di integrare e mantenere uniti i dispositivi di pianificazione del territorio e del paesaggio, contenendo entrambe le dimensioni, e allo stesso tempo le diverse identità.

L'elemento più significativo al fine di questo elaborato di tesi è, sicuramente, la produzione di una nuova cartografia della Toscana. La descrizione cartografica del patrimonio del territorio toscano e dei suoi paesaggi è stata determinante per la redazione delle diverse invarianti strutturali e delle rappresentazioni di sintesi alla scala d'ambito. L'insieme dei principali caratteri topografici e paesaggistici del territorio regionale sono stati realizzati in scala 1:50.000.

La lettura e l'analisi del territorio in esame si è basata sulla definizione di quattro invarianti strutturali:

1. I caratteri idrogeomorfologici dei sistemi morfogenetici e dei bacini idrografici
2. I caratteri ecosistemici del paesaggio
3. Il carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, infrastrutturali e urbani
4. I caratteri identitari dei paesaggi rurali toscani

Il codice prevede che il Piano Paesaggistico riconosca gli aspetti, i caratteri peculiari e le caratteristiche paesaggistiche del territorio regionale, e ne delimiti i relativi ambiti, in riferimento alle specifiche norme d'uso e agli obiettivi. La Regione Toscana ha valutato i seguenti elementi, per poter poi individuare i diversi ambiti:

- sistemi idro-geomorfologici
- caratteri eco-sistemici
- la struttura insediativa e infrastrutturale di lunga durata
- i caratteri del territorio rurale
- i grandi orizzonti percettivi
- il senso di appartenenza della società insediata
- i sistemi socio-economici locali
- le dinamiche insediative e le forme dell'inter-comunalità

Dall'analisi attenta di questi elementi son stati individuati 20 Ambiti. Al fine di ottenere una maggiore efficacia delle politiche territoriali e nel riconoscimento del senso di appartenenza delle comunità locali, sono stati rispettati i limiti comunali.

I 20 ambiti di Paesaggio della Toscana sono:

1. Lunigiana
2. Versilia e costa apuana
3. Garfagnana e Val di Lima
4. Lucchesia
5. Val di Nievole e Val d'Arno inferiore
6. Firenze-Prato-Pistoia
7. Mugello
8. Piana Livorno-Pisa-Pontedera
9. Val d'Elsa
10. Chianti
11. Val d'Arno superiore
12. Casentino e Val Tiberina
13. Val di Cecina
14. Colline di Siena
15. Piana di Arezzo e Val di Chiana
- 16. Colline Metallifere**
17. Val d'Orcia e Val d'Asso
18. Maremma grossetana
19. Amiata
20. Bassa Maremma e ripiani tufacei

In seguito verrà presa in esame la Scheda d'Ambito delle Colline Metallifere correlata alle quattro varianti strutturali, per poter conoscere al meglio in territorio toscano e il paesaggio circostante al Parco Archeologico di Baratti e Populonia.

Bibliografia di riferimento

PIT. Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico.
Relazione generale del Piano Paesaggistico, Regione Toscana, 2006.

Piano Particolareggiato del Parco Archeologico di Baratti e Populonia:
Relazione Paesaggistica, Comune di Piombino, 2011.

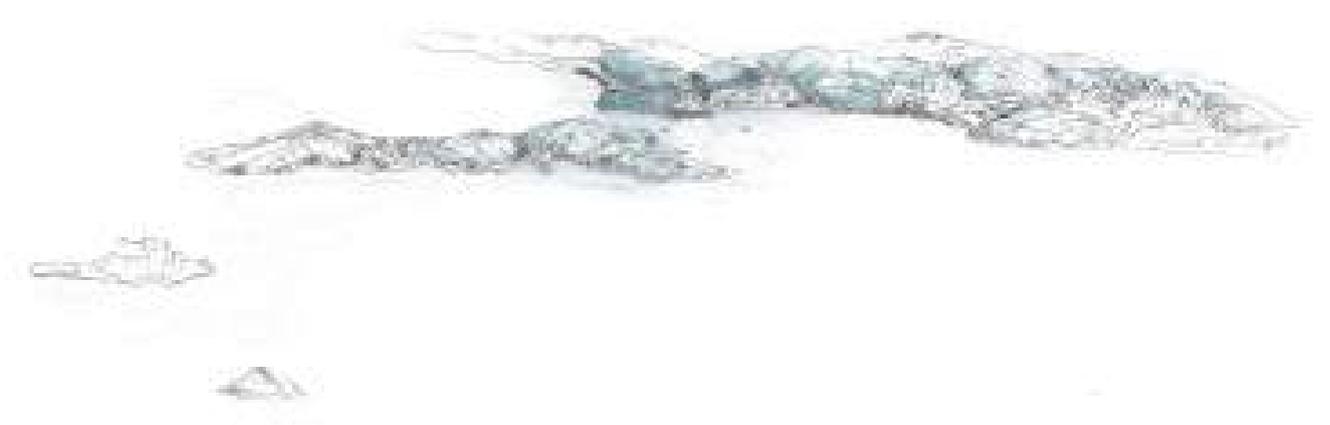
PIT. Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico.
Scheda ambito di paesaggio: Colline Metallifere e isola d'Elba, Regione Toscana, 2015.



Golfo di Baratti. Foto di Andrea Barghi / VARDA, tratta dalla Scheda d'ambito di paesaggio delle Colline Metallifere.



Area mineraria di Rio Marina. Foto di M. D'orefice /ISPRA, tratta dalla Scheda d'ambito di paesaggio delle Colline Metallifere.



Disegno a mano del territorio delle Colline metallifere e dell'Isola d'Elba, elaborazione tratta dalla Scheda d'ambito di paesaggio delle Colline Metallifere, pag.3.

Piano di Indirizzo Territoriale (PIT)

Ambiti di Paesaggio - Regione Toscana



Scala di rappresentazione

1 : 1.200.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra la suddivisione del territorio della Toscana nei 20 ambiti descritti nel Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico. Sono evidenziati i confini dell' Ambito 16, ossia delle Colline Metallifere, dove sorge il Parco.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Intorno Toscana - Italia
- Batimetriche (da -10 a -1500 m)
- DTM 10 metri orografico (da 0 m slm a 2.100 m slm)

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- aree_edificato continuo_50k
- fiumi
- ambiti PIT

Dataset Regionale della Toscana dal Geoportale GEOscopio in coordinate Gauss-Boaga Fuso Ovest (codice EPSG:3003), convertite tramite l'utilizzo del Software ConveRgo 1.01.

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Colline metallifere
- Parco Archeologico di Baratti e Populonia

LEGENDA

-  Parco Archeologico Baratti e Populonia
-  fiumi
-  aree_edificato continuo

Basi WMS:

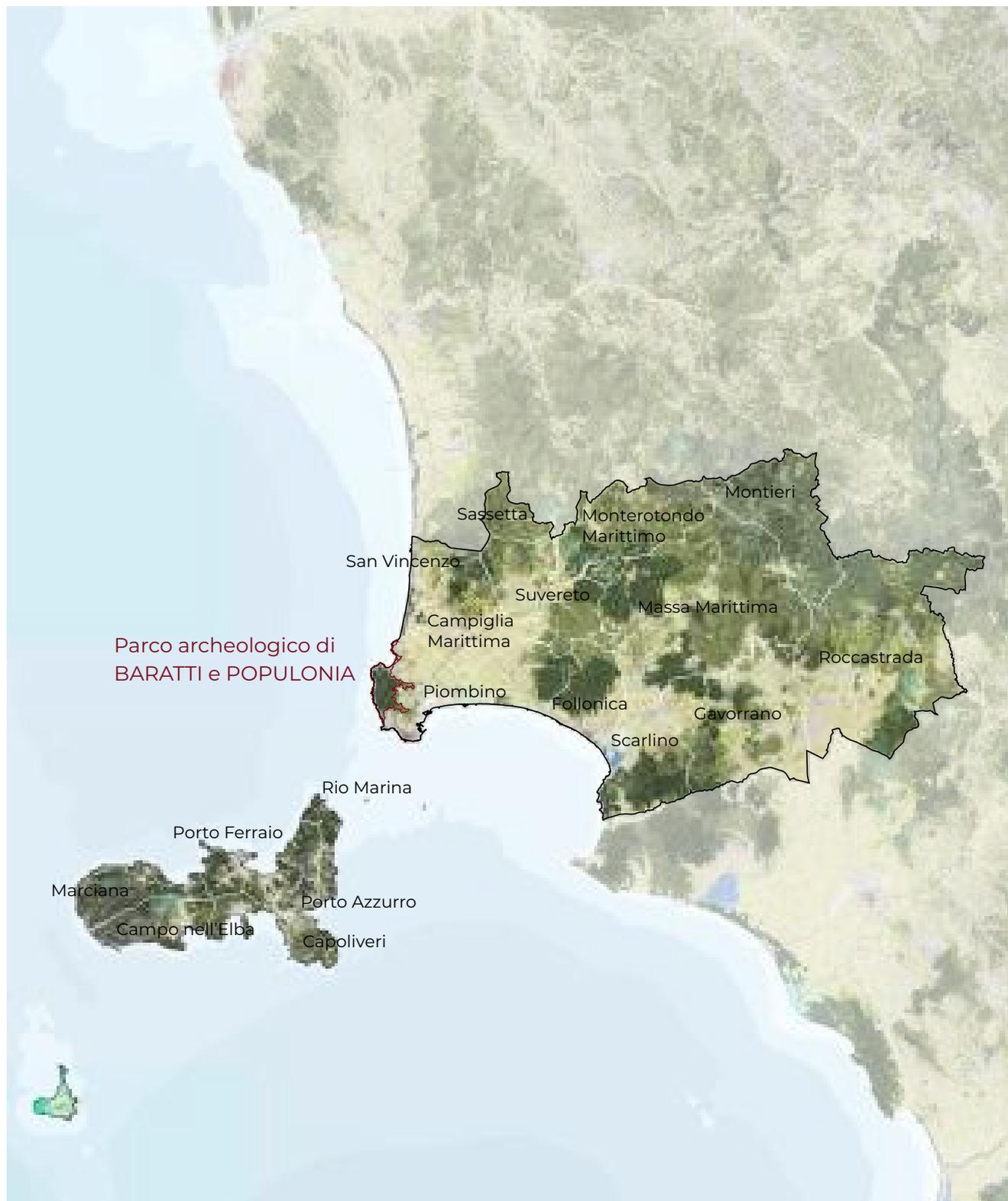
-  Italia
-  Batimetriche

DTM 10 metri Orografico

-  pianura 0-300 m slm
-  collina 300-700 m slm
-  montagna 700-1200 slm

Piano di Indirizzo Territoriale (PIT)

Ambito 16- Colline Metallifere
e Isola d'Elba



Scala di rappresentazione

1 : 500.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra i confini e quali comuni fanno parte dell'Ambito 16, Colline Metallifere e isola d'Elba. secondo il Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Batimetriche (da -10 a -1500 m)
- Carta dei Caratteri del Paesaggio_50.000

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- am_com_multipart-UOO-32
- ambiti PIT

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Colline metallifere
- Parco Archeologico di Baratti e Populonia
- Comuni_colline metallifere

LEGENDA

-  Parco Archeologico di Baratti e Populonia
-  Colline Metallifere
-  Comuni Colline Metallifere

Basi WMS:

-  Batimetriche
-  Carta dei Caratteri del Paesaggio

Varianti strutturali del PIT con valenza di piano paesaggistico (PPR)

Le invarianti strutturali del Piano di Indirizzo Territoriale regionale con valenza di Piano Paesaggistico sono state aggiunte durante l'ultimo aggiornamento del 2011, con lo sguardo e la creazione di strumenti urbanistici sovraordinati. Servono a descrivere le basi strutturali del Paesaggio, visto come "patrimonio" territoriale dell'intera Toscana, creato nei secoli grazie all'equilibrio tra la Natura e la Cultura.

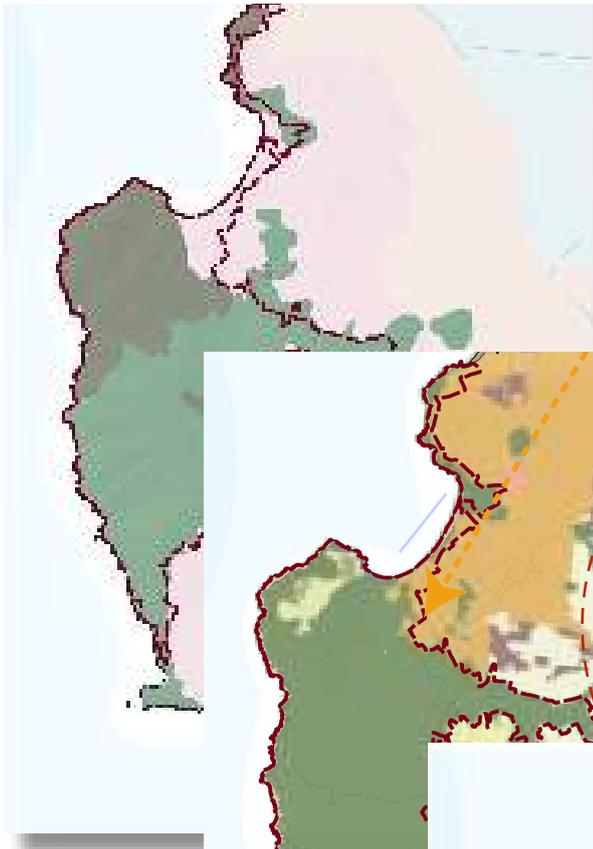
1) I **caratteri idrogeomorfologici dei sistemi morfologici e dei bacini idrografici** costituiscono la struttura fondativa dei caratteri identitari alla base dell'evoluzione storica dei paesaggi della Toscana. All'origine dei processi di territorializzazione, mostrando diversi paesaggi urbani e rurali, è la forte geodiversità ed articolazione dei bacini idrici.

2) I **caratteri ecosistemici del paesaggio** costituiscono i sistemi relativi alla vita di componenti vegetali e animali presenti nel paesaggio. Fanno riferimento a un ricco ecomosaico, dove le matrici dominanti sono di tipo forestale o agricolo si relazionano con elevati livelli di biodiversità e importanti valori naturalistici.

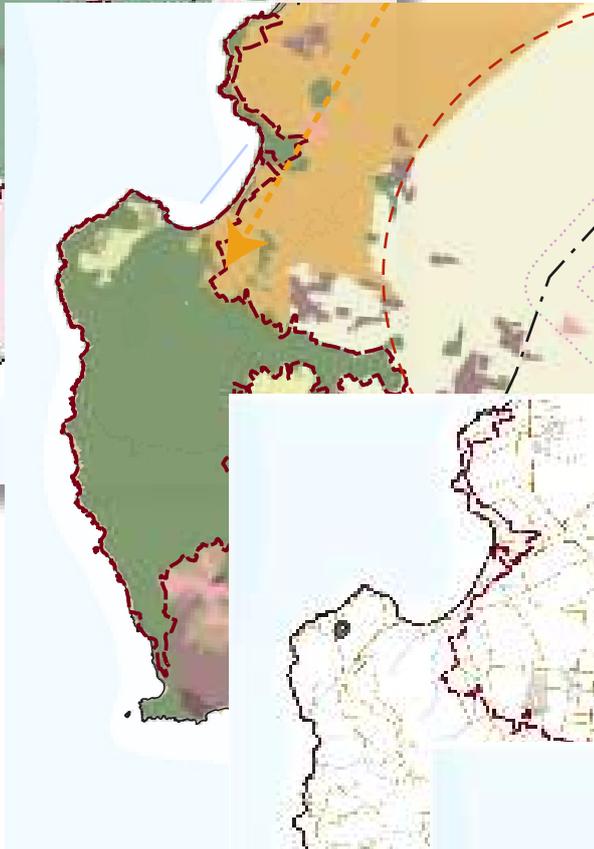
3) Il **carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, infrastrutturali e urbani**, dalla sedimentazione storica del mondo etrusco fino alla modernità. L'elevata differenziazione morfotipologica, correlata con i caratteri idrogeomorfologici e rurali, ha creato un policentrismo organizzato in piccole e medie città di alto valore artistico.

4) Infine, i **caratteri identitari dei paesaggi rurali toscani**, anche se molto differenti presentano caratteristiche accumulabili: il rapporto tra sistema insediativo e territorio agricolo, l'alta qualità architettonica e urbanistica dell'architettura rurale e la persistenza dell'infrastruttura rurale e della maglia agraria storica.

Le carte riportate sono state elaborate tramite il Software open di QGIS, tramite il dataset delle Invarianti strutturali in scala 1 : 500.000.



I caratteri idrogeomorfologici dei sistemi morfologici e dei bacini idrografici



I caratteri ecosistemici del paesaggio



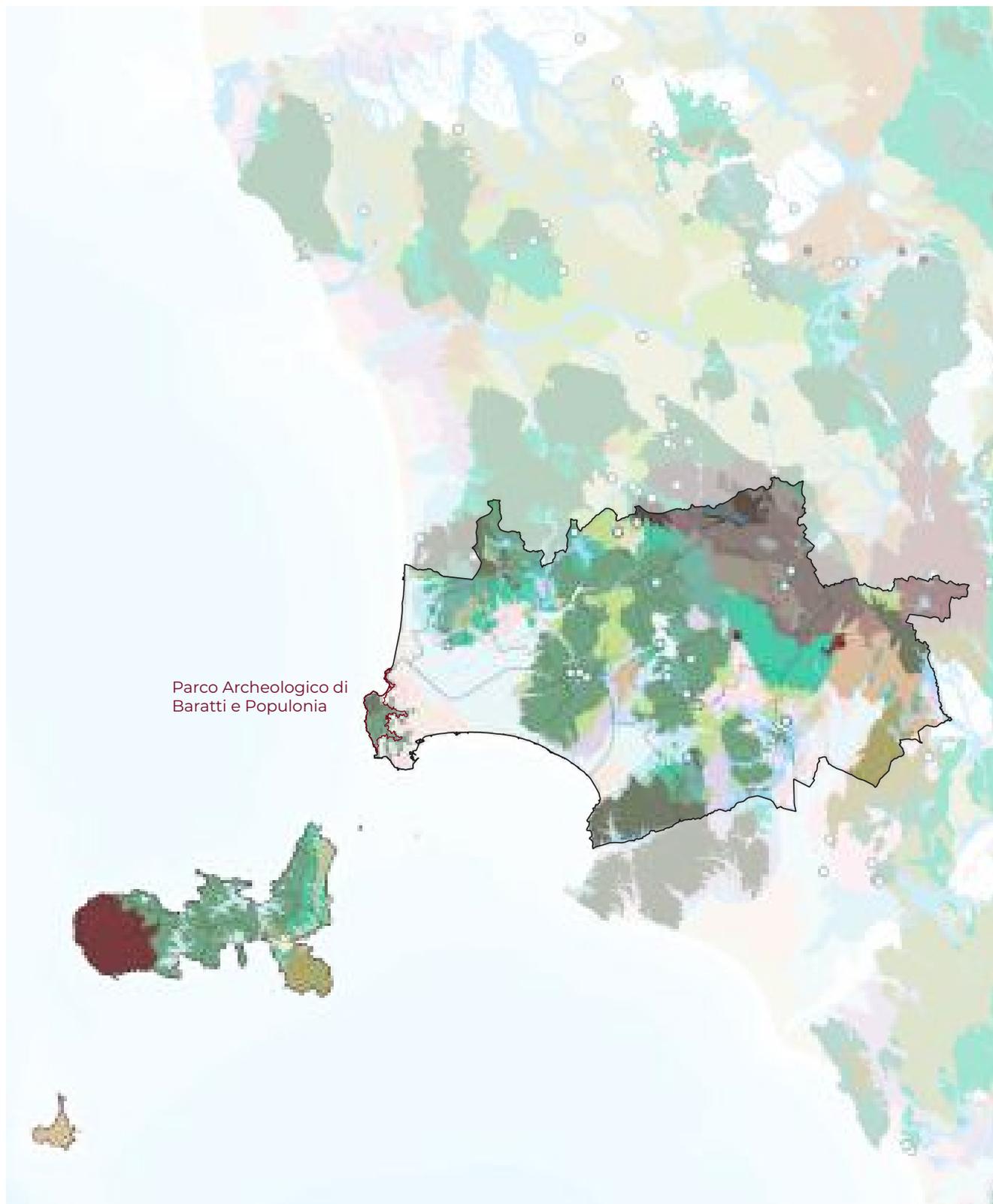
Il carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, infrastrutturali e urbani



I caratteri identitari dei paesaggi rurali toscani

PIT _ Invariante strutturale I

I Caratteri idro-geo-morfologici dei bacini idrografici e dei sistemi morfogenetici



Scala di rappresentazione

1 : 500.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTMZone32N (codiceEPSG:32632).

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Batimetriche (da -10 a -1500 m)

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- Invarianti strutturali : sistemi-morfogenetici

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Profilo Colline metallifere

- Comuni Colline Metallifere

- Parco Archeologico di Baratti e Populonia

LEGENDA

— Parco Archeologico di Baratti e Populonia

— Colline metallifere

— Comuni colline metallifere

Costa a dune e Cordoni

Depressioni retrodunali

Costa alta

Fondovalle

Bacini di Esondazione

Alta Pianura

Margine Inferiore

Margine

Montagna silioclastica

Montagna calcarea

Montagna su Unità dardillitiche a calcareomarsose

Montagna antica su terreni silicei del basamento

Montagna ignea

Dorsale silioclastica

Dorsale carbonatica

Collina, argille dominanti

Collina, litologie alternate

Collina con depositi neoquaternali

Collina calcarea

Collina a versanti dolci sulle Unità Liguri

Collina a versanti ripidi sulle Unità Liguri

Collina a versanti dolci sulle Unità Toscane

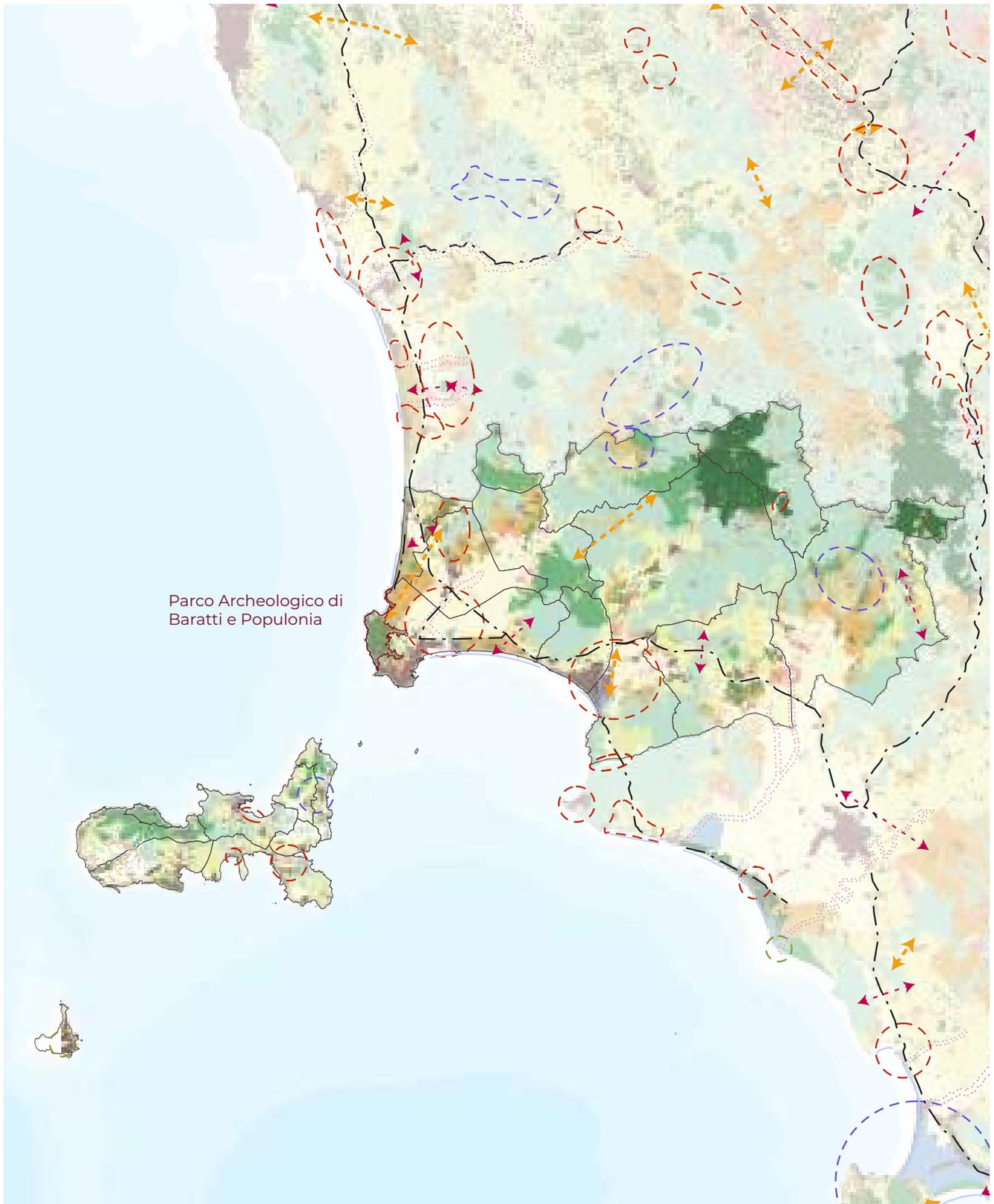
Collina a versanti ripidi sulle Unità Toscane

Collina su terreni neogenici deformati

Collina a terreni silicei del basamento

PIT _ Invariante strutturale II

I Caratteri ecosistemici del paesaggio



Scala di rappresentazione

1 : 500.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTMZone32N (codice EPSG:32632).

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Batimetriche (da -10 a -1500 m)

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- Invarianti strutturali : rete_ecologica

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Profilo Colline metallifere

- Comuni Colline Metallifere

- Parco Archeologico di Baratti e Populonia

LEGENDA

	Parco Archeologico di Baratti e Populonia		
	Colline metallifere		
	Comuni colline metallifere		
	Nodo forestale primario		
	Nodo forestale secondario		
	Matrice forestale ad elevata connettività		
	Nuclei di connessione ed elementi forestali isolati		
	Aree forestali in evoluzione a bassa connettività		
	Corridoio ripariale		
			
	Nodo degli agrosistemi		
	Matrice agroecosistemica collinare		
	Matrice agroecosistemica di pianura		
	Agroecosistemica frammentato attivo		Direttrice di connettività da ricostruire
	Agroecosistemica frammentato in abbandono		Direttrice di connettività da riqualificare
	Matrice agroecosistemica di pianura urbanizzata		Corridoio ecologico costiero da riqualificare
	Agroecosistema intensivo		Corridoio ecologico fluviale da riqualificare
	Zone umide		Barriera infrastrutture da mitigare
	Coste sabbiose		Aree critiche per processi di artificializzazione
	Coste sabbiose con ecosistemi dunali integri		Aree critiche per i processi di abbandono e di artificializzazione
	Coste rocciose		Aree critiche per processi di abbandono culturale e di dinamiche naturali
	Area urbanizzata		

PIT _ Invariante strutturale III

Il Carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, urbani e infrastrutturali



Scala di rappresentazione

1 : 500.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTMZone32N (codice EPSG:32632).

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Batimetriche (da -10 a -1500 m)

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- Invarianti strutturali : sistemi morfogenetici

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Profilo Colline metallifere
- Comuni Colline Metallifere
- Parco Archeologico di Baratti e Populonia

LEGENDA

 Parco Archeologico di Baratti e Populonia

 Colline metallifere

 Comuni colline metallifere

 Aree ad edificato continuo al 1830

 Aree ad edificato continuo al 1954

 Aree ad edificato continuo al 2012

 Edifici presenti al 2012

 Ferrovia

 Viabilità

 Percorsi fondativi

 Fiumi

 Area bagnata

PIT _ Invariante strutturale IV

I Caratteri morfotipologici dei sistemi agro ambientali dei paesaggi rurali



Scala di rappresentazione

1 : 500.000

0 10 20 30 40 km

Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTMZone32N (codiceEPSG:32632).

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Batimetriche (da -10 a -1500 m)

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- Invarianti strutturali : morfotipi_rurali

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Profilo Colline metallifere

- Comuni Colline Metallifere

- Parco Archeologico di Baratti e Populonia

LEGENDA

— Parco Archeologico di Baratti e Populonia

— Colline metallifere

— Comuni colline metallifere

■ Morfotipo dei seminativi tendenti alla riaturalizzazione in contesti marginali

■ Morfotipo dei seminativi semplici a maglia medio-ampia di impronta tradizionale

■ Morfotipo dei seminativi semplificati di pianura o fondovalle

■ Morfotipo dei seminativi delle aree di bonifica

■ Morfotipo dei campi chiusi a seminativo a prato di collina e di montagna

■ Morfotipo dei campi chiusi a seminativo e a prato di pianura e delle prime pendici

■ Morfotipo della viticoltura

■ Morfotipo dell'ovicoltura

■ Morfotipo dell'associazione tra seminativi e monocolture arboree

■ Morfotipo dei seminativi arborati

■ Morfotipo del seminativo a oliveto di collina

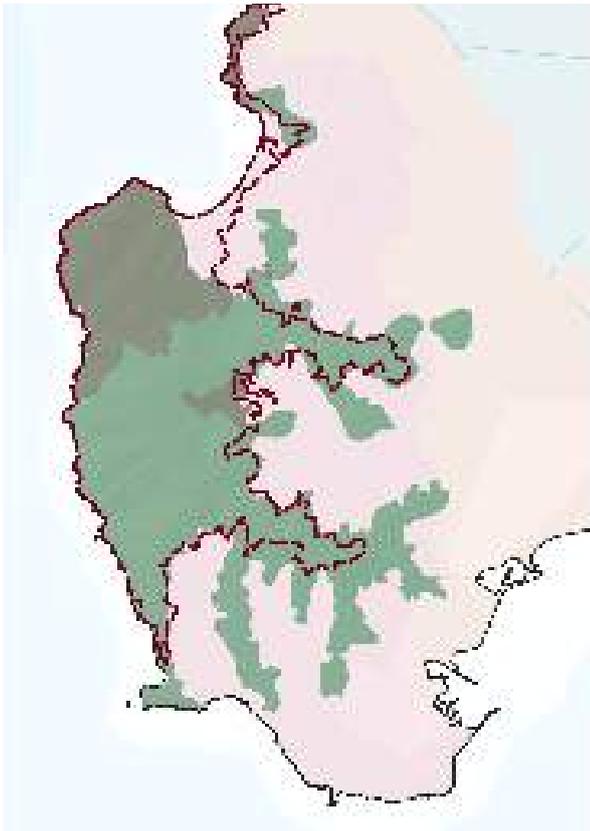
■ Morfotipo complesso del seminativo, oliveto e vigneto di pianura e delle pendici collinari

■ Morfotipo del mosaico collinare a oliveto e vigneto prevalenti

■ Morfotipo del mosaico culturale complesso a maglia fitta di pianura e delle pendici collinari

■ Morfotipo del mosaico culturale di assetto tradizionale di collina e di montagna

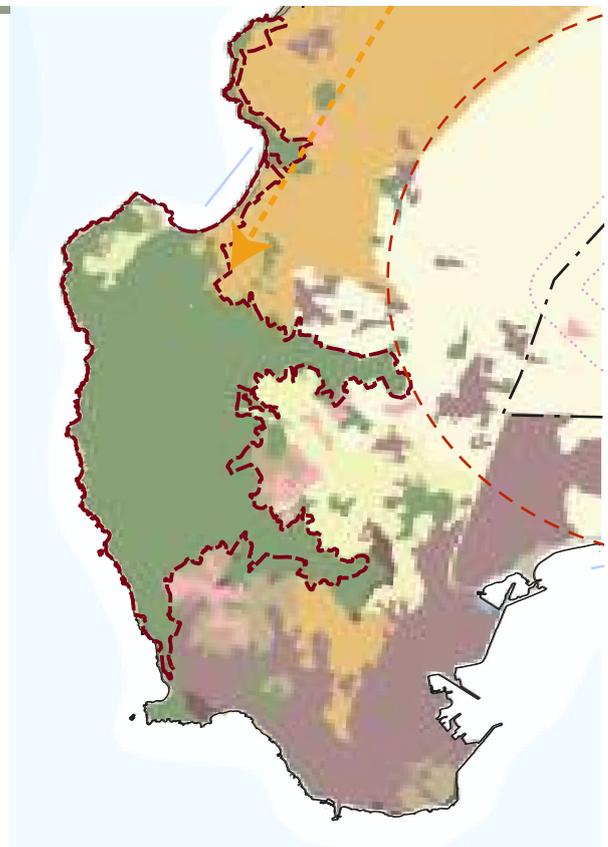
I Caratteri idro-geo-morfologici dei bacini idrografici e dei sistemi morfogenetici



- Collina a versanti ripidi sulle Unità Toscane
- Collina a versanti ripidi sulle Unità Liguri
- Margine inferiore
- Depressioni retrodunali
- Bacini di esondazione

I Caratteri ecosistemici del paesaggio

- Matrice forestale ad elevata connettività
- Nuclei di connessione ed elementi forestali isolati
- Aree forestali in evoluzione a bassa connettività
- Corridoio ripariale
- Nodo degli agrosistemi
- Matrice agroecosistemica collinare
- Matrice agroecosistemica di pianura
- Agroecosistemica frammentato attivo
- Agroecosistemica frammentato in abbandono
- Matrice agroecosistemica di pianura urbanizzata
- Agroecosistema intensivo
- Zone umide
- Coste sabbiose
- Coste sabbiose con ecosistemi dunali
- Coste rocciose
- Area urbanizzata



Il Carattere policentrico e reticolare dei sistemi insediativi, urbani e infrastrutturali



-  Aree ad edificato continuo al 1830
-  Aree ad edificato continuo al 1954
-  Aree ad edificato continuo al 2012
-  Edifici presenti al 2012
-  Ferrovia
-  Viabilità
-  Percorsi fondativi
-  Fiumi
-  Area bagnata

I Caratteri morfotipologici dei sistemi agro ambientali dei paesaggi rurali

-  Morfotipo dei seminativi semplificato di pianura o fondovalle
-  Morfotipo dei seminativi delle aree di bonifica
-  Morfotipo del mosaico colturale complesso a maglia fitta di pianura e delle prime pendici collinari



Scala di rappresentazione 1 : 100.000

1.2 La Val di Cornia

Sulla base del Piano Paesaggistico della Toscana del 2009, il territorio toscano ha subito una sotto classificazione in ben 38 ambiti, riconoscendo la zona in cui è inserito il Parco Archeologico di Baratti e Populonia come la Val di Cornia.

L'ambito 23 prende il nome dal bacino del fiume Cornia, nasce alle pendici del monte Cornate, cima principale del panorama delle Colline Metallifere. La zona ricade all'interno della Provincia di Livorno, comprendendo i comuni di Campiglia Marittima, Follonica, Piombino, San Vincenzo, Sassetta e Suvereto.

La piana di Piombino è compresa tra il Monte Massoncello (286 metri) e Monte Calvi (646 metri, sulla cui vetta si incontrano i confini del comune di Suvereto, San Vincenzo e Campiglia. Il monte Massoncello è un'antica isola, saldata al continente dai depositi alluvionali. Nella piana di Piombino esistevano diverse paludi, colmate nel XIX secolo.

I collegamenti tra le città della Val di Cornia avvengono tramite le strade ordinarie e le ferrovie che attraversano da Nord a Sud l'area. La strada costiera, l'antica Aurelia, venne proseguita nella prima parte dell'Ottocento, a seguito delle bonifiche promosse da Leopoldo II. Un'altra strada storica è quella che collega San Vincenzo a Piombino, nota come "la strada della Principessa" in onore della sorella di Napoleone, Elisa Baciocchi.

Sin dai tempi più antichi, nella zona è presente una straordinaria varietà geologica, permettendo così un'elevata attività estrattiva con la lavorazione di zinco, mercurio, rame, piombo, argento e carbonato di calcio. La città di Campiglia punta lo sguardo a un turismo culturale-didattico verso gli antichi forni fusori e la rocca di San Silvestro, abbandonata in epoca medievale. A Piombino nelle vecchie aree palustri sono stati localizzati impianti siderurgici, per la produzione di acciai speciali. Inoltre nella zona è presente anche una centrale termoelettrica, attiva dal 1978.



Torre di Piombino



Piombino



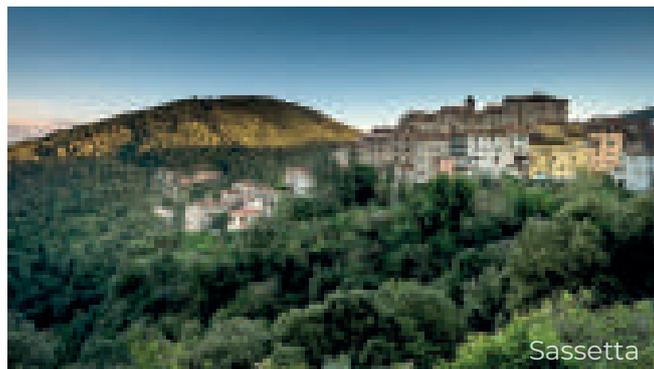
Golfo di Baratti



San Vincenzo



Rocca di San Silvestro



Sassetta



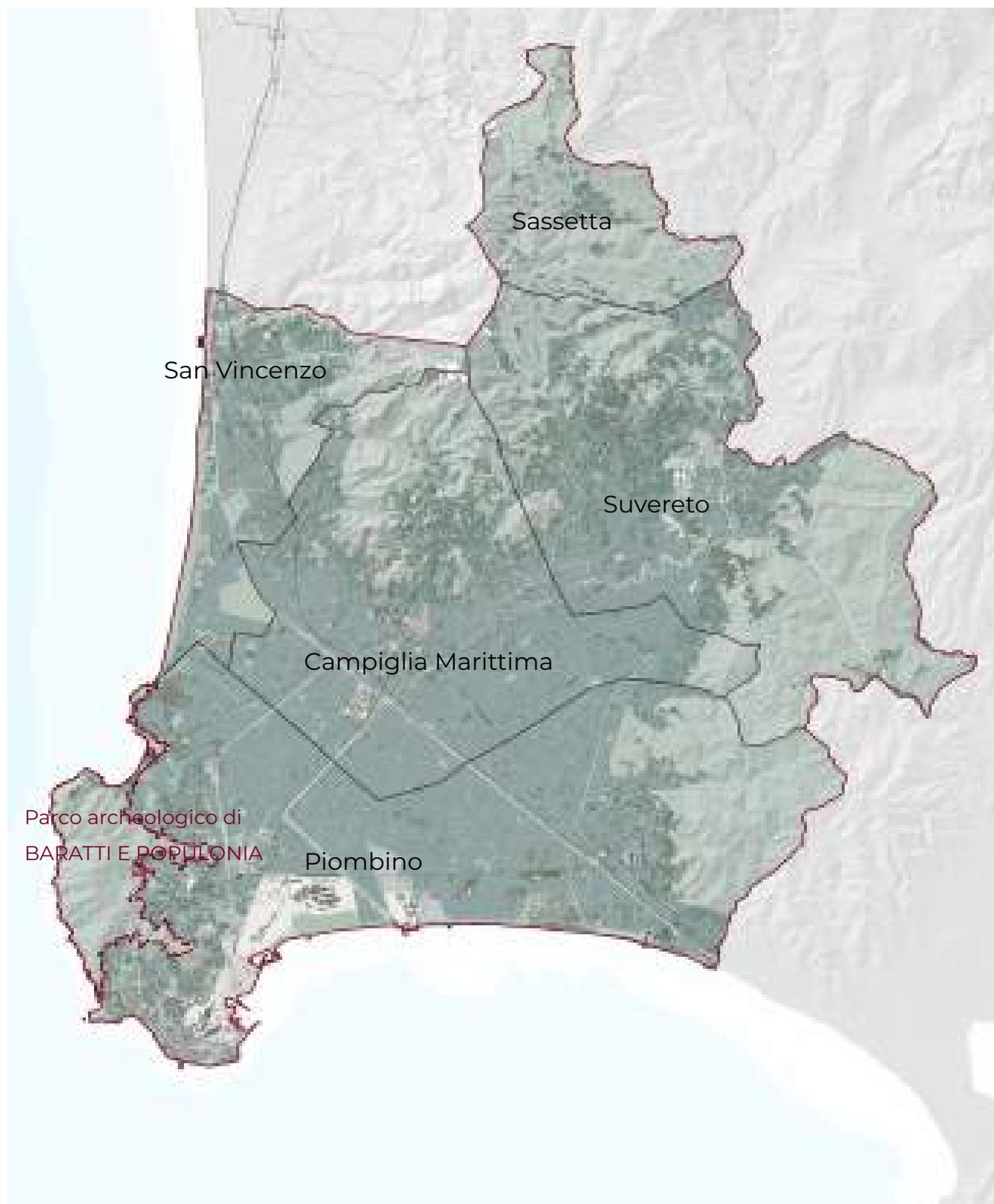
Palazzo comunale - Suvereto



Suvereto

I Comuni della Val di Cornia

Ambito 23



Scala di rappresentazione

1 : 120.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra i confini dell'ambito 23, ovvero la Val Cornia e il suo territorio.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Batimetriche (da -10 a -1500 m)
- DTM 10 metri orografico

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- ambiti PIT
- prov_LI_am_prov_reg_U00-32

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Colline metallifere
- Parco Archeologico di Baratti e Populonia
- Val di Cornia
- fiumi
- alberi
- area verde
- coltura agricola
- pascolo o incolto
- bosco
- area attrezzata
- edificato
- attrezzature sportive
- coste
- curve di livello

Raster:

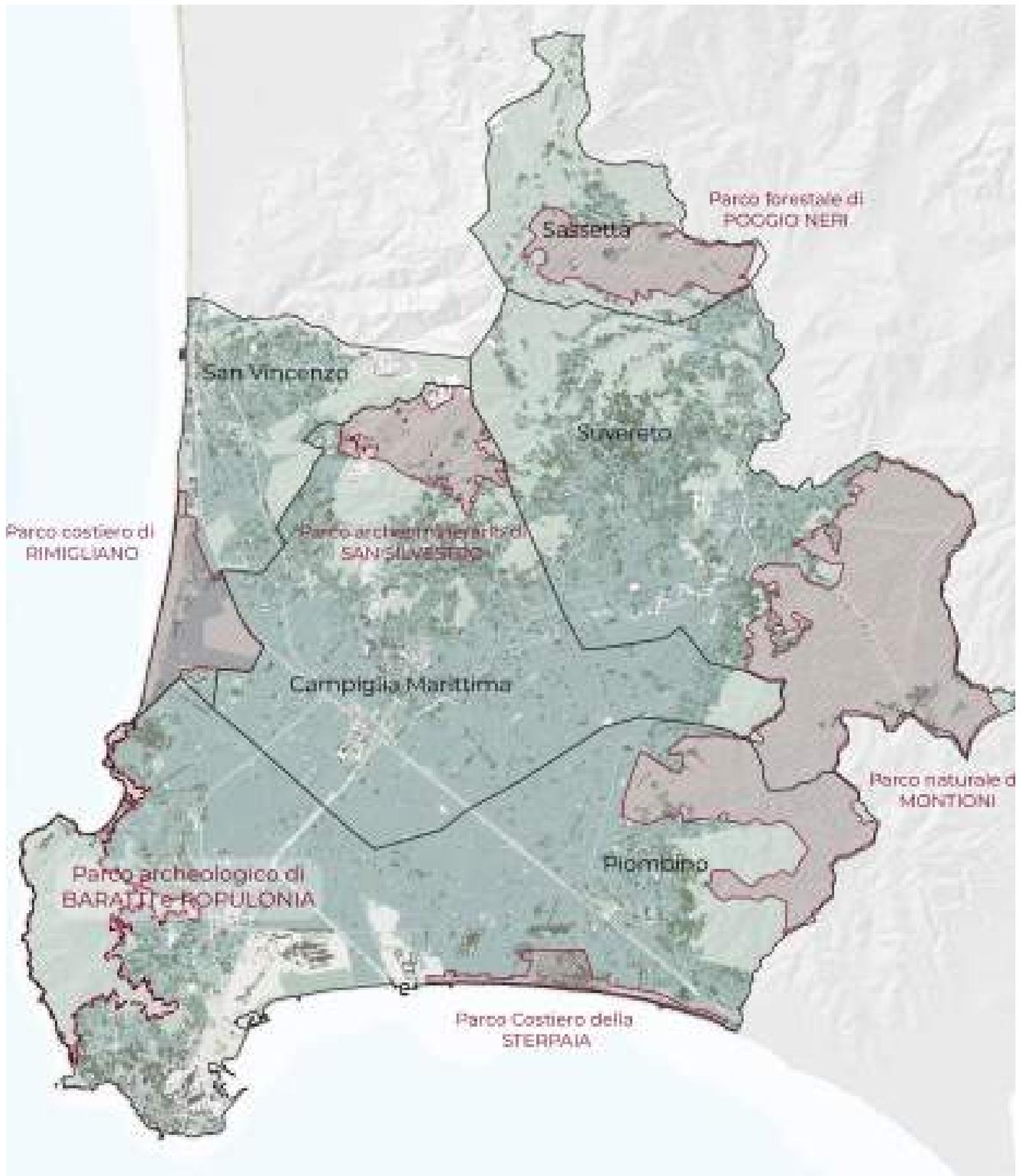
- Modello Ombreggiato_LI

LEGENDA

 Autostrada	 Alberi	 Edificato
 Extraurbana principale	 Filari alberi	 Opere di sostegno
 Extraurbana secondaria	 Area verde	 Ponte
 Strada locale	 Coltura agricola	 area attrezzata
 Urbana di quartiere	 Pascolo o incolto	 Attrezzature sportive
 Ferrovia	 Bosco	
 Coste	 Mare	 Parco archeologico di Baratti e Populonia
 Curve di livello	 Fiumi	
 Batimetriche		

Val di Cornia

Sistema Parchi Val di Cornia



Scala di rappresentazione

1 : 120.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra la morfologia della Val di Cornia e il sistema Parchi, composto da: 2 Parchi Archeologici, 4 Parchi Naturali, 3 Musei, 1 Centro di Documentazione.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Dataset servizi WMS:

- Batimetriche (da -10 a -1500 m)
- DTM 10 metri orografico

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- ambiti PIT
- prov_LL_am_prov_reg_U00-32

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Parco Archeologico di Baratti e Populonia
- Val di Cornia
- Sistema Parchi
- fiumi
- alberi
- area verde
- coltura agricola
- pascolo o incolto
- bosco
- area attrezzata
- edificato
- attrezzature sportive
- coste

Raster:

- Modello Ombreggiato_LL

LEGENDA

 Autostrada	 Alberi	 Edificato
 Extraurbana principale	 Filari alberi	 Opere di sostegno
 Extraurbana secondaria	 Area verde	 Ponte
 Strada locale	 Coltura agricola	 area attrezzata
 Urbana di quartiere	 Pascolo o incolto	 Attrezzature sportive
 Ferrovia	 Bosco	
 Coste	 Mare	 Parco archeologico di Baratti e Populonia
	 Fiumi	
 Batimetriche		 Sistema parchi

1.3 Sistema Parchi Val di Cornia

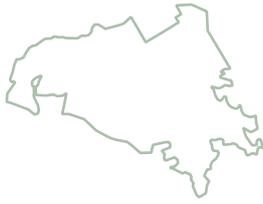
Il Sistema Parchi Val di Cornia è un sistema integrato di valorizzazione culturale, ambientale e di fruizione turistica, inserito all'interno del panorama toscano. L'obiettivo che si pone la società Parchi Val di Cornia, grazie anche all'appoggio di soci privati, è quello di gestire il sistema unificato dei parchi archeologici, dei musei e dei parchi naturali inseriti nel contesto paesaggistico della Val di Cornia. E' reso possibile dalla pianificazione urbanistica organizzata dei cinque comuni a partire dagli anni Ottanta. Durante la crisi siderurgica che ha interessato l'area di Piombino, tra gli anni Ottanta e Novanta, l'amministrazione aveva la necessità di creare una società strumentale in grado di realizzare parchi e musei e di saper gestire i servizi in forma integrata, attraverso investimenti per la valorizzazione e la nascita di una complessa macchina di coordinamento. L'obiettivo è quello di valorizzare la cultura e la storia di quei luoghi e allo stesso tempo riconvertire in una veste economica il territorio, attraverso contributi europei, dei singoli comuni e anche da privati. Nasce quindi una stretta alleanza tra la società Parchi, i cinque Comuni della Val di Cornia e il tessuto economico locale, che riconosce nei beni culturali e ambientali risorse fondamentali per l'identità di questi territori e per valutare lo sviluppo.

I Parchi Val di Cornia comprendono quattro parchi naturali, due parchi archeologici, tre musei e un centro di documentazione.

- Parco Archeologico di Baratti e Populonia _ Piombino
- Parco Archeominerario di San Silvestro _ Campiglia Marittima
- Parco costiero della Sterpaia _ Piombino
- Parco costiero di Rimigliano _ San Vincenzo
- Parco naturale di Montioni _ Suvereto, Piombino e Campiglia Marittima
- Parco forestale di Poggio Neri _ Sassetta
- Museo archeologico del territorio di Populonia _ Piombino
- Musei della Rocca di Campiglia _ Campiglia Marittima
- Museo del Castello e della Città _ Piombino



Informazioni tratte dalla relazione del parco, www.parchivaldicornia.it



Parco archeominerario di San Silvestro

A due chilometri da Campiglia Marittima, con un'estensione di quattrocentocinquanta ettari è presente il Parco archeominerario di San Silvestro, nella località Temperino, il quale conserva le testimonianze uniche di un ciclo minerario e metallurgico dal periodo Etrusco ai giorni nostri. Con l'avvento della crisi Siderurgica dell'area di Piombino avvenuta negli anni '90, portando l'abbandono di quei luoghi, il parco si presenta principalmente come un archivio a cielo aperto della storia mineraria della Val di Cornia. Posizionato tra due aree, collegate attraverso dei percorsi ossia, l'area del Temperino e l'area di Valle Lanzi, il parco è stato inaugurato nel 1996 dopo numerosi studi di ricerca da parte dell'università di Siena. La Rocca di San Silvestro è un esempio di architettura medievale abbandonata, costituiva un villaggio di minatori. Nasce per volere dei signori della Gherardesca intorno all'anno Mille, per la coltivazione e la lavorazione dei solfuri misti. Oltre alla Rocca sono visitabili l'edificio della villa Lanzi, villa costruita per volere di Cosimo I de' Medici; Palazzo Gowett, realizzato per le attività estrattive di inizio Novecento da parte degli Inglesi e la galleria del Temperino, visitabile tramite un percorso sotterraneo a bordo di un trenino minerario.



Rocca di San Silvestro e le miniere moderne sullo sfondo. Immagine realizzata dalla candidata a marzo 2018.

Parco forestale di Poggio Neri

A poca distanza dall'antico borgo medievale di Sassetta si estende per ben settecento ettari il Parco forestale di Poggio Neri. Il parco ricoperto per lo più da zone boscate, promuove la riscoperta di questi luoghi, occupati un tempo dal mondo dei carbonai. E' presente la ricostruzione di una capanna tradizionale, un seccatoio e una carbonaia, per cercare di far conoscere un mestiere ormai scomparso, ma molto sviluppato in quella zona. All'interno del parco sono promossi sentieri per il trekking, da percorrere a piedi, a cavallo o in *mountain bike*, sono presenti numerosi punti attrezzati per il *pic-nic* e vecchie sorgenti recuperate.



Ricostruzione capanna lungo la via del Carbone. www.parchivaldicornia.it

Parco costiero di Rimigliano

Il parco si estende per centocinquanta ettari lungo la fascia costiera bassa e sabbiosa, direttamente sul mare. La macchia mediterranea caratterizza la zona, dominata da pini domestici e marittimi modellati dal vento e una bassa macchia costituita da ginepro, mirto e fillirea. La Spiaggia, inserita in un sistema dunale protetto, offre l'esperienza balneare attraverso una vera e propria immersione nella natura, alla spalle il verde promontorio di Piombino e all'orizzonte le sagome delle isole dall'arcipelago toscano.



Foto dall'alto del Parco costiero di Rimigliano sul comune di San Vincenzo. www.instagram.com



Parco naturale di Montioni

Il paesaggio del parco cerca di far rivivere la storia, la zona è stata interessata da attività minerarie e un'intensa produzione di carbone legato al fitto sistema boschivo ivi presente. Il bosco si estende per circa sette mila ettari, ai confini delle Province di Livorno e di Grosseto, tra una fitta rete di percorsi e sentieri.

Un notevole valore culturale da assegnare al parco sono i resti del villaggio minerario di epoca napoleonica, voluto dalla Principessa di Piombino, Elisa Bonaparte. Inoltre sono presenti nel Parco due riserve naturali statali: la Marsiliana e Poggio Tre Cancelli.



Parco naturale
di Montioni.
www.parchivaldicornia.it



Parco costiero della Sterpaia

Il parco è inserito in un antico paesaggio della Maremma, sottratto dal comune di Piombino a partire dagli anni '70 alla lottizzazione incontrollata e abusiva.

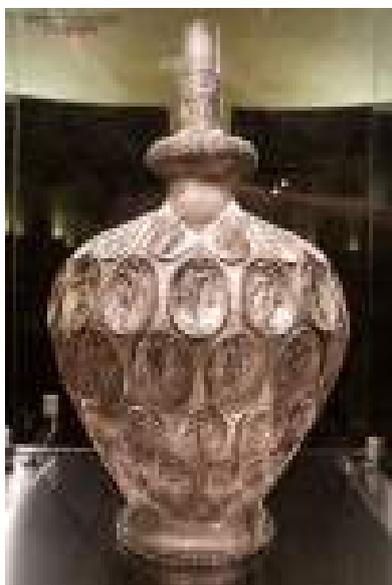
Si estende lungo il litorale costiero, tra il Golfo di Piombino e Follonica, in un'area di circa trecento ettari suddivisi tra la costa, le aree dunali e retrodunali, i boschi e le radure agricole. Le strade che portano al parco e alle spiagge dipartono dalla strada "geodetica" che collega Piombino a Riotorto.



Parco costiero
della Sterpaia.
www.parchivaldicornia.it

Museo archeologico del territorio di Populonia

Il museo archeologico del territorio di Populonia illustra le trasformazioni del paesaggio del promontorio di Populonia dalla preistoria all'età moderna. E' inserito all'interno del Palazzo Nuovo a Piombino, un edificio costruito nella Cittadella di Piombino nel 1814 per ospitare la Corte dei Principi di Piombino, Felice ed Elisa Baciocchi, sorella di Napoleone. Sono presenti più di due mila oggetti per raccontare l'evoluzione storica del promontorio di Populonia, reperti scoperti negli scavi archeologici delle necropoli etrusche di Populonia e anche alcuni materiali di epoca romana. Tra gli oggetti più famosi e in qualche modo iconici del museo si ricorda l'anfora d'argento, rinvenuta da un pescatore nelle acque del Golfo di Baratti e il suggestivo mosaico dei pesci proveniente dall'edificio delle Logge scoperto di recente nell'Acropoli di Populonia. Il museo è allestito in modo da far percorrere un vero e proprio viaggio nel tempo al visitatore: dalla preistoria agli ultimi rinvenimenti nelle necropoli di San Cerbone e delle Grotte, articolando il percorso su tre piani dell'edificio storico, restaurata nel 2001. In questo modo si cerca di sottolineare un territorio ricco di storia, i cui paesaggi sono stati segnati in maniera indelebile dalle attività umane, in particolare legate all'attività siderurgica. Il museo è dedicato ad Antonio Minto archeologo che contribuì in primis alla scoperta della Populonia etrusca.



Anfora di Populonia, immagine di Andrea Frediani, www.visittuscany.com.

Museo del Castello e della Città

Il Museo del Castello e delle Ceramiche medievali inserito all'interno del Castello medioevale di Piombino racconta la storia della città in epoca medievale, attraverso una ricostruzione resa possibile da testi, reperti, immagini, video e suoni. Lo spazio espositivo è stato inaugurato nel 2013 a seguito di risultati degli scavi archeologici nella chiesa di Sant'Antimo sopra i Canali, che hanno messo in luce diversi esemplari di ceramiche medievali ritenute le principali ceramiche a livello nazionale, realizzate a partire dal XIII secolo.



Castello di Populonia,
www.invalidicornia.it

Musei della Rocca di Campiglia

La Rocca di Campiglia è un complesso monumentale inaugurato nel 2008, rappresenta un importante collegamento storico tra il Borgo di Campiglia e il Parco archeominerario di San Silvestro. La Rocca in qualche modo racconta tre millenni di storia dal primo insediamento del XVIII secolo a.C. fino ad oggi. Occupa un'area semicircolare sulla collina più alta di Campiglia ed è delimitata da mura di cinta, è composta dell'edificio del Cassero, da un'antica cisterna, una parete merlata con bifora risalente al XI secolo e un acquedotto degli anni trenta del secolo scorso.



Musei della Rocca
di Campiglia.
www.invalidicornia.it

1.4 Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia

Il parco Archeologico di Baratti e Populonia si estende tra le pendici del promontorio di Piombino e il Golfo di Baratti e si presenta come un vero e proprio museo all'aperto, luccicante di scorie ferrose che testimoniano l'imponente presenza di una città industriale etrusca. La produzione del ferro e dei metalli hanno da sempre segnato il territorio della Val di Cornia riconoscendo proprio in quell'area la più antica industria estrattiva, modificando continuamente il paesaggio e il territorio. Grazie alle scoperte avvenute all'inizio del ventesimo secolo sono comparsi dalle scorie ferrose i monumenti delle necropoli etrusche, avviando così un processo di scavi archeologici fino alla scoperta delle antiche necropoli e dell'antica Acropoli poste sul promontorio della città. Populonia è l'unica città etrusca ad essere stata fondata direttamente sul mare, è caratterizzata da due imponenti necropoli: la Necropoli di San Cerbone la necropoli delle Grotte, oggetto di rilievo e di documentazione in questo documento di tesi.



“L’assetto del parco è il risultato della convenzione fra Stato e Parchi Val di Cornia del 1998 in cui le parti si impegnano a conservare e valorizzare l’area con un’attività congiunta, ciascuno secondo le proprie competenze. Attualmente la gestione è affidata alla Parchi Val di Cornia in regime di un accordo tra il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Regione Toscana e Comune di Piombino introdotto dal Codice Urbani e sottoscritto nel 2007”.

I primi lavori per la realizzazione del parco si avviarono a partire dal 1997-1998 e avvenne l’apertura della necropoli di San Cerbone. Le prime attività di ricerca archeologica sul Promontorio, invece, fanno riferimento alla campagna iniziata nel 2001, a seguito delle numerose scoperte in corrispondenza del Golfo di Baratti e delle Necropoli.

Per arrivare a identificare il parco come appare oggi agli occhi del visitatore, occorre aspettare l’inaugurazione del marzo 2018 con i nuovi percorsi di visita. In occasione di queste giornate, ho avuto la possibilità di partecipare a questo grande evento per il parco. In particolar

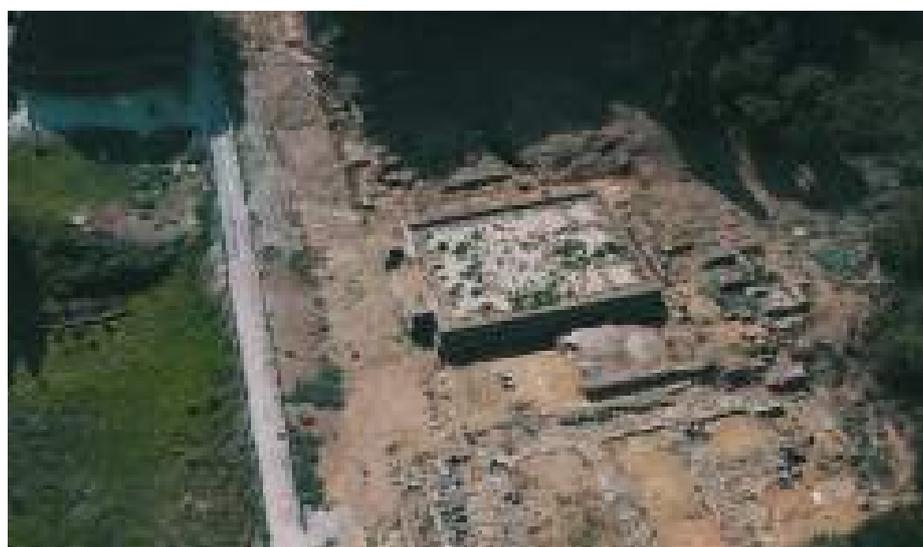
Informazioni tratte dalla relazione del parco, www.parchivaldicornia.it

modo le novità riguardano la zona del Promontorio in corrispondenza dell'Acropoli, con l'apertura della zona delle Logge e dell'antica zona termale con i mosaici originari.

Necropoli di San Cerbone.
Immagine acquisita con il drone durante la campagna di rilievo, settembre 2017.



Acropoli di Populonia, basamento tempio B e C. Immagine acquisite con il drone durante la campagna di rilievo settembre 2017

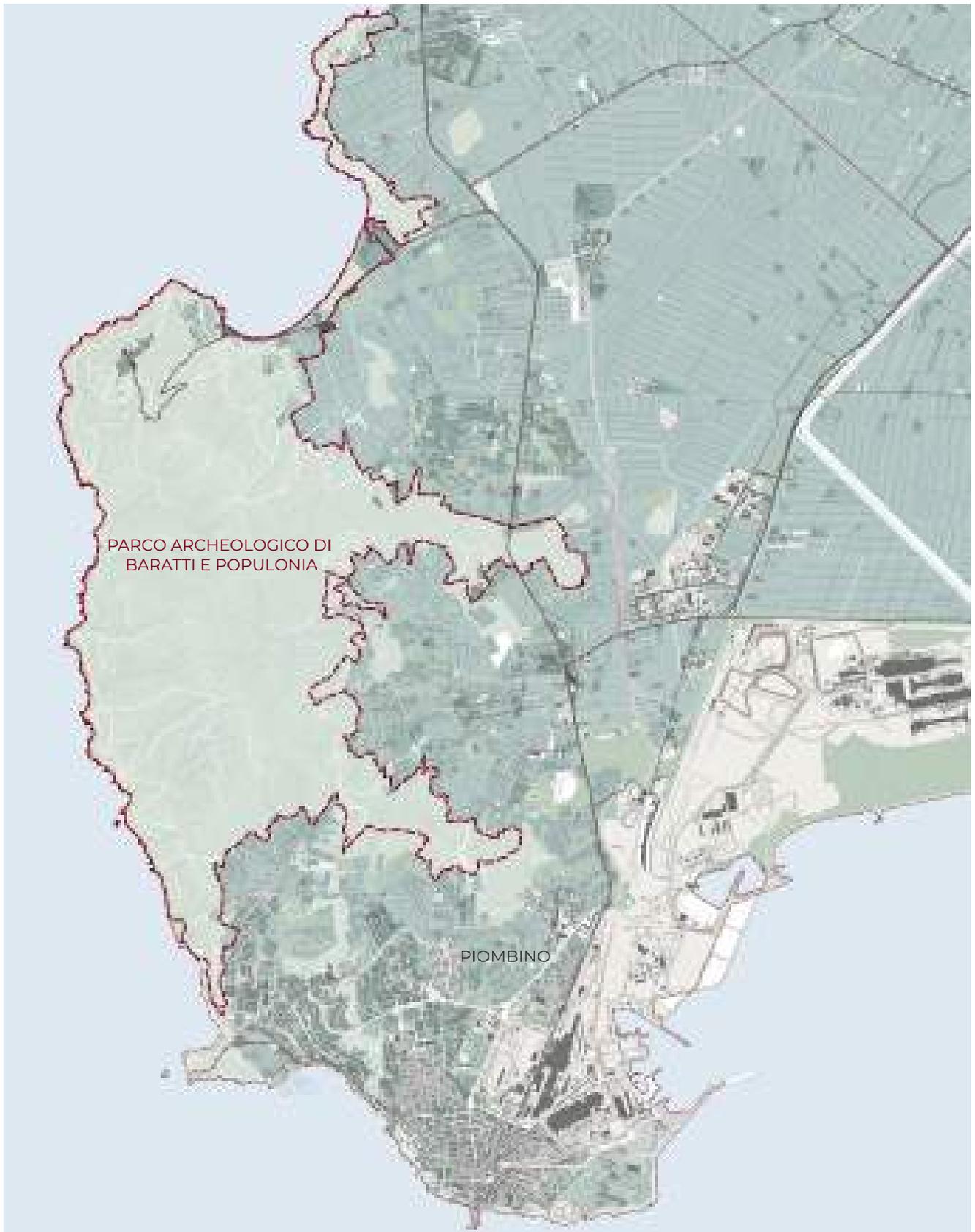


Necropoli di San Cerbone.
Immagine acquisita con il drone durante la campagna di rilievo, settembre 2017.



Sistema Parchi Val di Cornia

Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia nel comune di Piombino



Scala di rappresentazione

1:40.000

0 500 1000 1500 2000 m



La carta mostra la posizione del Parco Archeologico di Baratti e Populonia all'interno del Comune di Piombino. La superficie del parco si estende per 120 chilometri quadrati, occupato per lo più da una ricca vegetazione boschiva.

I Dataset del progetto GIs che originano la mappa sono così strutturati:

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 01_viabilità e trasporti
- 02_immobili_e_antropizzazioni
- 04idrografia
- 05_orografia
- 06_vegetazione
- 08_toponomastica

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Comuni Val di Cornia
- Parco Archeologico di Baratti e Populonia
- alberi
- area verde
- coltura agricola
- pascolo o incolto
- bosco
- area attrezzata
- edificato
- attrezzature sportive
- coste
- curve di livello

Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTMZone32N (codice EPSG:32632).

LEGENDA

 Autostrada	 Alberi	 Edificato
 Extraurbana principale	 Filari alberi	 Opere di sostegno
 Extraurbana secondaria	 Area verde	 Ponte
 Strada locale	 Coltura agricola	 area attrezzata
 Urbana di quartiere	 Pascolo o incolto	 Attrezzature sportive
 Ferrovia	 Bosco	
 Coste	 Mare	 Parco archeologico di Baratti e Populonia
 Curve di livello	 Fiumi	

Sistema Parchi Val di Cornia

Il Comune di Piombino



Scala di rappresentazione

1: 25.000

0 500 1000 1500 2000 m



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra il centro cittadino del comune di Piombino.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 01_viabilità e trasporti
- 02_immobili_e_antropizzazioni
- 04idrografia
- 05_orografia
- 06_vegetazione
- 08_ toponomastica

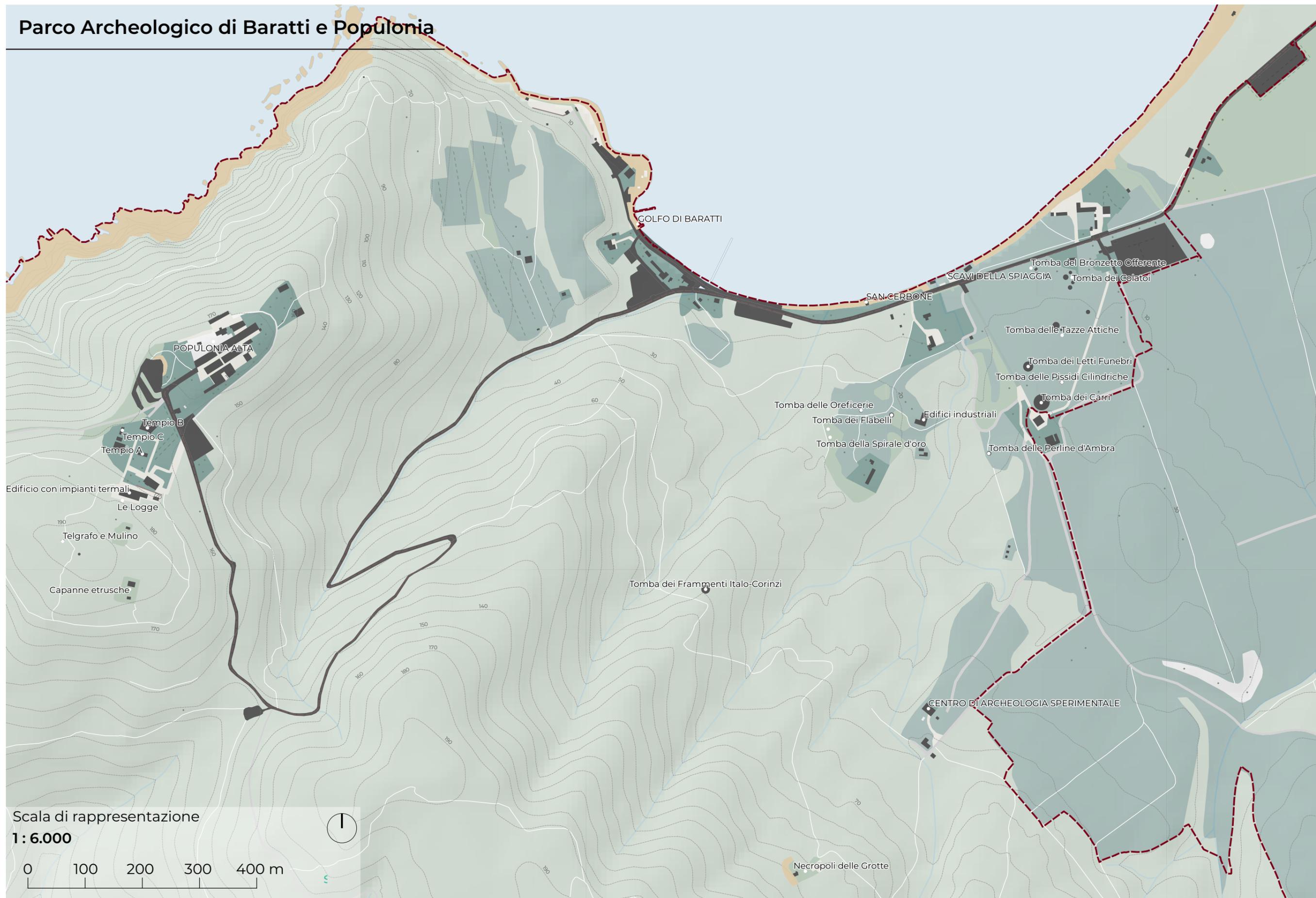
Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Comuni Val di Cornia
- alberi
- area verde
- coltura agricola
- pascolo o incolto
- bosco
- area attrezzata
- edificato
- attrezzature sportive
- coste
- curve di livello

LEGENDA

 Autostrada	 Alberi	 Edificato
 Extraurbana principale	 Filari alberi	 Opere di sostegno
 Extraurbana secondaria	 Area verde	 Ponte
 Strada locale	 Coltura agricola	 area attrezzata
 Urbana di quartiere	 Pascolo o incolto	 Attrezzature sportive
 Ferrovia	 Bosco	
 Coste	 Mare	
 Curve di livello	 Fiumi	

Parco Archeologico di Baratti e Populonia



La carta mostra la struttura del Parco Archeologico di Baratti e Populonia, secondo quanto presente nelle cartografia in base ai dati convertiti dal Geoportale della Regione Toscana.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 01_viabilità e trasporti
- 02_immobili_e_antropizzazioni
- 04idrografia
- 05_orografia
- 06_vegetazione
- 08_ toponomastica

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Parco Archeologico di Baratti e Populonia
- alberi
- area verde
- coltura agricola
- pascolo o incolto
- bosco
- area attrezzata
- edificato
- opere di sostegno
- ponte
- area attrezzata
- fiumi
- mare
- percorsi fondativi
- coste
- curve di livello

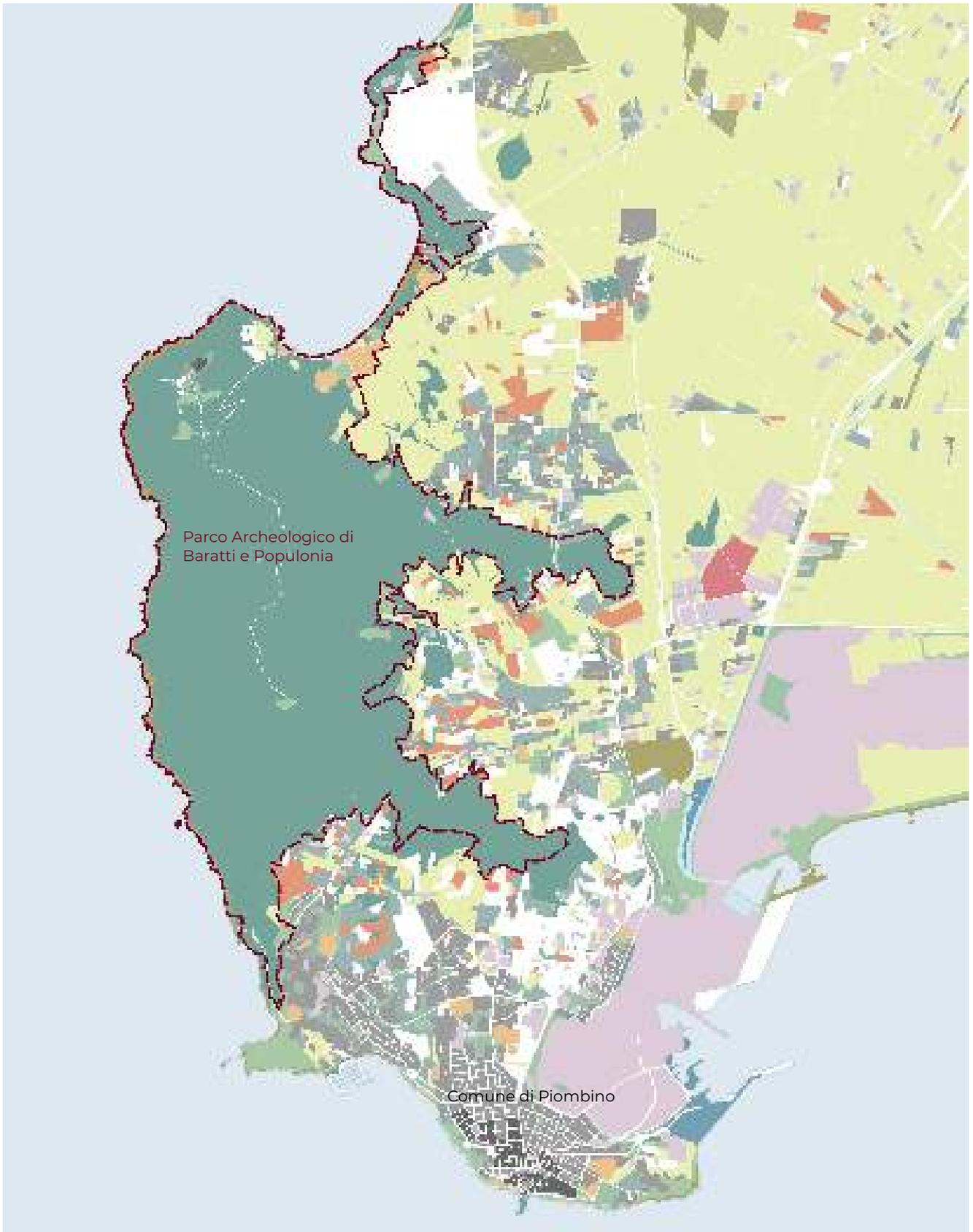
RASTER:
- Modello
Ombreggiato_LI

Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

LEGENDA

 Autostrada	 Alberi	 Edificato
 Extraurbana principale	 Filari alberi	 Opere di sostegno
 Extraurbana secondaria	 Area verde	 Ponte
 Strada locale	 Coltura agricola	 Area attrezzata
 Urbana di quartiere	 Pascolo o incolto	
 Ferrovia	 Bosco	
 Coste	 Mare	 Parco archeologico di Baratti e Populonia
 Curve di livello	 Fiumi	

Uso del suolo



Scala di rappresentazione

1 : 50.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra l'uso e la copertura del suolo nel Comune di Piombino. Si noti l'estensione del Parco, ricoperto in prevalenza da boschi di latifoglie.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 02_immobili_e_antropizzazioni
- Uso e copertura del suolo della Regione Toscana (ucs_rt_2010)

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

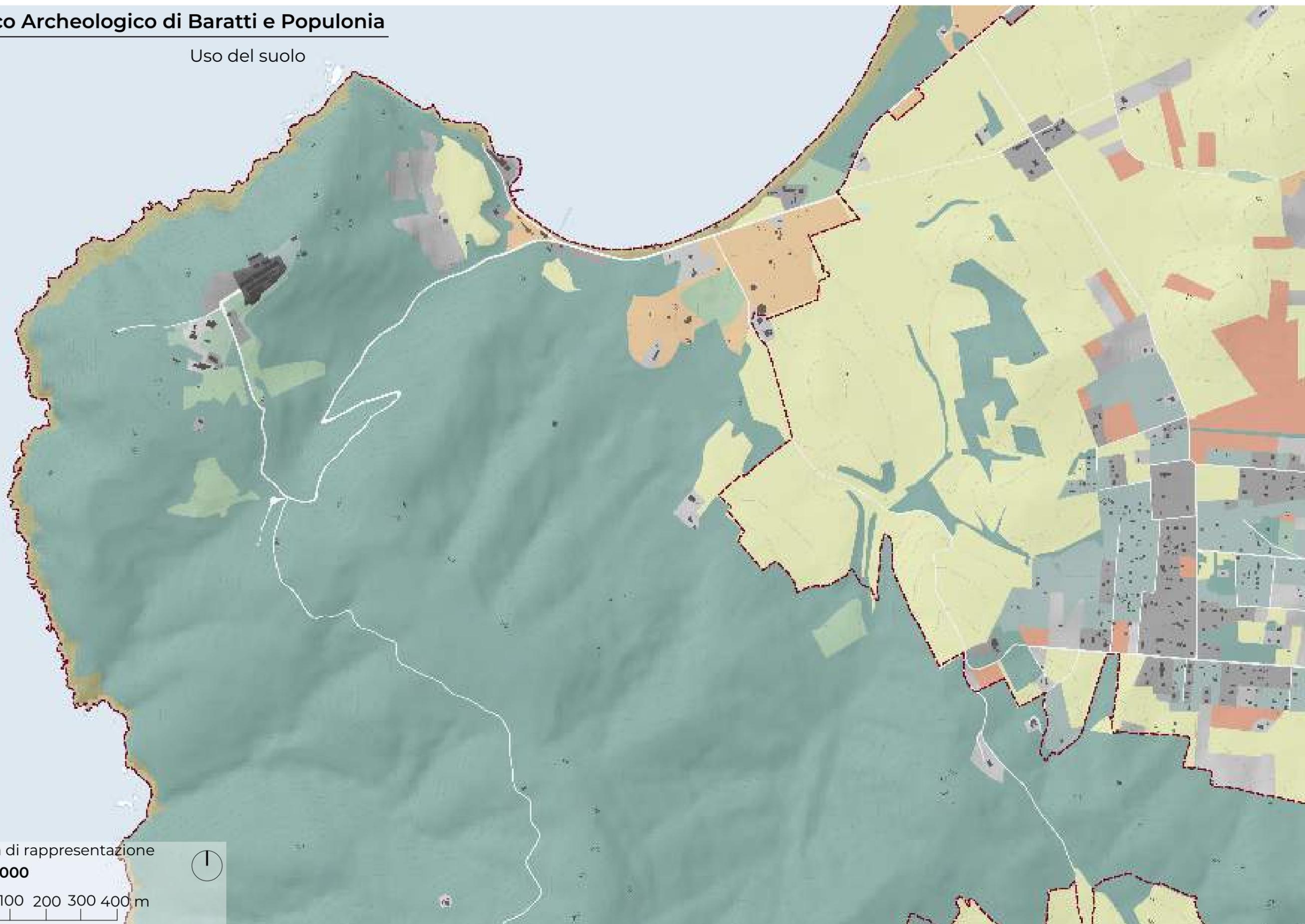
- Parco Archeologico di Baratti e Populonia
- edificato
- uso del suolo_2010

LEGENDA

- Zone residenziali a tessuto continuo
- Zone residenziali a tessuto discontinuo
- Pertinenza abitativa, edificato sparso
- Aree industriali, commerciali e servizi
- Reti stradali, ferroviarie e sentieri
- Aree portuali
- Area estrattiva
- Aree verdi urbane
- Aree ricreative e sportive
- Seminativi
- Serre e vivai
- Colture permanenti
- Zone agricole eterogenee
- Zone boscate
- Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva
- Zone aperte con vegetazione rada o assente
- Zone umide
- Corpi idrici

Parco Archeologico di Baratti e Populonia

Uso del suolo



Scala di rappresentazione

1:10.000

0 100 200 300 400 m



La carta mostra l'uso e la copertura del suolo nel Parco Archeologico di Baratti e Populonia. La zona occupata dalla Necropoli di San Cerbone viene classificata come 'area ricreativa'. La classificazione scelta fa riferimento ai dati del 2010.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Carta elaborata con QGis
3.2.0
Sistema di riferimento
WGS84/UTM Zone 32N
(codice EPSG:32632).

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 02_immobili_e_antropizzazioni
- Uso e copertura del suolo della Regione Toscana (ucs_rt_2010)

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- Parco Archeologico di Baratti e Populonia
- edificato
- uso del suolo_2010

LEGENDA

- Zone residenziali a tessuto continuo
- Zone residenziali a tessuto discontinuo
- Pertinenza abitativa, edificato sparso
- Aree industriali, commerciali e servizi
- Reti stradali, ferroviarie e sentieri
- Aree portuali
- Area estrattiva
- Aree verdi urbane
- Aree ricreative e sportive
- Seminativi
- Serre e vivai
- Colture permanenti
- Zone agricole eterogenee
- Zone boscate
- Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva
- Zone aperte con vegetazione rada o assente
- Zone umide
- Corpi idrici

2 INQUADRAMENTO STORICO

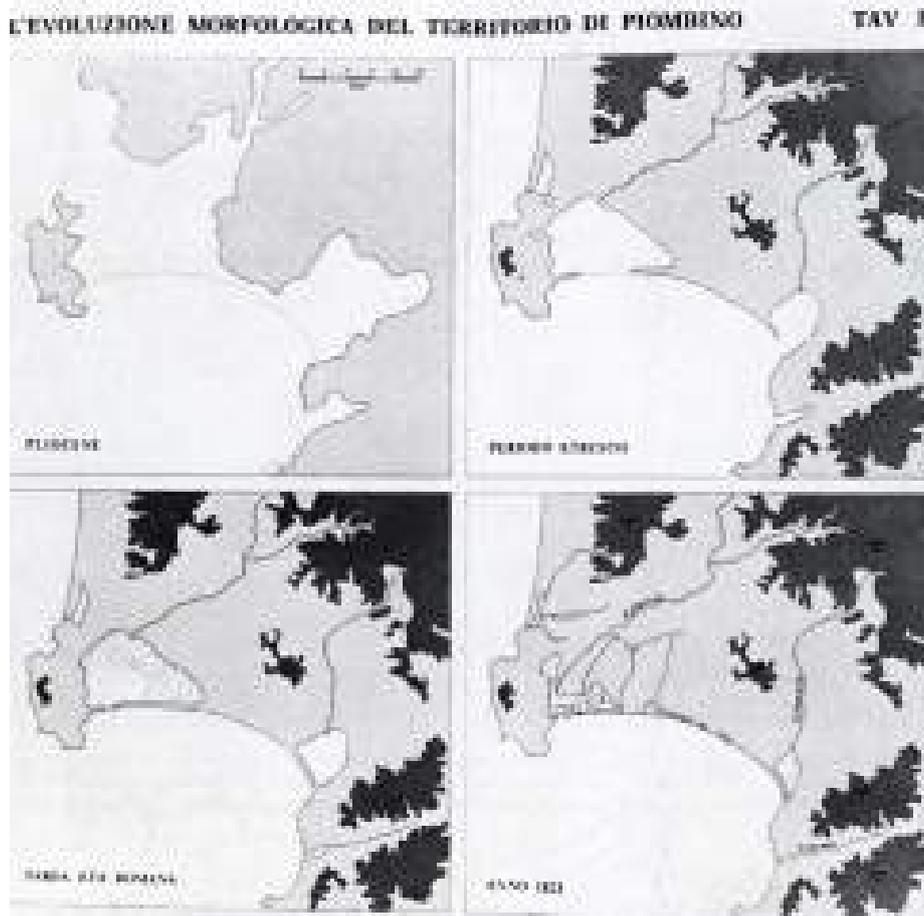
Parco Archeologico di Baratti e Populonia



2.1 Le origini di Populonia

Prima di soffermarci sull'evoluzione del popolo etrusco a Populonia, è opportuno provare a ricostruire come si presentava il paesaggio del promontorio di Piombino all'arrivo del mondo etrusco. Riguardo alle origini di questo territorio esistono due ricostruzioni, tra loro diverse. Secondo quanto emerge dagli studi di Paolo Gherlardini, in base alla scala dei tempi geologici, nel **Pleistocene**, ovvero l'epoca compresa tra 2.58 milioni di anni fa e 11.700 anni fa, il promontorio di Piombino era un'isola della Falda Toscana. Si collegò in un secondo momento con la costa grazie alla pianura prodotta dal deposito del fiume Cornia, formando a nord e a sud del promontorio due stagni costieri, quello di Rimigliano e di Piombino. A partire da questo periodo inizia a formarsi anche il Golfo di Baratti, a causa dell'azione erosiva delle onde marine e dei venti sulla falesia, mostrando ancora oggi tre livelli di panchina pleistocenica.

Paolo GHERLANDONI,
*Piombino: profilo di
storia urbana*, Pisa,
Pacini editore, 1977.



Evoluzione
morfologica del
territorio di Piombino,
ricostruzione di Paolo
GHERLANDONI, 1977.

Renzo MAZZANTI,
*Elementi per la storia
 del clima in Toscana dal
 Miocene all'Olocene*,
 Felice Editore, 2008.

La seconda ricostruzione, più recente, smentisce quanto proposto nella prima, non associa la trasformazione del paesaggio al fiume Cornia, ma il cambiamento della morfologia viene dettato dai periodi glaciali e cataglaciali che vanno a creare dei sollevamenti tra il territorio toscano e il livello del mare. In particolare nell'**ultima glaciazione**, nota come Wurm, il livello del mare si trovava a quota inferiore di 110 metri rispetto all'attuale, in questo modo il promontorio di Piombino si trovava connesso ai territori dell'isola d'Elba e Pianosa. Questo è la ricostruzione più accettabile, anche per giustificare una morfologia molto simile tra i due territori, molto legati durante lo sviluppo del ferro in epoca etrusca-ellenistica.



Schema dell'evoluzione
 paleogeografica
 dell'area, Renzo
 MAZZANTI, 2008.

I primi uomini ad insediarsi sul promontorio di Piombino risalgono al periodo del neolitico. I ritrovamenti di utensili, punte di freccia, accette e pietre levigate, fanno confermare la presenza del primissimo agglomerato abitativo nella futura Populonia. Oltre a qualche oggetto ritrovato durante gli scavi del 1960-1964 non si hanno molte notizie del Paleolitico, mentre sono più consistenti i resti del Neolitico. Ceramiche, focolai e una prima presenza di forni a San Vincenzo per la lavorazione del rame risalgono proprio a quell'età. La ricchezza mineraria di queste regioni cominciò così a richiamare e modellare una società primitiva. Alla fine dell'età del Bronzo (XII-X

secolo a.C.) sorsero insediamenti formati da clan nel Golfo di Baratti, al riparo, dove venivano erette capanne con pavimenti realizzati dai frammenti di vasi e pareti di frasche, protette da intonaci di argilla. Tracce di capanne e piccoli insediamenti sono stati ritrovati tra San Vincenzo e Baratti, come la necropoli della Villa del Barone, nel pressi di Poggio del Molino.

Nell'età del Bronzo gli uomini erano principalmente pescatori di molluschi, capaci di addentrarsi nelle acque del Tirreno. Non tralasciarono, però, la vera economia: la lavorazione dei metalli; raggiunsero anche la Corsica e la Sardegna per scambiare i prodotti della nuova industria, gettando così le basi per una proficua rete commerciale, che verrà portata avanti nei secoli successivi.

Questa civiltà, che precede quella etrusca, è riconosciuta con il termine **villanoviana**. Il termine è stato coniato a seguito dei ritrovamenti casuali da parte del conte Giovanni Gozzadini, nel 1853, di una necropoli nella periferia di Bologna Villanova. Il periodo villanoviano può essere ricondotto tra il IX e gli inizi del VIII secolo a.C., dopo un primo stanziamento presso la zona di Baratti, il clan decide di spostarsi oltre le pendici del promontorio di Populonia e fondare proprio i nuovi villaggi sulla sommità di Poggio di Telegrafo. Proprio in quella sede, pochi anni dopo, deciderà di insediarsi il nascente popolo etrusco. Venne costruita una capanna dalla forma circolare, una residenza importante per volontà di una famiglia reale.



Andrea SEMPLICI,
Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pagg. 16-17.

Francesca GEROSA,
Valeria GUERRISI, Tesi laurea magistrale in architettura: *Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Politecnico di Milano, Anno Accademico 2012-2013, pagg. 49-50.

Ricostruzione ipotetica di una capanna fondativa, disegno tratto dalla Tesi di GEROSA, GUERRISI, 2012-2013.

Jasmine BAGNOLI,
Tesi Scuola di
Specializzazione in
Beni Archeologici:
*Studio dei resti cremati
umani provenienti dalla
necropoli villanoviana
di via Marche a Pisa,*
Università di Pisa,
Anno Accademico
2011-2012, pagg. 67

La necropoli villanoviana è stata ritrovata nei pressi di Poggio delle Granate, dall'altro lato del Golfo di Baratti. Prevalva fino al X secolo a.C. il rito crematorio, all'interno di tombe a pozzetto o a buca venivano conservati ossuari biconici, dalla forma di due coni sovrapposti, o ovoidi. Come mostra la ricostruzione di una sepoltura ad incinerazione, tipica dell'età del ferro, il cinerario villanoviano biconico, è coperto da una ciotola. In altre occasioni è stato possibile ritrovare la copertura del vaso occupata da un elmo in terracotta come protezione per le ceneri maschili.



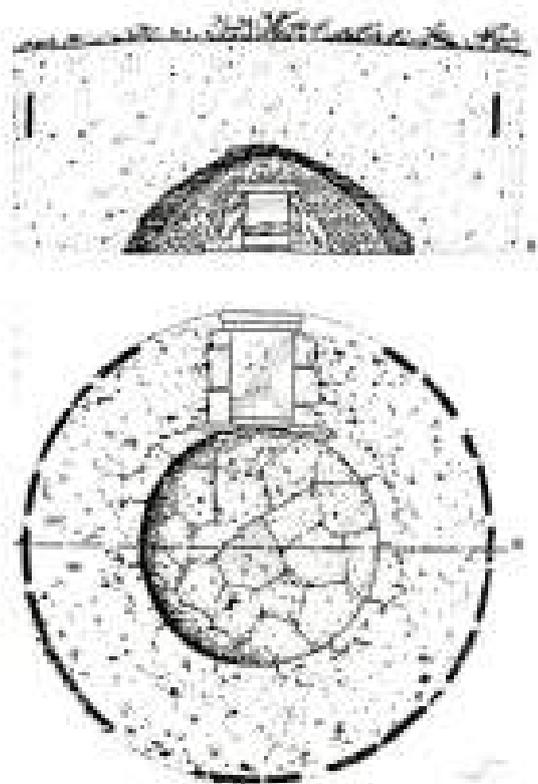
Ricostruzione di
una sepoltura ad
incinerazione dell'età
del Ferro, (IX-VIII secolo
a.C.), disegno dello
Studio Inklink Firenze.

Successivamente venne introdotto il rito dell'inumazione con sepoltura a fosse, ossia pareti rivestite di muretti a secco o lastre in pietra.

Con l'epoca Orientalizzante (fine VIII-VII secolo a.C.) viene affiancata una nuova pratica all'inumazione,

ossia la tipologia tombale a camera con copertura a pseudocupola, realizzata con l'accostamento di pietre aggettanti le une sulle altre in modo da formare una cupola. Questo passaggio è davvero determinante, poiché si passa dalla tomba individuale a quella destinata a una comunità o nucleo familiare più esteso, dove il contatto diretto con la terra manifesta in maniera concreta il potere dell'aristocrazia emergente. Tra le prime tombe villanoviane, prima dell'avvento del mondo etrusco, a cui si ispirano per questa tipologia di sepoltura, occorre citare la **Tomba del Rasoio Lunato** di bronzo, rinvenuta sul versante sud-occidentale del Poggio delle Granate. Come viene rappresentato dalla sezione e dalla pianta realizzata da Antonio Minto a seguito del ritrovamento, la sepoltura è costituita da una cella a pianta circolare, coperta da una pseudocupola e posta al centro di un circolo di pietre, posto a un livello superiore e più elevato rispetto al pavimento della camera di sepoltura.

Andrea SEMPLICI,
*Parco Archeologico di
 Baratti e Populonia,
 Guida alla scoperta
 di un paesaggio,*
 Firenze, 2008, Parchi
 Val di Cornia S.p.A.,
 Piombino, pag. 18.



Sezione e Pianta della
 Tomba del Rasoio
 Lunato, Poggio delle
 Granate. Disegno di
 Antonio Mino, 1943.

Bibliografia utilizzata

Paolo GHERLANDONI, *Piombino: profilo di storia urbana*, Pisa, Pacini editore, 1977.

Renzo MAZZANTI, *Elementi per la storia del clima in Toscana dal Miocene all'Olocene*, Pisa, Felice Editore, 2008.

Comune di Piombino, *Piano Particolareggiato del Parco Archeologico di Baratti e Populonia: Relazione Paesaggistica*, luglio 2011, pagg.1-2.

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio*, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pagg. 16-17-18.

Jasmine BAGNOLI, Tesi Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici: *Studio dei resti cremati umani provenienti dalla necropoli villanoviana di via Marche a Pisa*, Università di Pisa, Anno Accademico 2011-2012, pagg. 67

Francesca GEROSA, Valeria GUERRISI, Tesi laurea magistrale in architettura: *Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Politecnico di Milano, Anno Accademico 2012-2013, pagg. 49-50.

50.000 Anni fa

Nel golfo di Baratti e nell'entroterra appaiono i primi uomini.

*Il mondo è molto diverso da ora, anche nell'area del promontorio. Il clima è più umido è più freddo. Il mare è più lontano è l'**isola d'Elba e la Corsica sono unite dalla terraferma**; dove ora è il golfo di Baratti ci sono pianure a praterie: mandrie di bisonti e cavalli bradi pascolano libere. Sul promontorio e sulle montagne dell'entroterra foreste di castagni, lecci e querce si stendono a perdita d'occhio e ospitano cervi, cinghiali e altri animali selvatici, preda dei gruppi umani che cercano rifugio nelle grotte e nei ripari sulle montagne accanto ai corsi d'acqua. Sono gruppi che vivono della caccia e dalla raccolta dei frutti spontanei; costruiscono le loro armi legando le pietre abilmente scheggiata a rami strappati dagli alberi e talvolta spingono gli animali in dirupi scoscesi per farli precipitare. Appartengono all'**uomo di Neandertal**, progenitore dell'uomo attuale: più basso, tarchiato, con la fronte prognata e il naso camuso, con un linguaggio ancora quasi inarticolato, l'incedere meno eretto e più incerto. L'uomo si distingue dagli altri animali perché crea i suoi strumenti, dirà Aristotele millenni dopo: **là dove c'è un qualunque tipo di strumento, anche rozzo, anche primitivo, là c'è un uomo**; anche in assenza di resti animali, la presenza di un unico oggetto, di un'unica selce scheggiata è indizio del passaggio di un uomo o di uno dei suoi progenitori. Passeranno decine di migliaia di anni prima della comparsa dell'homo sapiens, la specie attuale; passeranno migliaia di anni prima che l'uomo fermi in un'immagine il suo pensiero: per propiziarsi la preda, un cacciatore cercherà di catturare l'anima di un bisonte incidendone i contorni su un ciottolo fluviale. E a quell'epoca, diecimila anni fa, il mare sarà già dove è ora.*

Testo tratto dai pannelli didattici presenti all'ingresso del Parco, ricostruzioni storiche della città di Populonia.



Unione tra l'attuale terraferma e i territori dell'isola d'Elba.
Ricostruzione realizzata dallo Studio Inklink Firenze (Simone Boni e Alessandro Rabatti)

2.2 Il mondo Etrusco

La nascita della grande città etrusca di Populonia è avvolta dal mito, diverse sono le ipotesi portate avanti da studiosi e archeologi.

Il generale su tutto il mondo etrusco diverse sono le leggende che li avvolgono riguardo le loro origini. Secondo Erodoto, storico greco dell'età classica del V secolo a.C., gli etruschi provengono dalla Lidia, un'antica regione dell'Asia Minore; mentre per Dionigi di Alicarnasso, I secolo a.C., sostiene la teoria che il popolo è da definirsi autoctono, ossia originario della stessa terra. Riguardo a Populonia, in particolare, il mondo etrusco è frutto dal secolare mescolamento di stirpi autoctone, i villanoviani, con genti di provenienza orientale. A sostegno di questa tesi è anche il termine cronologico con cui si è soliti definire il periodo che va dalla fine del VIII secolo al VII secolo a.C., ovvero l'**età Orientalizzante**, che precede il vero e proprio periodo etrusco.

Sulla base del commento di Servio all'Eneide nel IV secolo d.C., in un primo momento gli storici hanno evidenziato tre versioni distinte della leggendaria fondazione di Populonia: una prima collega la città ad un popolo venuto dalla Corsica; un'altra la individua come colonia dei Volterrani; una terza sostiene che questi l'abbiamo strappata ai Corsi. Da queste tre versioni sembrerebbe, secondo le fonti di Servio, che una popolazione venuta dalla Corsica sul continente avrebbe fondato Populonia, prima o dopo che si formasse a confederazione etrusca e che, successivamente, gli etruschi di Volterra l'avrebbero strappata ai fondatori e dedotto una colonia.

Per decenni questa ricostruzione è stata smentita rendendo più plausibile che la città etrusca fosse nata a seguito dell'unificazione dei numerosi villaggi dispersi presenti alle spalle di diverse necropoli. Com'è stato riportato nel capitolo precedente, questo pensiero è sostenuto maggiormente grazie alle tracce rinvenute di villaggi villanoviani presso Poggio del Telegrafo. Dov'era posizionata la capanna ovale sorgerà il nuovo nucleo insediativo. Il nascente popolo di Populonia a partire dal VII secolo a.C. si insedierà sulle pendici del promontorio, con

Franco CAMBI, *I confini del territorio di Populonia: stato della questione*, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2003, pagg. 5-7.

Francesca GEROSA, Valeria GUERRISI, Tesi laurea magistrale in architettura: *Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Politecnico di Milano, Anno Accademico 2012-2013, pagg. 56-59.

la realizzazione di un nuovo edificio a pianta rettangolare al posto dell'arcaica capanna ovale. In base agli studi effettuati dagli archeologi, la grande capanna rettangolare doveva appartenere a un personaggio di spicco nella comunità popoloniese, era dotata di imponenti pali di sostegno e di un portico.



Realizzazione della capanna etrusca all'interno del Parco Archeologico di Baratti e Populonia, foto realizzata in occasione dell'inaugurazione, marzo 2018.



Dettagli costruttivi della capanna etrusca realizzata nel parco, foto: marzo 2018.

Dalle tracce della sua distruzione emergono dati molto importanti, all'interno della buca che sorreggeva uno dei pali centrali della capanna sono state trovate un centinaio di tazze deposte alla fine di una cerimonia. Probabilmente la capanna era utilizzata come sede di riunioni per i rappresentanti della comunità popoloniese. Proprio in quel periodo, anche a Roma e a Tarquinia, la distruzione, grandi mutamenti strutturali o funzionali

degli edifici sono accompagnati da riti con sacrifici cruenti, offerte simboliche e resti di bevute di vino, come suggerisce la forma delle tazze rinvenute a Populonia. Il poeta greco Alceo racconta di un gioioso brindisi consumato nell'isola di Lesbo, per la morte di un tiranno. Forse anche a Populonia il brindisi e i sacrifici fatti erano legati alla distruzione della casa del re depresso o defunto, con la conseguente ascesa al potere di una nuova famiglia.

Andrea SEMPLICI,
*Parco Archeologico di
Baratti e Populonia,
Guida alla scoperta
di un paesaggio,*
Firenze, 2008, Parchi
Val di Cornia S.p.A.,
Piombino, pag. 124.



Ricostruzione delle
cerimonia rituale
davanti al nuovo sovrano
del villaggio presso
Poggio del Telegrafo.
Ricostruzione digitale
Studio Inklink.



Interno della capanna
etrusca. Immagine
realizzata in occasione
dell'inaugurazione
del nuovo percorso di
visita, marzo 2018.

Francesca GEROSA,
Valeria GUERRISI, Tesi
laurea magistrale in
architettura: *Il Parco
Archeologico di
Baratti e Populonia*,
Politecnico di Milano,
Anno Accademico
2012-2013, pag.47.

Il nome Populonia, in etrusco **Pupluna**, era il simbolo di fertilità e di prosperità. Deriva dall'etrusco 'puple' che vuole indicare il termine 'germoglio' collegato al dio Fufluns, il Dionisio-Bacco per il nuovo popolo dell'Italia centrale. Proprio tra i bacini del fiume Arno a Nord, il Tevere a Sud e il Mar Tirreno a Ovest erano comparsi sulla scena gli Etruschi, popolo che raggiungerà la sua massima espansione tra il VII e il V secolo a.C., fino all'89 a.C. con la conquista definitiva da parte dei Romani.



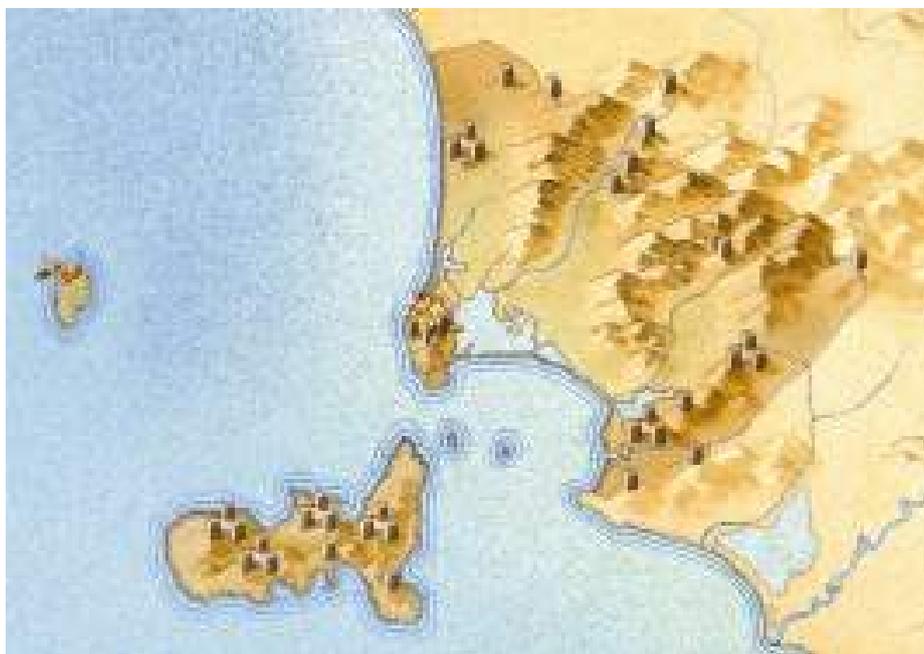
Visione delle colonie
etrusche nella penisola
italiana, elaborazione
di Carlo ISOLA e Franco
CAMBI, Piombino, 2010.

Da notare la collocazione geografica degli insediamenti etruschi, mai casuale ma sempre conseguente a precise scelte di carattere economico o strategico. Le città etrusche che sorgono nell'Italia centrale vengono fondate su territori agricoli, poco distanti dalla costa, ma al riparo da possibili attacchi dal mare.

Ed proprio il caso della città di Populonia a diventare unico, poiché è l'unica città etrusca sul mare. Questa caratteristica, rappresenta uno degli aspetti più importanti per comprendere la nascita della città e le caratteristiche

del rapporto con il territorio.

L'arcipelago e il mare costituivano parte integrante dalla città, dal mare proveniva la risorsa più importante per l'intera economia, ossia il minerale di ferro estratto nelle miniere della vicina isola d'Elba, lavorato nel Golfo di Baratti e commercializzato in tutti il mediterraneo. L'attuale Golfo di Baratti, si presentava come una zona lagunare, con ampie distese di dune sabbiose e con profonde insenature. I confini della città probabilmente si estendevano fino ai rilievi del Campigliese, le note Colline Metallifere, in un paesaggio alternato da collina e da pianura, solcato da una fitta rete di corsi d'acqua. Proprio i corsi d'acqua veniva sfruttati attraverso la navigazione per permettere il collegamento tra i vari piccoli insediamenti presenti nella zona. Di questi centri ci sono poche tracce, probabilmente abitati funzionali dove avvenivano diverse attività produttive specializzate, quali l'estrazione del sale o la preparazione di composti alimentari a base di pesce. I confini della città di Populonia possono essere identificati a Nord con la città di Volterra, a Sud con quella di Vetulonia e a occidente con una linea immaginaria che passa tra le isole di Pianosa e di Capraia. Come mostra l'immagine realizzata a seguito degli studi di A. Cambi, si vuole rappresentare il territorio di Populonia e la presenza dei numerosi bacini di approvvigionamento. Si potrebbe quasi intendere la città come una penisola, a differenza di come si presenta oggi il territorio in esame.



Andrea SEMPLICI,
Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pagg. 14, 32-33.

Marta COCCOLUTO,
Silvia GUIDERI, *Una città etrusca sul mare. Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Parchi Val di Cornia S.p.A., atti del convegno promosso dalla Quinta Commissione consiliare Attività culturali e turismo del Consiglio regionale della Toscana: Piombino - Orbatello, 18-20 settembre 2009, Firenze, tipografia Consiglio regionale della Toscana, pagg. 25-28.

Visione del territorio di Populonia, rappresentazione dello Studio Inklink Firenze, 2010.

Cynthia MASCIONE,
Stefania SALERNO, *Il sistema difensivo di Populonia: nuovi dati sulle mura della città*,
Atti del Convegno Internazionale, Sapienza Università di Roma, 2012, pagg. 411-414.

La città era suddivisa in due nuclei distinti: la parte bassa, ovvero l'attuale zona del Golfo di Baratti, che comprendeva i quartieri produttivi, la zona portuale e le necropoli, e una parte alta, l'acropoli, posta sulle alture del Telegrafo e del Castello. A Populonia erano presenti due cinte murarie, la prima venne costruita nella prima metà del V secolo a.C. a difesa dell'Acropoli, racchiudendo al suo interno una superficie di 29 ettari di terreno. Venne innalzato in un periodo di instabilità dettato dalle numerose spedizioni delle flotte di Siracusa nel mar Tirreno. Se da un lato la realizzazione permise l'allontanamento del mondo greco dalle sponde di Populonia, d'altra parte consolidò l'egemonia e il controllo dell'Isola d'Elba e delle risorse minerarie di cui dipendeva la potenza della città.



Ortofoto di come si presenta oggi il paesaggio dell'antica Populonia, sono presenti alcune tracce delle antiche mura difensive.

Andrea SEMPLICI,
Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio,
Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A.,
Piombino, pagg. 22-24.

Durante il periodo denominato dagli storici **Orientalizzante**, tra la fine del VIII secolo e gli inizi del VI secolo a.C., gli Etruschi raggiunsero diverse zone del Mediterraneo da cui si ispirarono per la realizzazione di diversi oggetti rinvenuti nelle sepolture. Arrivano nella Grecia classica, Rodi, Mileto, Corinto, si spinsero fino alla foce del Rodano per giungere alla colonia greca di Marsiglia. Questa fase della cultura etrusca lascia a testimonianza ceramiche, gioielli, oggetti preziosi in oro, argento e pasta di vetro provenienti dal Mediterraneo Orientale. In questi stessi anni nelle tombe si lasciano vicino al corpo del defunto balsamari, statuette in bronzo, armi, elmi, vasellame per banchetti da svolgere nell'aldilà, fino a un carro da corsa,

com'è stato ritrovato nella tomba dei Carri a San Cerbone, una delle più antiche tombe della Necropoli popoloniese. A Populonia la principale lavorazione, in quel periodo, è quella del **bronzo** e del **rame** del Campigliese, nacque una classe di imprenditori, ricchi e potenti, con il controllo del commercio dei minerali e della città stessa.



Ricostruzione di una nave etrusca del VII-VI secolo a.C. I prodotti trasportati erano ferro, vino, olio, prodotti artigianali, ungenti, balsami e cereali. Ricostruzione digitale Studio Inklank Firenze.



Tomba dei Carri. La più grande tomba a tumulo di Populonia, datata VII secolo a.C.. Fotografia realizzata a marzo del 2018.



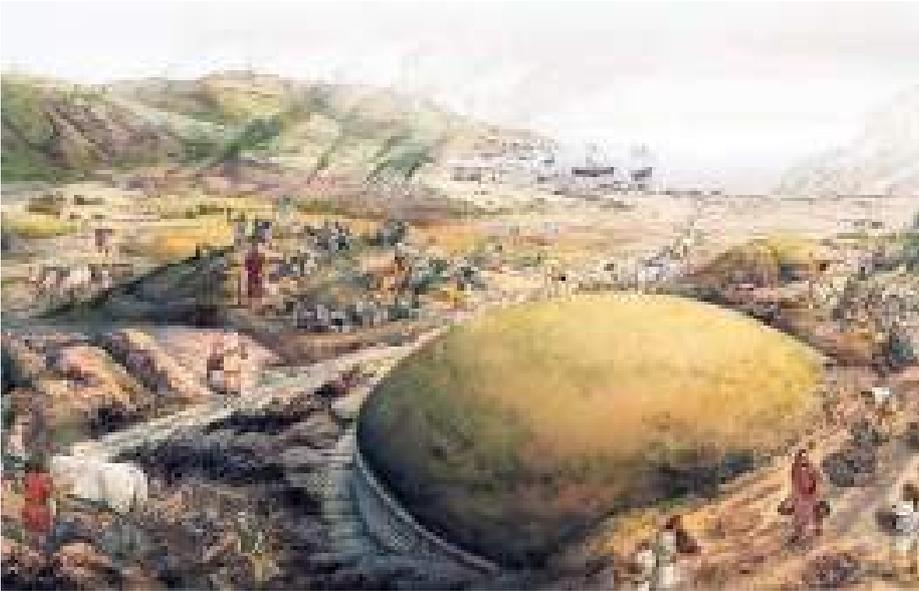
Ventaglio in lamina di bronzo decorato a sbalzo dalla Tomba dei Flabelli di Populonia. 650-600 a.C. Firenze, Museo Archeologico Nazionale

Solo con l'avvento del VI secolo a.C. arriverà in città l'ematite elbana, travolgendo e modificando per sempre le abitudini delle città e il paesaggio del Golfo di Baratti. Il salto decisivo che compie è stata proprio la scelta della lavorazione del ferro, rendendola, in poco tempo, il più importante centro siderurgico dell'antichità mediterranea, nodo centrale dell'economia di tutta l'Etruria. I marinai, ormai esperti viaggiatori del Mediterraneo, compiono un breve viaggio di appena dieci chilometri per raggiungere i poli minerari di ferro dell'isola d'Elba. Una volta ritornati a Populonia, probabilmente sbarcavano nell'attuale Golfo di Baratti anche se non si ha traccia di dove si trovavano le banchine, e la lavorazione avveniva nella zona pianeggiante limitrofa alla Necropoli, ovvero presso la zona industriale della Porcareccia. Il paesaggio circostante abbondava, quando iniziò l'attività, di boschi per ricavare il carbone da bruciare dentro i forni di argilla, anche l'acqua non era un problema nel Golfo di Baratti. Con l'incessante attività per alimentare le fornaci iniziò a scarseggiare il legname dei boschi limitrofi, anche le sorgenti di acqua, prima abbondanti, si impoverirono sempre di più. Nella piana, attuale Necropoli di San Cerbone, i forni arrivano a una temperatura di milletrecento gradi, non facendo sciogliere completamente il ferro si producevano anche un grande quantitativo di scorie, ossia gli scarti non fusi del materiale.



Ricostruzione ipotetica
dei forni per la
riduzione del ferro.
Ricostruzione digitale
Studio InKlink Firenze.

Queste scorie diedero l'avvio alla modifica del paesaggio fino al XX secolo d.C., poiché depositandosi al suolo andarono a ricoprire le tombe presenti della Necropoli. Intorno al III secolo a.C. il lavoro nei pressi dei "quartieri industriali" è incessante. La ricostruzione riporta in primo piano la Tomba dei Carri già in parte coperta dalle scorie e nei dintorni una frenetica attività, in lontananza tra i fumi si intravedono le mura basse della città e l'Acropoli.



Paesaggio di Populonia intorno al III secolo a.C. In primo piano la Tomba dei Carri in parte già coperta da scorie. In lontananza, coperta di fumi, si intravede l'Acropoli. Ricostruzione Studio Inklink Firenze.

Secondo degli studi recenti a Populonia in età antica, dall'intreccio della quantità di scorie presenti nel Golfo di Baratti e la composizione del minerale utilizzato dagli antichi metallurghi, si è stimata la quantità effettiva di scorie di ferro prodotte a circa tre milioni di tonnellate, per una produzione netta di 1 milione di tonnellate di ferro. Il ferro qui prodotto venne acquistato anche dalla nascente Roma, armando la flotta di Publio Cornelio Scipione, nel a.C., segnando la sconfitta della potenza di Cartagine.

Andrea SEMPLICI,
Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio,
Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pag. 41.

Ormai la potenza di Populonia è stata dichiarata al mondo mediterraneo, sentendo la necessità di creare una zecca e battere moneta, per una corretta regolazione degli scambi commerciali, fu una delle prime città etrusche a dotarsi di questo sistema a partire dal V secolo a.C. Un'altra motivazione che spinse, secondo gli storici, alla comparsa della moneta a Populonia fu la necessità di dover pagare le truppe mercenarie che erano state ingaggiate per

Andrea SEMPLICI,
*Parco Archeologico di
Baratti e Populonia,
Guida alla scoperta
di un paesaggio,*
Firenze, 2008, Parchi
Val di Cornia S.p.A.,
Piombino, pag. 37.

sorvegliare il polo minerario, a seguito degli attacchi siracusani di quel periodo. Sicuramente la facilità della reperibilità locale dei materiali per l'emissione di denaro accelerò di gran lunga questo processo. Le monete furono coniate in argento e in bronzo, raffigurante l'immagine di diverse divinità tra cui Gorgoneion, un mostro della mitologia greca, il Dio Turms, l'eroe Hercle o la dea Menrva, Minerva per i Latini.



Monete in bronzo
e in argento
commercializzate a
Populonia a partire
dalla seconda metà
del V secolo a.C.

Marta COCCOLUTO,
Silvia GUIDERI, *Una
città etrusca sul mare.
Il Parco Archeologico
di Baratti e Populonia,*
Parchi Val di Cornia
S.p.A., atti del convegno
promosso dalla Quinta
Commissione consiliare
Attività culturali e
turismo del Consiglio
regionale della Toscana:
Piombino - Orbatello,
18-20 settembre 2009,
Firenze, tipografia
Consiglio regionale
della Toscana, pag. 28.

Ormai in pieno **periodo etrusco** il mare fa parte del territorio della città. I quartieri destinati alla produzione metallurgica si espansero, andando a occupare anche le zone che prima erano le necropoli della città all'epoca del Ferro, a San Cerbone per esempio. Intorno al IV secolo a.C. le sepolture si spostano sulle colline retrostanti il Golfo di Baratti, in una nuova Necropoli che prenderà il nome di Necropoli delle Grotte. In particolar modo si inizierà a sviluppare una nuova tipologia di sepoltura, all'interno delle grandi cave utilizzate per l'estrazione della pietra panchina, compaiono tombe a camera ipogee scavate nella roccia. La zona è ancora oggi in fase di scoperta, i primi ritrovamenti risalgono al 1967, ma la maggiore attività fa riferimento alla campagna di scavo del 1997-1998. Gli scavi hanno perciò permesso di mettere in luce 35 tombe ad ipogeo e 8 tombe a fossa ad inumazione e a cremazione, ricavate nel riempimento della cava non più attiva, formatesi dai residui di lavorazione della calcarenite. Il nucleo delle più consistenti e affascinanti tombe ad ipogeo, le tombe cosiddette limitrofe, è disposto sulla parete ripida del costolone di roccia con tombe allineate su almeno sei livelli

diversi che spesso intersecano e quasi si sovrappongono tra loro. Prevale la necessità di sfruttare al massimo per le sepolture lo spazio esistente, contribuendo così ad evidenziare il quadro dell'enorme sviluppo demografico raggiunto dalla città in età ellenistica. Quasi tutti i materiali rinvenuti nelle tombe cosiddette limitrofe fin da un primo esame sembrano confermare l'arco cronologico di utilizzo della necropoli fino ad oggi indicato, ossia dalla fine del IV alla metà del II secolo a.C.

Sarà proprio quest'area retrostante il Golfo di Baratti ad essere oggetto di analisi e studio all'interno di questo elaborato di tesi. In particolar modo attraverso tecniche avanzate di rilievo si cercherà di documentare la presenza delle tombe a camera ipogee all'interno della Necropoli.



Tombe a camera ipogee all'interno della Necropoli delle Grotte. Immagine realizzata a marzo 2018.



Necropoli delle Grotte, parete cava delle Grotte. Immagine realizzata a marzo 2018.

Bibliografia di riferimento

Franco CAMBI, I confini del territorio di Populonia: stato della questione, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2003, pagg. 1-4

Marta COCCOLUTO, Silvia GUIDERI, *Una città etrusca sul mare. Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Parchi Val di Cornia S.p.A., atti del convegno promosso dalla Quinta Commissione consiliare Attività culturali e turismo del Consiglio regionale della Toscana: Piombino - Orbatello, 18-20 settembre 2009, Firenze, tipografia Consiglio regionale della Toscana, pagg. 25-28.

Francesca GEROSA, Valeria GUERRISI, Tesi laurea magistrale in architettura: *Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Politecnico di Milano, Anno Accademico 2012-2013, pagg. 47, 56-59.

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio*, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pagg. 14, 20-24, 32-33, 41, 124.

VIII secolo a.C.

Nel golfo di Baratti e sul promontorio nascono i primi villaggi etruschi.

*Sulla sommità del promontorio, sulle falde che scendono ripide verso Baratti e sui poggi intorno al golfo sorgono **villaggi di capanne** con pareti di frasche e tetti di pelli di animali su pali di legno. Già da millenni uomini stanziati intorno alle paludi e agli stagni avevano intrapreso la **coltivazione** dei campi: altri avevano iniziato lo sfruttamento del rame sui monti di San Carlo e altri ancora avevano imparato a fondere nel **bronzo** il duttile **rame** e lo **stagno**. Ora vivono qui genti che già parlano etrusco ed entro pochi decenni, acquisito l'alfabeto dei Greci, impareranno a scrivere, a fissare sui cocci almeno il loro nome. **Coltivano la terra**, praticano l'**allevamento** e la **pesca**, **forgiano** nel ferro i loro strumenti e le loro armi. Le donne nelle capanne filano e tessono la lana, cuciono i vesti che verranno fermate da elaborate spille in bronzo, ferro, oro e argento, con decorazioni in ambra e in vetro, seppelliscono i loro morti in campi esterni al villaggio. Li bruciano e ne conservano le ossa in vasi biconici oppure depongono i cadaveri in fosse scavate nel terreno insieme alle suppellettili: elmi, scudi, lance di bronzo e di ferro per gli uomini; ferma trecce, collane, anelli, strumenti per la tessitura e la filatura per le donne; qualche vaso per tutti. **Non esistono ancora forti differenze sociali**: l'uomo è guerriero o giovinetti, la donna sposata o fanciulla. La ricchezza è nei metalli, soprattutto nel ferro: nelle miniere si scavano pozzi, cunicoli e gallerie per inseguire i filoni; il ferro proviene principalmente dall'isola d'Elba, ma viene poi portato sulla terraferma, sulla spiaggia di Baratti, per essere lavorato, utilizzando il carbone prodotto nelle vicine carbonaie. Queste ricchezze spingeranno qui i Sardi, i Greci e i Fenici: nel porto, a Baratti, si scambiano merci e idee. Il contatto con altre genti provocherà, nel secolo seguente, la **nascita dell'aristocrazia** che possiede le **miniere** e la terra e si fa seppellire in **tombe monumentali** con corredi sontuosi ricchissimi di suppellettili preziosi. Saranno questi "principi" etruschi a detenere ricchezze e potere: gli altri, gli schiavi e la gente comune, lavoreranno nei campi e nelle miniere, nei forni fusori e nelle officine.*

Testo tratto dai pannelli didattici presenti all'ingresso del Parco, ricostruzioni storiche della città di Populonia.



Il villaggio dell'VIII secolo a.C. sul sito della futura città di Populonia e il golfo di Baratti.
Ricostruzione realizzata dallo Studio Inklinc Firenze (Simone Boni e Alessandro Rabatti)

VI secolo a.C.

Sul promontorio fiorisce il centro abitato di Populonia

*Domina il mare una grande città etrusca, Populonia, difesa da **poderose mura**. Non più capanne, ma **case** e **templi sontuosi** decorati da terrecotte policrome con le immagini degli dei: qui la collettività celebra riti in cui riconosce il suo senso di appartenenza e compie sacrifici al dio del vini, Fufluns (il Dionisio dei Greci), da cui la città prende il nome e che le è consacrata. Nel porto attraccano navi etrusche, greche e fenicie e portano **merci preziose** da lontano. Caricano vino, grano e metalli. Il **ferro** dell'Elba, lavorato sulle falde del promontorio, è la grande ricchezza della città. Le **scorie** di lavorazione si accumulano sui tumuli imponenti, estrema dimora di un'aristocrazia già antica. Ora le tombe più monumentali hanno altre forme, ispirate ai templi e alle case; altre sono semplici casse di pietra. Ma i **corredi** parlano delle **ricchezza** dei vivi, di una società che si riconosce nei fasti del simposio e dei giochi atletici: sono preziose suppellettili in bronzo di manifattura locale; sono vasi in bucchero, neri come il metallo, importati da Tarquinia e Cerveteri o prodotti anche qui, nelle officine dei vasai; sono anche vasi dipinti che vengono da Corinto e da Atene e narrano talvolta le antiche storie degli dei e degli eroi greci. Nelle montagne incessante è l'attività di miniera. Nei campi dell'entroterra piccoli villaggi e isolate fattorie ospitano contadini che coltivano il grano e la vite da vino per cui la città è già famosa. La ricerca di legname usato come combustibile per i forni fusori e altre officine artigiane ha già portato alla **scomparsa di alcuni boschi**. In una collina nella foresta si cavano le pietre per la costruzione delle mura, della case, dei templi, delle tombe. Quando la **cava** verrà abbandonata, dopo più di un secolo, nelle pareti rocciose verranno scavate camere per ospitare altre tombe. Già popolosa, la città diverrà una "**metropoli**" frequentata da genti venute da ogni parte del Mediterraneo, attratte dalle attività metallurgiche: dalle altre città dell'Etruria, dalla Campania, dalla Corsica, dall'Iberia, dalla Grecia. Un vasaio greco, forse ateniese, aprirà qui la sua officina.*

Testo tratto dai pannelli didattici presenti all'ingresso del Parco, ricostruzioni storiche della città di Populonia.



Ricostruzione del paesaggio di Populonia nel II-I secolo a.C.
Ricostruzione realizzata dallo Studio InKlink Firenze (Simone Boni e Alessandro Rabatti)

2.3 La decadenza con l'avvento del mondo romano

Populonia, come accade alle grandi potenze etrusche, alla fine del III secolo a.C. entrò nell'orbita di una grande **Roma** nascente, attratta in primo luogo dalle attive produzioni metallurgiche e dai legami di commercio che aveva creato nell'ultima fase, in particolar modo con Pisa. Il primo approccio fu quello di commissionare alla città oggetti preziosi e soprattutto armi.

La fine del IV secolo e tutto il III secolo a.C. si credeva, in un primo momento, potessero essere gli anni di massima lavorazione del ferro a Populonia, quasi senza sosta si lavorava presso la Baia di Baratti, andando così a ricoprire definitivamente l'avvallamento del golfo e le necropoli più antiche della città. Si credeva... Poiché con l'avvento del **mondo romano** a Populonia, la lavorazione e il sistema produttivo venne ulteriormente intensificato, per cercare di ottenere la massima produzione possibile dai forni di Baratti, riducendo in schiavitù i lavoratori. Dunque il II e il I secolo a.C. furono gli anni di maggiore attività siderurgica dell'intera zona della Penisola, la zona diventò un punto di attracco favorevole per la potenza di Roma nei confronti del mare Tirreno, del resto come prima lo era stato per il mondo Etrusco. Uno dei diversi dati mancanti per ricostruire la storia di Populonia è la non conoscenza di chi fosse a capo nella città, non ci sono documenti che lo attestano, secondo alcuni storici la città era governata da coloro che gestivano il polo siderurgico. Segnò definitivamente la fine del mondo Etrusco a Populonia la scelta di appoggiare e allearsi con il popolare Caio Mario nella guerra civile con l'aristocratico Lucio Cornelio Silla, il quale, vincitore, con la sua armata assediò e espugnò la città di Populonia.

L'Acropoli nel frattempo presentava una nuova distribuzione, non vi è praticamente più traccia degli edifici etruschi, al posto sorgono templi e domus romane, lungo vie lastricate all'interno delle possenti cinta di mura.

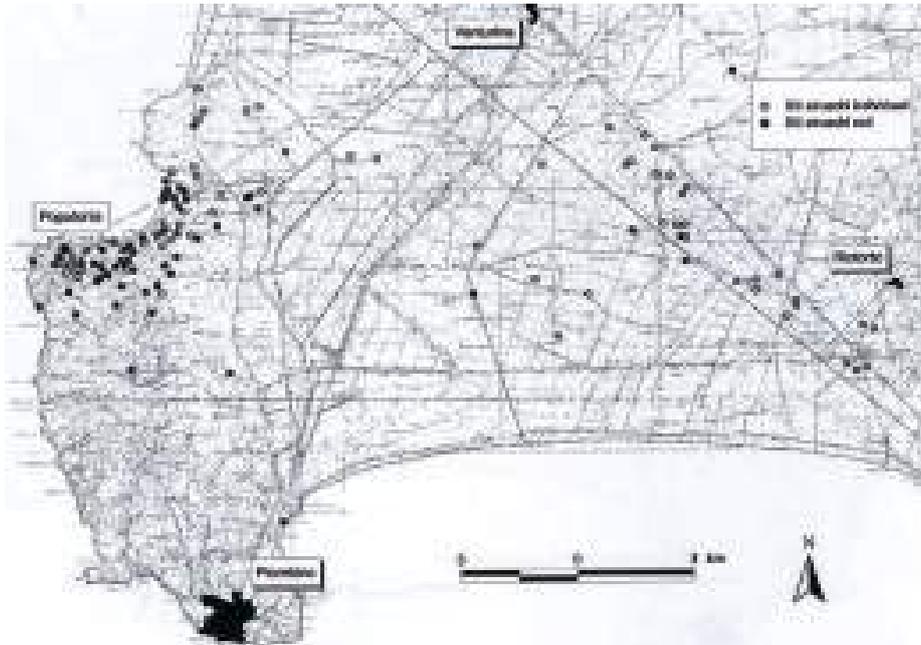
Andrea SEMPLICI,
Parco Archeologico di Baratti e Populonia,
Guida alla scoperta di un paesaggio,
Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A.,
Piombino, pagg. 26-31.

Ricostruzione
Acropoli Meridionale
di Populonia, presso
Poggio del Telegrafo, in
tarda età repubblicana
(III-I secolo a.C.)
Ricostruzione digitale
realizzata dallo Studio
Inklink Firenze



In primo piano gli
ambienti termali,
sullo sfondo Le
Logge. Immagine
scattata in occasione
dell'inaugurazione
del nuovo percorso di
visita, marzo 2018.





Territorio di Populonia.
Insediamento
all'epoca degli
Etruschi. Elaborazione
di Franco CAMBI



Territorio di Populonia.
Insediamento
all'epoca dei Romani.
Elaborazione di
Franco CAMBI



Zona delle Logge
dall'alto, immagine
realizzata con il volo
del drone Inspire2,
settembre 2017.

PAGLIANTINI LAURA,
Tesi di Dottorato in
Storia e Archeologia
Globale dei Paesaggi,
XXVI Ciclo: *Aithale*.
*L'isola d'Elba: paesaggi
antichi e bacini
d'approvvigionamento*,
Università di Foggia,
Dipartimento di Studi
umanistici, Anno
Accademico 2013-
2014, pagg. 96-100.

TIMEO, De Mirabilibus
Auscultationibus, 93,
Ed. Westermann, 1963.

DIODORORUS
SICULUS, 5.13.1.1, 5.14.3.1,
Ed. VOGEL, 1888.

Significative sono le testimonianze riportate in diverse fonti antiche che mettono in correlazione il territorio di Piombino con la lavorazione del ferro. Trovano notevole spazio le notizie relative alle miniere dell'isola d'Elba e quelle di Populonia, considerate inesauribili nella mentalità antica, in grado di rigenerarsi. Secondo **Timeo**, prima età ellenistica, esaurito il rame nella zona di Populonia, dopo un periodo di inattività, si iniziò a trovare il ferro. Il tema dell'abbondanza spicca in maniera predominante tra l'età repubblicana e l'età augustea, **Varrone** riesce a descrivere molto bene la lavorazione del ferro nel "continente".

"Si dice che in Tirrenia ci sia un'isola detta Aithaleia, in cui da una certa miniera si cavava inizialmente rame, col quale dicono che presso di loro venisse fabbricata ogni cosa, che poi non fu più trovato e che, passato molto tempo, comparve, da quella stessa miniera, ferro, di cui ancora oggi si servono i Tirreni che abitano la città chiamata Populonia".

"In Tirrenia, nei pressi della città chiamata Populonia, c'è un'isola, che chiamano Aithaleia. Questa, distante dalla costa circa cento stadi, prese il nome dalla quantità di fuliggine che vi si trova. Infatti è ricca di roccia ferrosa che cavano per la fusione e la lavorazione del ferro, in abbondanza di minerale. E così quelli che si occupano della lavorazione fanno a pezzi la pietra e portano a incandescenza i pezzi così tagliati in ingegnose fornaci: in queste officine, fondendo le pietre con una quantità di fuoco, le dividono in grossi blocchi delle stesse dimensioni, simili nelle forma a grandi spugne. Comprandole tutte e vendendole i mercanti le portano a Dicearchia e negli alti empori. Alcuni comprando questi carichi e riunendo un certo numero di fabbri ferrai portano a termine il processo di lavorazione e producono forme di ferro d'ogni genere. Alcune di queste le forgiano per farne armi, altre le lavorano con cura per farne maneggevoli modelli di marre, falci e arnesi d'altro tipo. Quando questi sono portati ovunque dai mercanti, molte parti dell'ecumene godono della comodità che ne viene. Dopo Aithaleia c'è un'isola che ne dista circa trecento stadi, e viene chiamata

dai Greci Kyrnos e dai Romani e dagli indigeni Corsica”.

Lo storico greco **Diodoro** in questo tratto della sua opera, si sofferma a descrivere il territorio di Populonia e della vicina isola d’Elba e di come avviene la lavorazione del ferro. Nel passo che segue Strabone si trova ad osservare una situazione un po’ diversa, la lavorazione avviene solamente nel continente. La posizione strategica della città permette la lavorazione dei materiali provenienti dalle tre limitrofe isole.

“Dalla città, poi, si riesce a vedere in lontananza, e a fatica la Sardegna e più vicino Cirno, che dista dalla Sardegna all’incirca 60 stadi, e molto più di queste, Aithalia, più vicina al continente alla distanza di 300 stadi, quanti ne dista anche da Cirno. Questa zona costituisce un eccellente punto d’imbarco per le tre isole suddette. Io stesso, salendo su Populonia, ho visto queste e certe miniere nella campagna, abbandonate. E ho visto anche quelli che lavorano il ferro portato da Aithalia. Infatti sull’isola non si può fondere cuocendolo in fornace, e si porta dritto dalle miniere al continente”.

STRABO, V.2.6,
Ed. Aly, 1972.

Oltre al tema della lavorazione dei metalli, è molto importante quanto riportato dallo stesso **Strabone** riguardo la città di Populonia:

“oggi è una città completamente abbandonata, tranne i templi e le poche case; più popolata è la zona del porto, che dispone di un ampio bacino ai piedi del colle e di due arsenali...”

STRABO, V.2.6,
Ed. Aly, 1972.

Significativo è il paesaggio osservato dal geografo nel I secolo a.C., il centro antico è quasi abbandonato, salvo una scarsa frequentazione nei pressi della cappella dedicata a San Cerbone lungo la spiaggia di Baratti, presso il quartiere “basso”, nei pressi del porto è presente un ampio e comodo bacino dove si localizzano due arsenali, infine nei pressi del promontorio è presente una tonnara. Più volte viene sottolineato dall’autor l’importanza del porto a Populonia, punto di imbarco preferenziale per raggiungere l’isola

Andrea CAMILLI, ...*Ducit in Arva sinum...*, breve nota sulla definizione del sistema portuale popoloniese, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2005, pagg.203-205,209, 213.

d'Elba, la Corsica e la Sardegna.

In realtà, come emerge nel testo di Andrea Camilli non si sa con certezza se il porto principale di Populonia fosse localizzato presso il Golfo di Baratti. Secondo Milani gli scali portuali erano due a seconda dei venti, l'approdo avveniva a Baratti in condizioni di scirocco dominante, mentre a Piombino con il venti di Libeccio. Nonostante questo duplice posizionamento degli attracchi marittimi, resta ancora il problema di dove localizzare il "porto" popoloniese, ossia il complesso di infrastrutture civili e militari, oltre che l'abitato che si sviluppò attorno a questo. Ricercando una risposta, lo stesso Camilli volge lo sguardo all'evoluzione del sistema lagunare di Piombino. Come mostra la carta di ipotesi di definizione delle lagune piombinesi il porto viene posizionato in prossimità della laguna, alle spalle del Golfo di Baratti. Questo è possibile presupporlo poiché a seguito del posizionamento delle diverse presenze archeologiche finora identificate , è presente un'ampia fascia non abitata in prossimità dell'area che divide l'entroterra dal promontorio.

Ipotesi di definizione delle lagune piombinesi e del sistema portuale di Populonia, Elaborazione tratta dallo scritto di Andrea CAMILLI.



- A = Baratti (approdo)
- B = Buca delle fate (approdo)
- C = Falesia (porto)
- D = Populonium (porto)

Intorno all'80 a.C. la città di **Populonia** è abbandonata, non ci viveva più nessuno all'interno delle possenti mura di cinta. La potenza di Roma imperiale si spinge altrove per la ricerca di materie prime, ormai non più interessata dal grande centro siderurgico della città, dopo anni di sfruttamento intensivo. Significativo è il ritrovamento, durante gli scavi recenti del 2002-2003, di strutture ellenistiche presso la spiaggia di Baratti. Gli archeologici sono riusciti a far risalire l'evoluzione del sito, in prossimità del mare, a quattro fasi.

In un primo momento, dal IV secolo al II secolo a.C., l'area è legata alla lavorazione del ferro, in stretta connessione con il Podere della Porcareccia dove sono stati rinvenuti gli "edifici industriali". Dalle scorie rinvenute è stato dedotto un passaggio di destinazione: da quartiere di fusione dei metalli a zona adibita alla riduzione del materiale; questo avvenne a seguito della chiusura delle miniere delle penisola su ordine di Roma, narrato da Plinio il Vecchio nei suoi scritti. In seguito, nella prima età augustea, I secolo a.C., avviene il cambiamento di destinazione d'uso con la nascita di due edifici, ora resi visibili dagli scavi compiuti, con la realizzazione di una strada per il collegamento verso l'Acropoli e gli altri centri produttivi. Dopo quasi due secoli il grande edificio posto in affaccio alla strada subisce una demolizione, in concomitanza probabilmente, con il rifacimento della strada e con l'inserimento di un canale di scolo. Gli ultimi ritrovamenti fanno riferimento a dati completamente differenti, nel corso del II secolo d.C. gli edifici sono utilizzati per la lavorazione e la conservazione del pesce. Vicino all'edificio A si trovano localizzate due tombe, appartenenti a due individui di ceto medio-alto o alto, identificabile dall'analisi del corredo e dalla scarsa usura dentaria. Gli edifici lungo la spiaggia di Baratti vennero riutilizzati in epoca tardo-antica ed alto medievale, con l'inserimento di alzati sorretti da pali lignei inseriti nelle murature rinvenute.

Valeria ACCORCIA,
Franco CAMBI, *Lo scavo della spiaggia di Baratti a Populonia*, Pisa, Edizioni ETS, 2009.



L'area della spiaggia dopo gli ultimi scavi del 2008.
Immagine realizzata durante la campagna dei rilievi con il drone Phantom4,
settembre 2017.

I secolo a.C- I secolo d.C.

Populonia e il suo territorio all'epoca di Roma

*Roma è padrona del mondo. Dopo i secoli di rapporti politici privilegiati con i Romani, Populonia è stata **saccheggiata**, punita per aver preso le parti dei perdenti nel conflitto che, cento anni prima, aveva visto avversari Mario e Silla. Sull'acropoli restano alcuni **templi** a testimoniare dell'antico splendore e, intatta, l'antica vite con l'immagine di Tinia, Giove per i Romani. Le imponenti architetture costruite solo due secoli prima son già rovina: del grandioso santuario sull'acropoli e dei suoi raffinati mosaici non c'è più nemmeno il ricordo. **La città è quasi abbandonata**. Restano le mura poderose. Dalla rupe un'altra torretta di legno consente di avvistare i branchi dei tonni per una pesca proficua. Il porto è ancora attivo, la darsena ospita navi all'ormeggio, si scaricano e caricano ancora merci di ogni tipo: anfore piene di vino, soprattutto, dall'Italia centrale, dalla Gallia, dell'Iberia, dalla Grecia, dalla Sicilia. Vasi a vernice rossa vengono ora Arezzo e da Pisa, vetri policromi da Roma, dalla Campania e dall'Oriente. L'**attività siderurgica**, sebbene calata dopo il grande sviluppo dei secoli precedenti, continua ad ammassare sulle vecchie tombe montagne di scorie. L'antica necropoli è ormai una **grigia collina ferrosa** in cui ancora si seppelliscono i morti. La cava è soltanto un cimitero. La vita si è trasferita nelle **ville**. Sono sontuose dimore abbellite da stanze affrescate con preziosi pavimenti a mosaico, dove l'alternarsi di giardini, patii, cortili e quartieri termali consente ai ricchi proprietari gli agi della città; gli altri, gli schiavi, lavorano e vivono in stretti e angusti cubicoli. Sulla costa, raffinate residenze si affacciano sul paesaggio che spazia dall'Elba alla Corsica; nell'entroterra, poderose architetture dominano il lavoro dei campi e la grande strada che attraversa la pianura, segno imponente del dominio di Roma. Sul tragitto della via consolare si aprono stazioni di posta dove è possibile cambiare i cavalli e trovare cibo e rifugio nella calura estiva o nelle fredde notti invernali.*

Testo tratto dai pannelli didattici presenti all'ingresso del Parco, ricostruzioni storiche della città di Populonia.



Ricostruzione del paesaggio di Populonia in epoca romana.
Ricostruzione realizzata dallo Studio Inklink Firenze (Simone Boni e Alessandro Rabatti)

V secolo d.C.

Il Golfo di Baratti e il Promontorio con l'antica città abbandonata

*Dell'antica città non restano ora che **rovine**. Il bosco si è ripreso il promontorio, anche le mura sono a tratti coperte di rovi e cespugli. Da tempo oramai l'**attività siderurgica si è attenuata** rispetto al passato, al punto da non aver più bisogno di molto combustibile. Lo scalo è ancora attivo e vitale: navi giunte dall'Africa continuano a scavare olio e vino e prodotti di artigianato e riforniscono le ville del territorio dove per lo più vivono gli schiavi di padrone che dimora stabilmente altrove, probabilmente a Roma. In alcune ville si forgia ancora il ferro, ma solo per gli usi interni; molte sono fatiscenti e fra le rovine offrono rifugio occasionale a pastori e a genti di passaggio, qualcuna forse anche a comunità monastiche della nuova religione, il cristianesimo. Nelle campagne perdurano ancestrali **riti pagani** e si celebrano ancora **antichi dei**. I laghi che fino a fino a qualche secolo prima davano riparo alle navi sono ormai diventati **stagni** e **paludi**. Sulle montagne anche l'attività dei minatori si è ridotta. Sull'antica strada consolare, a tratti impervia e insicura, le stazioni di posta offrono cibo e riparo ai viaggiatori. Sulla cima del promontorio, un faro che in altri tempi offriva ai naviganti una guida notturna ora è spento. Ma nei fondali marini si sono inabissate le immagini degli antichi dei cesellati nell'argento di una preziosa anfora: un vero tesoro che nessuno ha recuperato. Forse nessuno ha assistito a quel drammatico naufragio e forse nessuno ha potuto raccontarlo.*

Testo tratto dai pannelli didattici presenti all'ingresso del Parco, ricostruzioni storiche della città di Populonia.



Ricostruzione del paesaggio abbandonato di Populonia nel V secolo d.C.
Ricostruzione realizzata dallo Studio InKlink Firenze (Simone Boni e Alessandro Rabatti)

Nonostante l'abbandono dell'antica città etrusca, il territorio faceva parte della **diocesi di Populonia**, sede vescovile, i cui confini si estendevano dal litorale tirrenico alle Colline Metallifere, comprendendo anche l'isola d'Elba e le isole minori dell'arcipelago toscano. Il territorio sottostava a un'organizzazione di base ecclesiastica-giurisdizionale, composta da diversi nuclei. Il vescovo più celebre è stato Cerbone, ricordato in diversi scritti del Papa Gregorio Magno. A seguito dell'invasione longobarda sugli scenari della penisola italiana, il vescovo fu costretto a fuggire sull'Isola d'Elba sotto la protezione di Bisanzio.

Negli anni carolingi, IX secolo, il vecchio centro di metallurgia etrusca è ancora attivo. I forni cesseranno definitivamente la loro attività nel XIV secolo con l'avvento dell'energia idraulica, trasformando in maniera definitiva l'industria siderurgica. I nuovi impianti di produzione si spostano nelle zone di Follonica e di Campiglia. Le miniere dell'isola d'Elba continueranno ed essere utilizzate, il monopolio di queste ricorse appartiene al potere delle famiglia Medici a partire con il granduca Cosimo de Medici. A Populonia rimangono soltanto le montagne nere di scorie ferrose.

Tra la fine del XIII secolo e l'inizio del XIV secolo, la zona di Baratti e l'intera città di Populonia è sotto il controllo della grande potenza del mare di Pisa. Proprio durante quel periodo sorgono sul promontorio dell'antica Populonia edifici castellati. Nella zona limitrofa all'Acropoli romana sorge un modello insediativo tipico del basso medioevo, costituito da mura al cui interno sono presenti edifici regolari inseriti in una maglia ortogonale, senza dimenticare la presenza di un castello con torri. La torre datata 1115 è costruita su un basamento composto da grandi blocchi quadrati, asportati dai grandi templi romani dell'acropoli durante il Medioevo, mentre i grandi blocchi che costituivano le fondazioni dei templi sono rimasti al loro posto lasciando una traccia e la testimonianza di come erano innalzati.

Luisa DALLAI, *Indagini Archeologiche sul territorio dell'antica diocesi di Massa e Populonia: insediamenti monastico e produzione del metallo fra il XI e il XIII secolo*, Firenze, All'insegna del Giglio, 2003.

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pag. 28

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pagg. 29-30.



Il castello medievale di Piombino.
Immagine realizzata con il drone a seguito dei rilievi eseguiti del settembre 2017.

XIII secolo d.C.

Nell'entroterra del Golfo di Baratti e sul Promontorio dominano i castelli

*Di Populonia resta solo il ricordo del nome. Dove erano case e santuari c'è ora un **castello**. Lo hanno costruito sulle possenti fondazioni di un tempio vetusto, utilizzando anche blocchi squadrati di edifici imponenti. Domina dall'alto il promontorio e il golfo, sorveglia la campana lontana, **custodisce il porto** dagli attacchi dal mare. Alberi e cespugli hanno ricoperto i **cumuli delle scorie**. Vi si aggirano sparuti gruppi di artigiani, fabbri itineranti che lavoravano il ferro. Si accampano dove c'è acqua e legname: sotto la sorveglianza del capogruppo, uno accudisce al forno, uno aziona i mantici, uno procura il combustibile. Raffinano il metallo per poi mandarlo a forgiare a **Pisa, dominatrice** di questo tratto di mare. Sulle colline del grande bacino minerario sono sorti nuovi abitanti. **Villaggi fortificati** ospitano chi lavora nelle miniere e chi trasforma i minerali di rame e argento in metalli preziosi per le famiglie potenti di Pisa. Nella piana, qualcuno coltiva i campi e alleva il bestiame, ma l'aria è malsana. Da tempo sono tornati **paludi, acquitrini e malaria**. Nelle valli si insegue il volo degli uccelli migratori, si allevano molluschi, si raccolgono canne e giunchi da intrecciare. Il pulsare della vita e dei traffici è ormai trasferito più a sud, a Piombino. Là sorge un altro castello e sarà residenza di una famiglia che ne farà la sua capitale per i secoli a venire, e costruirà cittadelle e palazzi. A Populonia non ci sono nemmeno le ossa di San Cerbone, il patrono della città. Da tempo, al sopraggiungere della malaria e delle insidie di un'epoca incerta, il **vescovo** ha trasferito la sua sede nell'entroterra, a **Massa Marittima**. Là stanno costruendo una magnifica cattedrale, scrigno per le reliquie del santo.*

Testo tratto dai pannelli didattici presenti all'ingresso del Parco, ricostruzioni storiche della città di Populonia.



Nel XIII secolo d.C. è presente un castello sul promontorio, la zona di Baratti continua ad accumulare scorie. Ricostruzione realizzata dallo Studio Inklinc Firenze (Simone Boni e Alessandro Rabatti)

Bibliografia di riferimento

Luisa DALLAI, *Indagini Archeologiche sul territorio dell'antica diocesi di Massa e Populonia: insediamenti monastico e produzione del metallo fra il XI e il XIII secolo*, Firenze, All'insegna del Giglio, 2003.

Franco CAMBI, *I confini del territorio di Populonia: stato della questione*, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2003, pagg. 7-9.

Franco CAMBI, Lucia BOTARELLI, *Il territorio di Populonia fra il periodo Etrusco tardo e il periodo Romano. La ricognizione archeologica*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 2004, pagg. 161-163.

Andrea CAMILLI, *...Ducit in Arva sinum...*, *breve nota sulla definizione del sistema portuale popoloniese*, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2005, pagg. 203-205, 209, 213.

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pagg. 26-31.

Valeria ACCORCIA, Franco CAMBI, *Lo scavo della spiaggia di Baratti a Populonia*, Pisa, Edizioni ETS, 2009.

PAGLIANTINI LAURA, Tesi di Dottorato in Storia e Archeologia Globale dei Paesaggi, XXVI Ciclo: *Aithale. L'isola d'Elba: paesaggi antichi e bacini d'approvvigionamento*, Università di Foggia, Dipartimento di Studi umanistici, Anno Accademico 2013-2014, pagg. 96-100.

2.4 Le scoperte del XX secolo

Andrea SEMPLICI,
*Parco Archeologico di
Baratti e Populonia,*
Guida alla scoperta
di un paesaggio,
Firenze, 2008, Parchi
Val di Cornia S.p.A.,
Piombino, pagg. 43-45.

All'inizio del XX secolo il panorama della vecchia Populonia si presentava con una quantità enorme di scorie ferrose risalenti al periodo di attività etrusco e romano. Quasi mezzo milione di metri cubi di materiale ferroso era accumulato nell'area della zona di San Cerbone, appena dietro il Golfo di Baratti. Queste scorie nascondevano ancora il 60 per cento di metallo utile, e sarà proprio nei primi anni del Novecento ad interessare gli ingegneri minerali. Guardava a quelle risorse l'Italia, nel periodo tra le due Guerre Mondiali, ma non solo, anche il Belgio e l'Inghilterra. Nel 1921 incominciarono i lavori per il recupero dei residui etruschi da parte della società Ferromin, per diventare nel tempo Italsider e poi ILVA, e si protrassero per ben quaranta anni, fino al 1969 con l'eliminazione totale dei resti della miniera. Le escavatrici in funzione demolirono le montagne di residui prodotti molti secoli prima, trascinando le scorie verso il mare per poi essere caricate su grandi navi e far in qualche modo "ritorno" da dov'erano venute, ossia l'isola d'Elba, lì sono presenti i magazzini minerali di Rio Marina. Le stesse escavatrici fecero riapparire e permisero il ritrovamento delle monumentali tombe della più antica Necropoli popoloniese, sotto accumuli di scorie di oltre dieci metri.

Come si presentava
il Golfo di Baratti nel
maggio del 1926.
Immagine estratta
dalla Relazione
Paesaggistica, 2013.





Accumuli ferrosi in corrispondenza del Golfo di Baratti, alti diversi metri. Immagine estratta dalla Relazione Paesaggistica, 2013.

Molto significative sono le fotografie di quei primi anni del Novecento. La grande città che fino ad allora non si era ancora mostrata, a differenza delle altre città etrusche, finalmente era riuscita a ricomparire e manifestare la propria grandezza al mondo intero, dando l'avvio a **numerose campagne di scavo e di rilievo**, tutt'oggi ancora presenti.

La primissima campagna iniziò nel 1908, anche se verso la fine dell'Ottocento ci furono alcuni scavi archeologici eseguiti a livello "amatoriale". Nel 1889 il conte Curzio Desideri, allora proprietario della tenuta di Populonia, si fece realizzare un podere in prossimità del golfo di Baratti, oggi noto come il Centro Visite del Parco Archeologico. Durante i lavori per la realizzazione della nuova viabilità, il noto archeologo Falchi, scopritore di un'altra grande potenza Etrusca, Vetulonia, notò una pietra squadrata di arenaria che nascondeva una tomba di cassone. In realtà si scoprì successivamente a cosa corrispondeva quella pietra, distratto dagli studi sull'altra città Etrusca, non diede troppo peso alla scoperta. I contadini della zona, che non avevano nulla da perdere, iniziarono campagne abusive di scavo alla ricerca di qualche tesoro. Furono accontentati con la scoperta di alcune tombe e diversi corredi funebri, da quel giorno la zona di San Cerbone venne invasa da archeologi, tombaroli, antiquari e nel frattempo gli operai occupati nella rimozione delle scorie ferrose.

Gli anni d'oro dell'archeologia Etrusca a Populonia iniziarono a partire dal 1914 con il Soprintendente dell'antichità d'Etruria, Antonio Minto.

Fotografia degli operai durante le operazioni di recupero delle scorie ferrose. Immagine estratta dalla Relazione Paesaggistica, 2013.



Ritrovamento della Tomba del Bronzetto d'Offerente nel 1957. Immagine estratta dalla Relazione Paesaggistica, 2013.



Ritrovamento di monumenti funerari all'interno della Necropoli di San Cerbone. Immagine estratta dalla Relazione Paesaggistica, 2013.



Inizi del '900

Nel Golfo di Baratti si cavano le scorie antiche e scoprono le Necropoli Etrusche

*Anima il golfo una **fervente attività**. Si è scoperto che le antiche scorie di fusione contengono ancora moltissimo ferro, da rifondere e riutilizzare. Si **disbosca, si scavano intere colline di scorie**, che vengono trasportate in vagoni ferroviari fino al porto; qui una teleferica le imbarca nelle stive di grandi navi a vapore. Gli uffici contabili segnano carichi e i volumi della produzione, che serve, in regime di autarchia, all'industria nazionale. Dai tempi dei Francesi, all'inizio del secolo precedente, si è provveduto a **bonificare paludi e acquitrini**. Nelle campagne, ravvivate da nuove case coloniche, si è tornati a coltivare il grano in grandi estensioni, anche se la malaria e il tifo ancora non sono del tutto debellati. Sono sorti, fin dall'epoca dei Granduchi di Toscana, **nuovi centri abitati** e sul tracciato dell'antica via consolare, riattivata e adattata alle nuove esigenze, ora corrono le carrozze, i convogli e le prime automobili. Una moderna strada ferrata attraversa la piana ai piedi delle colline. Unisce Livorno a Roma e da essa partono i collegamenti per Piombino, capitale delle acciaierie, e per il golfo di Baratti, ancora dominato dalla rocca quattrocentesca di Populonia. Nel cuore delle montagne dai fianchi sventrati per cavare le pietre, le miniere offrono ingrato lavoro a migliaia di maestranze. Il progresso, è anche modifica di paesaggi millenari, talvolta fino alla distruzione degli antichi equilibri ambientali. Incessante, oltre a quella degli ingegneri, è anche **l'attività degli archeologici**. Che qui ci fosse l'antica Populonia, si sapeva fin dal Rinascimento, ma della città restava visibile sull'Acropoli solo la scenografia delle Logge. Poi, nell'ultimo secolo, scoperte fortuite avevano rilevato inaspettati tesori: una fiasca di vetro istoriata, una statua di bronzo bellissima, un prezioso mosaico con scene marine. Ma ora, lentamente, tra le colline delle scorie ferrose riemergono i grandi tumuli etruschi, con carri e ventagli di bronzo, oreficerie e vasi bellissimi. **Il lavoro dei ricercatori di ferro è affiancato da quello degli scavatori**. Sono molti, tutti sono le direttive di **Antonio Minto**.*

Testo tratto dai pannelli didattici presenti all'ingresso del Parco, ricostruzioni storiche della città di Populonia.



A seguito dei lavori per il recupero delle scorie ferrose avviene il ritrovamento delle Necropoli Etrusche nei pressi del Golfo di Baratti, il paesaggio è mutato parecchio rispetto all'epoca etrusca.
Ricostruzione realizzata dallo Studio Inklinc Firenze (Simone Boni e Alessandro Rabatti)

Bibliografia di riferimento

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pagg. 43-45.

Comune di Piombino, *Piano Particolareggiato del Parco Archeologico di Baratti e Populonia: Relazione Paesaggistica*, luglio 2011, pagg. 8-10.

Marta COCCOLUTO, *Il parco archeologico di Baratti e Populonia. Un caso studio per la valorizzazione, la fruizione e la gestione dei beni culturali*, slide, Università degli Studi di Siena, Master Universitario di II livello in “Conservazione e Gestione dei Beni Archeologici e Storico-Artistici”, 2012-2013.

2.5 Le strutture tombali e i materiali lapidei delle Necropoli

I gruppi funerari presenti all'interno del Parco Archeologico di Baratti e Populonia sono così articolati: a Nord del Golfo di Baratti con il complesso funerario di **Piano e Poggio delle Granate**, al centro del Golfo con le tombe più antiche di **Casone, San Cerbone** e di **Poggio della Porcareccia** e, infine, a sud con la **Necropoli del Molino, del Telegrafo e delle Grotte**.



Le tombe, oggetto di rilievo tramite fotogrammetria da drone, presenti nel gruppo centrale, consideratasi la necropoli monumentale della città, fanno parte di un unico complesso. Le tombe sono state messe in luce tramite gli scavi compiuti da Milani (1908) e poi da Minto (1914), mostrano due tipologie: sono presenti quelle a incinerazione e quelle a inumazione. Le prime si suddividono a loro volta in tombe a pozzetto e in tombe a buca rivestite da blocchi in pietra, mentre le seconde sono a fossa, molto semplici con le pareti rivestite da lastroni di calcare, una sorta di cassone. Molto difficile è la ricostruzione su a chi appartenevano le tombe, difficile è anche riconoscere il sesso, in quanto al momento del ritrovamento non erano quasi più presenti i corredi funerari, ad eccezione di alcune tombe, che come mostra il toponimo correlato, si associano agli oggetti rinvenuti al loro interno.

La più antica tomba a camera di San Cerbone appartiene al periodo tardo villanoviano ed è la tomba 12 secondo gli scavi condotti nel 1923, nei pressi della tomba delle Pissidi Cilindriche. La tomba presenta una piccola camera a pianta absidata con dromos e pseudo cupola, rinvenuta intatta al momento della scoperta. Tra gli oggetti di corredo rimasti al suo interno, sono stati ritrovati resti di una spada ad anetemie, un frammento di rasoio lunato e una "coppa di argilla figulina color giallognolo con anse a bastoncello e decorazione a tratti paralleli", una ceramica di tipo greco tardo-geometrico. La pianta di questa tomba, confrontata con le abitazioni absidate in Grecia e nell'Etruria orientalizzante, si pone come una struttura intermedia tra le capanne ellittiche e le case quadrangolari. Attraverso questa analogia presente a Populonia, rimane sempre più forte la connessione tra le tombe di Populonia e le strutture abitative sviluppate in quel periodo. Secondo gli studi di Bartoloni, la struttura delle tombe a camera trae una profonda ispirazione dal modello abitativo di quell'epoca. Nella prima età del Ferro in Etruria le capanne delle abitazioni presentano una forma allungata ed angoli arrotondati.

Andrea ZIFFERERO,
Architettura Funeraria a
Populonia tra il IX e il VI
secolo a.C., in Consiglio
Nazionale delle
Ricerche, Università
degli Studi di Siena, Atti
del Convegno, Castello
di Populonia, 30-31
ottobre 1997, Firenze,
Edizioni all'Insegna del
Giglio, 2000, pagg. 1-3.

Orazio PAOLETTI, *I materiali lapidei in Architettura Funeraria a Populonia tra il IX e il VI secolo a.C.*, (in) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università degli Studi di Siena, Atti del Convegno, Castello di Populonia, 30-31 ottobre 1997, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2000, pagg. 1-7.

Occorre, prima di introdurre quali sono state le scelte dagli “architetti popolonesi” a proposito delle costruzioni realizzate, ricordare da quali caratteristiche geologiche e litologiche è interessato il territorio. Il promontorio di Piombino è occupato dal macigno, una composizione di rocce sedimentarie oligoceniche riconoscibili come arenarie, formatosi dalla cementazione di sabbie incoerenti. Inoltre sono presenti, nel territorio in analisi, argille, dove in questa zona della Toscana prendono il nome di alberese a causa della stratificazione del calcare con livelli marnosi. I depositi di “panchina”, presenti nella Necropoli delle Grotte, indicano sedimenti sabbiosi ricchi di frammenti organici cementati, possono essere arenarie calcarifere, calcari arenacei o calcareniti. La pietra, di composizione assai tenera, è soggetta a problemi di conservazione a causa del degrado atmosferico. Un caso esemplare dei danni subiti dalla panchina con il passare dei secoli è visibile sulla “facciata” della cava delle Grotte, dove sono visibili profondi fori a causa delle intemperie. Sono proprio queste materie prime a fornire i materiali per la realizzazione dei grandi monumenti funebri a Populonia.



Parete della cava, dettaglio tracce di lavorazione della pietra panchina e segni del tempo. Immagine scattata nel marzo 2018.

Per quanto riguarda la zona monumentale di San Cerbone le tombe sono realizzate principalmente con materiali a base di pietra panchina e alberese. La pietra panchina viene utilizzata negli spazi interni: le pareti delle celle, nei letti funebri, nella delimitazione dei loculi e nella lastra di chiusura delle tombe, mentre l'alberese

nei filari aggettanti della pseudo cupola, nei penneccchi di appoggio e nella copertura del dromos. L'accostamento di questi due materiali permette anche un piacevole gioco cromatico, l'accostamento tra le lastre più chiare di alberese e i cordoli e la cortina muraria in panchina. Ma non mancano le eccezioni, lo schema riproposto in precedenza a seguito degli attenti studi di Fedeli, vengono in qualche modo smentiti in diverse tombe. Solo per citarne alcuni, senza soffermarsi eccessivamente, nella Tomba delle Oreficerie sono presenti blocchi in pietra calcarea, mentre nella Tomba delle Pissidi Cilindriche venne utilizzato del travertino insieme alla panchina per la realizzazione del tamburo.



Tomba delle Pissidi Cilindriche, Necropoli di San Cerbone. Immagine scattata nel marzo 2018.

Le tombe a camera definite “ad alto tumulo” seguono la regola riportata. Le tombe ad edicola, come la nota Tomba del Bronzetto dell’Offerente, sono costruite interamente con blocchi di panchina, ottenendo anche le falde del tetto e le corrispettive lastre di sostegno e probabilmente anche la decorazione plastica a tutto tondo.



Disegno ricostruttivo del fronte principale della tomba, sulle letture operate da De Agostino, Fedeli e Berzi, riguardanti i frammenti di sculture architettoniche rinvenuti al momento degli scavi. Immagine tratta dal testo di Puma (2014).

Leonardo ZAMPI, Il Territorio di Populonia dalla Preistoria al Tardo Antico, pag. 132, tratto da www.academia.edu

L'intervento parziale di scavo e sistemazione parziale di un settore della Necropoli delle Grotte fu condotto tra il 1997 e il 1998 per realizzare uno dei percorsi principali all'interno del Parco Archeologico e Naturalistico di Populonia, quando ancora non era presente il Parco Archeologico di Baratti e Populonia.

La Necropoli delle Grotte rappresenta la più estesa fra le necropoli di età ellenistica che si sviluppano nel momento di massima espansione della città, tra la fine del IV e gli inizi del III secolo a.C. Secondo Fedeli le tipologie tombali presenti si possono distinguere in tre tipologie:

1. Tombe a camera ipogee scavate nella panchina, suddivise in tombe con dromos in discesa a gradini, tombe con dromos senza gradini e tombe senza dromos; nella maggior parte dei casi presentano una cella a forma quadrata.
2. Tombe a camera ipogee, scavate negli strati di sabbioni;
3. Tombe di inumati a fossa.

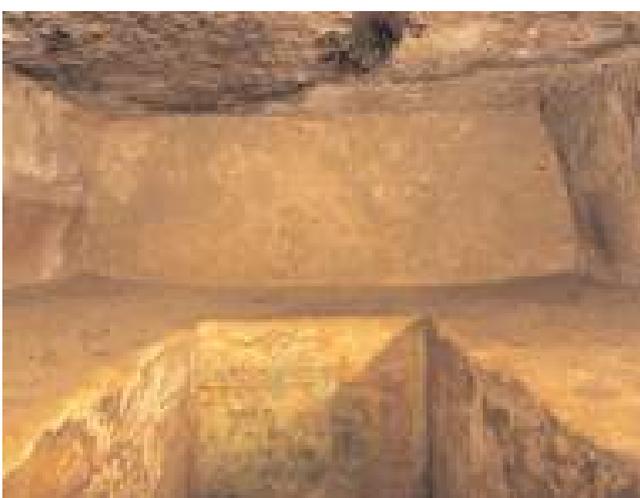
Ornella GUZZI, Antonella ROMUALDI, Rosalba SETTESOLDI, *Populonia in età ellenistica: nuovi dati nella raccolta dalla necropoli delle Grotte*, in *Materiali per Populonia 4*, Firenze, All'insegna del Giglio, 2005, pag. 175-202.

All'interno di questo sistema, molto complesso e ancora in fase di indagine, si conservano **due tombe dipinte** che configurano ad oggi l'unica testimonianza conosciuta di questo tipo di sepolture nell'Etruria settentrionale costiera, la tomba "delle onde marine" e quella dei "delfini". Esse furono oggetto di studio a partire dal 1974 da parte di Fabio Fedeli e successivamente riprese nell'ambito di lavori di un convegno sulla pittura etrusca nel 2002. Secondo gli studiosi le tombe mostrano un linguaggio formativo improntato su modelli ceretani e tarquiniesi, ma non privo di caratteri originali, mostrando la presenza di artigiani formati in ambito etrusco-meridionale ma ormai inseriti nella realtà locale. Si tratta di tombe appartenenti a famiglie di livello agiato, almeno in parte forse provenienti dall'Etruria meridionale, che hanno continuato per più di un secolo ad usufruire della tomba di famiglia. Questi dati fanno dedurre un possibile ridimensionamento della società popoloniese composta in parte da individui di origine semi-servile.



Stephan STEINGRABER,
*Abundance of
Life, Etruscan Wall
Painting*, Verona,
Arsenale Editrice,
2006, pag. 277, 307,

Tomba delle Onde
marine, Necropoli
delle Grotte, inizio
del III secolo a.C.



Tomba dei Delfini,
Necropoli delle Grotte,
inizio del III secolo a.C.

Gli scavi hanno perciò permesso di mettere in luce 35 tombe ad ipogeo e 8 tombe a fossa ad inumazione e a cremazione, ricavate nel riempimento della cava non più attiva, formatasi dai residui di lavorazione della calcarenite. Il nucleo delle più consistenti e affascinanti tombe ad ipogeo, le tombe cosiddette limitrofe, è disposto sulla parete ripida del costolone di roccia con tombe allineate su almeno sei livelli diversi che spesso intersecano e quasi si sovrappongono tra loro. Prevale la necessità di sfruttare al massimo per le sepolture lo spazio esistente, contribuendo così ad evidenziare il quadro dell'enorme sviluppo demografico raggiunto dalla città in età ellenistica. Quasi tutti i materiali rinvenuti nelle tombe cosiddette limitrofe fin da un primo esame sembrano confermare l'arco cronologico di utilizzo della necropoli fino ad oggi indicato, ossia dalla fine del IV alla metà del II secolo a.C.

Senza ombra di dubbio gli archeologici sono certi che questi materiali non venivano utilizzati solo per i monumenti funebri, ma anche per il sistema difensivo delle città, gli edifici destinati alla lavorazione metallurgica, alcuni resti sono presenti alla Porcareccia, e probabilmente anche per altre tipologie di edifici che però non sono ancora stati ritrovati.



Mura delle città, presso la zona dell'Acropoli. Immagine scattata nel marzo 2018.

L'elemento principale di questa trattazione dei materiali presenti a Populonia, è la strettissima correlazione con le cave presenti, data da un'esigenza pratica mirata a contenere la difficoltà di trasporto. Le tracce più significative della lavorazione della panchina sono presenti presso la Necropoli delle Grotte. Il bacino estrattivo si distende tra gli 80 metri e i 140 metri (rivedere) di altitudine lungo il pendice sud-orientale del Poggio della Guardiola, all'interno della fitta macchia mediterranea. Sin dal VII secolo vennero utilizzate quelle cava per l'estrazione, non solo la grande cava delle Grotte, ma le zone estrattive studiate sono da ricondurre almeno a quattro "postazioni".

La grande cava si estende in un ampio piano di coltivazione abbandonato in corso d'opera dove in un lato è presente il settore della cava disposto a L e dall'altro lato un fronte di cava con sviluppo verticale, dove al suo interno vennero, successivamente, ricavate delle tombe nella pietra panchina. Il fronte della cava è sovrastato da un modesto strato di sabbia arrossata, solcato da profonde



Necropoli delle Grotte.
Immagine realizzata con il drone Phantom4, in occasione dei rilievi del settembre 2017.

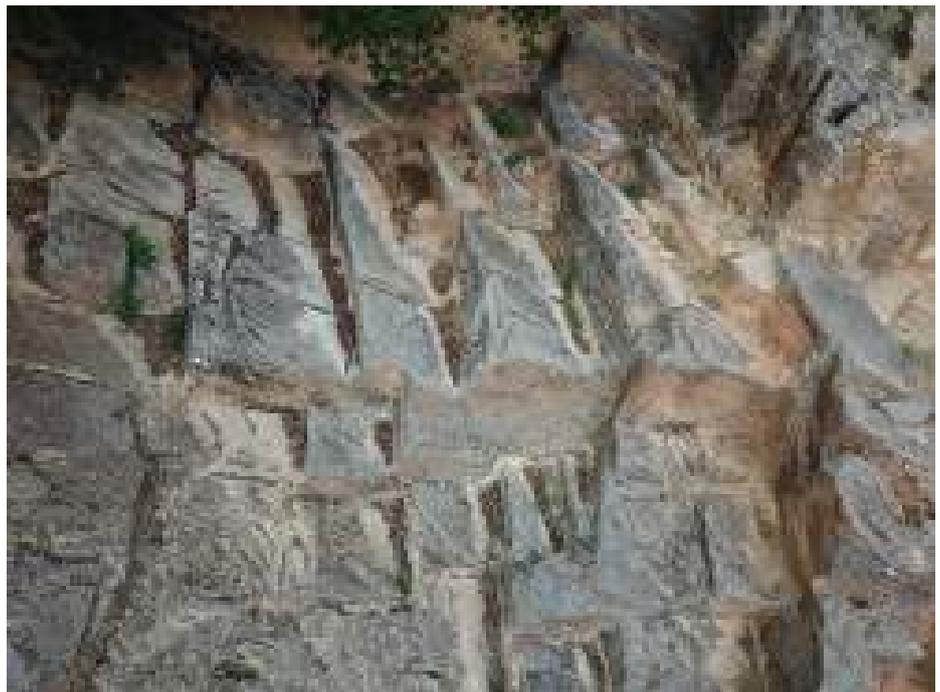


Parete Cava delle Grotte.
Immagine realizzata con il drone Phantom4, in occasione dei rilievi del settembre 2017.

Andrea SEMPLICI,
*Parco Archeologico di
Baratti e Populonia,
Guida alla scoperta
di un paesaggio,*
Firenze, 2008, Parchi
Val di Cornia S.p.A.,
Piombino, 88-90.

incisioni, a causa dei fenomeni carsici, mentre sul fronte principale sono presenti due ordini di camere funerarie scavate nella roccia. La superficie conserva ancora due iscrizioni etrusche, ma soprattutto i segni riconducibili ai metodi estrattivi della pietra, file continue di lunghe e sottili impronte oblique. I segni, non ancora chiari agli studiosi, riportano la numerazione '150' e il nome 'Annas', probabili indicazioni per le operazioni da svolgere da parte degli operai etruschi. Informazioni, visibili sin da un primo sguardo anche non troppo attento, sono ancora più identificabili attraverso la visione del modello tridimensionale della tomba a seguito del rilievo Lidar.

Il procedimento di estrazione si adegua perfettamente ai piani di sedimentazione inclinati della panchina, i blocchi estratti erano di circa 70 metri, i cunei di estrazione venivano inseriti lungo le quattro fratture verticali e l'operazione doveva durare diverse ore prima dell'estrazione completa.



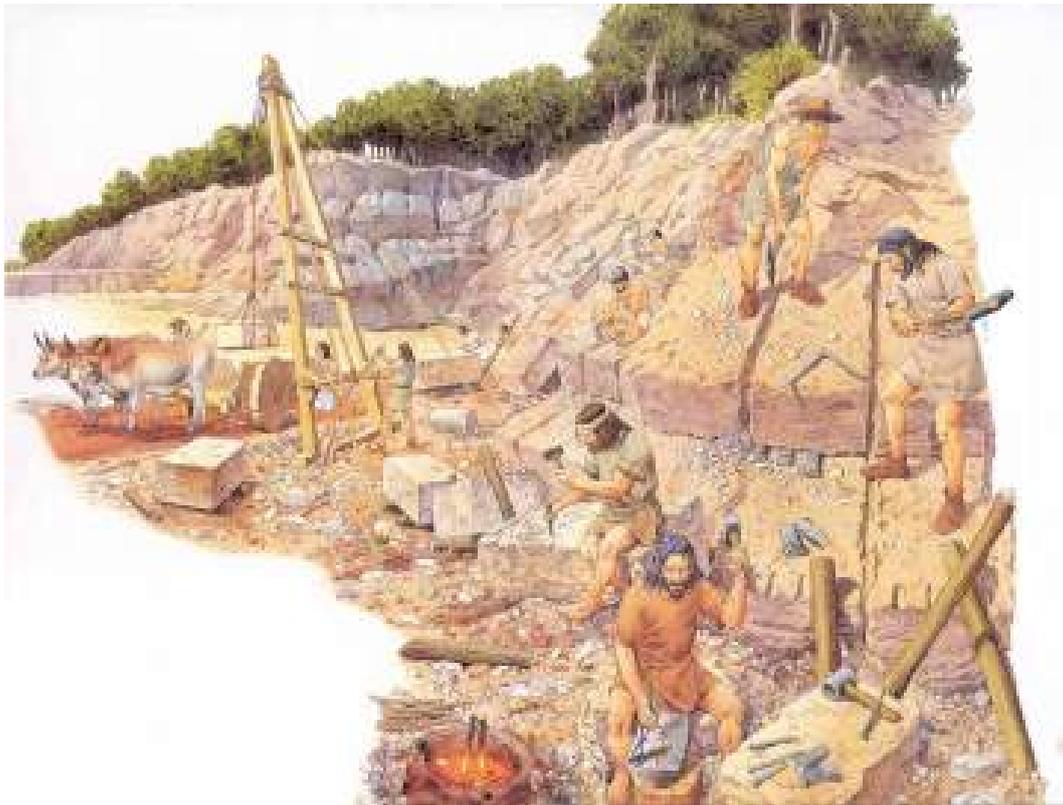
Dettaglio blocchi di
pietra presenti nella
cava. Immagine
realizzata con il drone
Mavic, in occasione dei
rilievi del settembre 2017.

Non si sa se la lavorazione del medesimo blocco avveniva in loco e in verso valle, probabilmente in un'officina specializzata. Le tombe presenti all'interno della parete, in particolar modo la tomba 14 e la 15, vennero alla luce solo nel 1997, la prima addirittura completa di corredo funebre di una donna cremata, sono da far risalire al III secolo a.C., quando probabilmente la cava non veniva più utilizzata. A cinquanta metri dal fronte di cava è presente, e visitabile

tutt'oggi, il piano di coltivazione posto ad L. Le operazioni qui condotte seguono la stratificazione naturale della pietra, inclinata proprio verso il fronte delle Grotte. Il tratto evidenziato dallo scavo, profondo in pianta meno di 20 metri e largo poco più di 50 metri, mostra che lo sbancamento avveniva secondo un sistema a reticolo e a gradini, in modo da sfruttare le canalette di divisione tra i blocchi contigui e di consentire a più cavatori di lavorare in contemporanea. I blocchi che venivano estratti in qualche modo avevano già le dimensioni richieste per la messa in opera. Dopo numerosi secoli e diverse condizioni a cui è stata sottoposta la pietra è difficile riportare con precisione le dimensioni dei blocchi. In base agli studi effettuati nella Necropoli delle Grotte, oltre a formulare quali sono stati i procedimenti di escavazione e la quantità di materiale estratto, sono state fatte anche delle ipotesi riguardo l'organizzazione del lavoro nel mondo etrusco, probabilmente affidato a squadre di cavatori specializzati poco numerose. Mentre non si sa se era presente un piazzale di cava, dove poteva forse avvenire la squadratura dei blocchi, o quale fosse il percorso di uscita in pendenza per il trasporto a valle. La cava è posta sul fianco della collina, forse avveniva tramite un sistema di trascinamento e in un secondo momento grazie all'utilizzo di animali da traino.



“Dado” ricavato nella parete dell'antica cava delle Grotte. Immagine realizzata nel marzo 2018.



Ricostruzione dell'attività dei cavatori nell'area delle Grotte. Sul piano di coltivazione in declivio, i blocchi sono tagliati verticalmente sui quattro lati e separati dal letto di cava tramite cunei. Ricostruzione realizzata dallo Studio Inklink Firenze.



Dettaglio parte alta della parete della cava delle Grotte in pietra panchina. Immagine realizzata nel marzo del 2018.

Bibliografia di riferimento

Andrea ZIFFERERO, *Architettura Funeraria a Populonia tra il IX e il VI secolo a.C.*, in Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università degli Studi di Siena, Atti del Convegno, Castello di Populonia, 30-31 ottobre 1997, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2000, pagg. 1-3.

Orazio PAOLETTI, *I materiali lapidei in Architettura Funeraria a Populonia tra il IX e il VI secolo a.C.*, (in) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università degli Studi di Siena, Atti del Convegno, Castello di Populonia, 30-31 ottobre 1997, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2000, pagg. 1-7.

Ornella GUZZI, Antonella ROMUALDI, Rosalba SETTESOLDI, *Populonia in età ellenistica: nuovi dati nella raccolta dalla necropoli delle Grotte*, in *Materiali per Populonia 4*, Firenze, All'insegna del Giglio, 2005, pagg. 175-202.

Stephan STEINGRABER, *Abundance of Life, Etruscan Wall Painting*, Verona, Arsenale Editrice, 2006, pag. 277, 307,

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio*, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, 88-90.

Franco CAMBI, Fernanda CAVARI, Cynthia MASCIONE, *Populonia. Costruzione e produzione del ferro tra il periodo etrusco e la romanizzazione*, Bari, 2009, Edipuglia.

Leonardo ZAMPI, *Il Territorio di Populonia dalla Preistoria al Tardo Antico*, pag. 132, tratto da www.academia.edu

Fotogrammetria
aerea

Fotogrammetria
terrestre

Laser Scanner
portatile

Laser Scanner
fisso

3 METODI E STRUMENTI PER IL RILIEVO



3.1 Rete topografica e GNSS

Alla base di ogni rilievo metrico è necessario definire la posizione di una serie di punti sull'oggetto di studio e sulla superficie del terreno circostante. Questi punti dovranno essere misurati con un'elevata precisione poiché queste misure saranno la base di tutto il rilievo, e gli errori influenzeranno tutte le fasi successive dell'elaborazione dei dati con le corrispettive georeferenziazioni.

Questa procedura risale al XVII secolo quando *Snellius*, matematico e geodeta olandese, pensò di ricoprire il territorio in esame con una serie di punti misurati attraverso l'ormai noto, a noi, metodo della triangolazione.

Con l'avanzare dei secoli si è giunti ad utilizzare strumenti ad onde elettromagnetiche e metodi di misurazione satellitare, risolvendo così il problema delle misure delle grandi distanze. La fase operativa del posizionamento dei punti a terra, è preceduta dalla creazione di reti di vertici a cui si legano le successive misurazioni per determinare i punti di dettaglio, utili per la restituzione grafica, in particolare alla scala architettonica.

L'impianto per il rilevamento del territorio e la produzione cartografica, che nel nostro caso studio servirà per l'aggiornamento della cartografia numerica dell'area di Baratti e Populonia, è condotto secondo il seguente schema:

A. SPANÒ, Dispense per il corso "Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura", Politecnico di Torino, 2017/2018.

Rete di inquadramento	<ul style="list-style-type: none">• Global Navigation Satellite System (GNSS)
Rete di raffittamento (tramite stazione totale)	<ul style="list-style-type: none">• Rilievo topografico• Acquisizioni RTK
Rilievo di dettaglio	<ul style="list-style-type: none">• Laser Scanner• Fotogrammetria• Mobile Mapping (ZEB)

Il calcolo delle coordinate dei punti materializzati o scelti sul territorio sono misurati tramite il ricevitore GNSS, *Global Navigation Satellite System*. Questo sistema di misurazione Globale permette l'integrazione dei sistemi satellitari, il sistema americano (GPS), il sistema russo (GLONASS), il sistema europeo (GALILEO) e il sistema Cinese (BEIDOU).

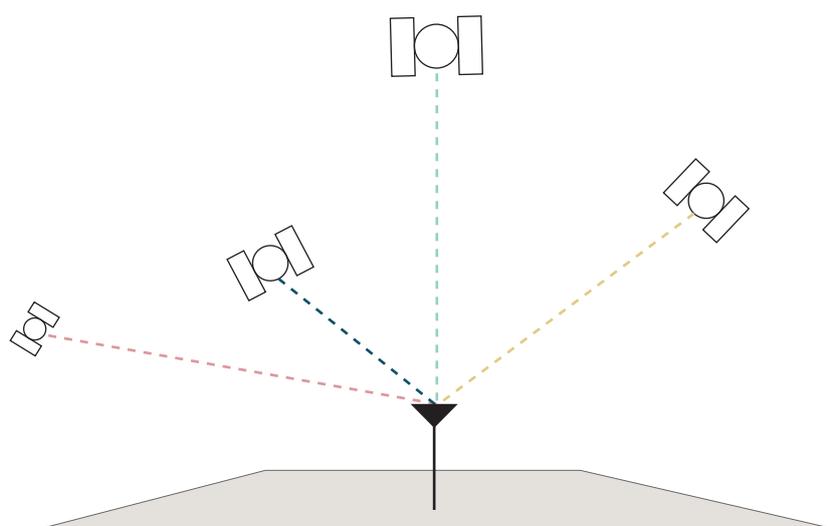
Il ricevitore misura il tempo che impiega il segnale emesso da un satellite a raggiungere l'antenna di ricezione dello strumento. Nota la velocità del segnale e il tempo da esso impiegato è possibile calcolare la distanza presente tra il ricevitore e il satellite stesso attraverso l'equazione

$$DS = t * c$$

M. A. GOMANASCA,
Elementi di Geomatica,
Associazione Italiana
di Telerilevamento
(AIT), Milano, 2004,
pp.304-307.

dove 'DS' rappresenta la distanza tra il ricevitore e il satellite, 't' indica il tempo di propagazione che equivale a 0.070 secondi e, infine, 'c' è la velocità della luce nel vuoto, ossia quantificabile con $2.99 * 10^{10}$ centimetri/secondo.

Per poter ottenere le tre coordinate del punto da misurare occorre che il segnale del ricevitore incontri almeno quattro satelliti in funzione delle quantità spaziali, oltre alla x, y e z occorre conoscere anche l'incognita del tempo t, che potrebbe mostrare uno sfasamento tra il cronometro del ricevitore e quello dei satelliti.

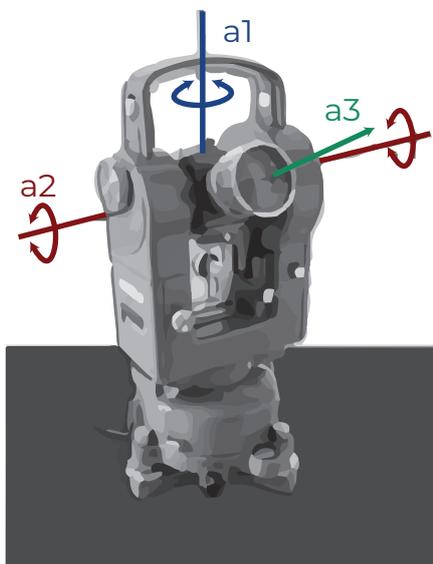


Posizionamento
rispetto ai 4 satelliti per
ottenere le coordinate
di qualsiasi punto sulla
superficie terrestre.

X , Y, Z, Tempo

La fase successiva del rilievo topografico è rappresentata dalle misure di dettaglio, dove si misurano i punti appartenenti all'oggetto di studio.

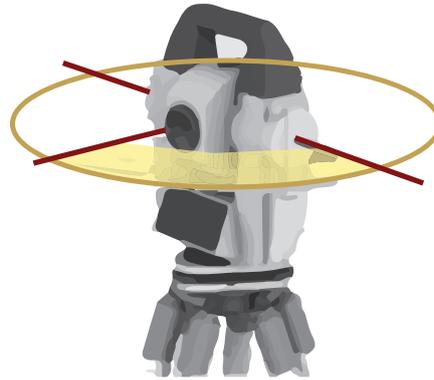
Le misure topografiche vengono effettuate con la stazione totale, attraverso la misurazione di tre grandezze: l'angolo azimutale, l'angolo zenitale e la distanza inclinata tra il centro strumentale e il prisma. Queste misure vanno eseguite perché le tecniche fotogrammetriche e laser scanning necessitano di punti di controllo, per un controllo maggiore della propagazione dell'errore e per ottimizzare i processi richiesti nelle singole tecniche. Ciò che caratterizza la stazione totale è l'elevato automatismo del sistema di lettura per le direzioni angolari, poiché viene coniugato alla lettura delle distanze con il distanziometro. Lo strumento è composto da tre assi: l'asse principale su cui ruota l'alidada (a1), l'asse secondario, perpendicolare al primo, intorno al quale ruota il cannocchiale (a2) e l'asse terziario o asse di collimazione, che può avere rotazioni indipendenti nel piano verticale (a3). I primi due assi sono di tipo meccanico, mentre il terzo è ottico.



“L'angolo azimutale è l'angolo solido formato da due piani verticali, aventi per costola la verticale passante per il punto di stazione e contenenti rispettivamente i punti tra i quali si vuole misurare l'angolo azimutale stesso”.

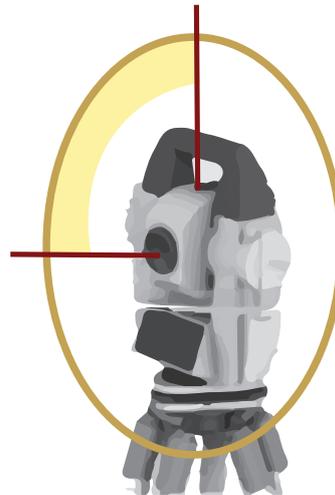
A. SPANÒ, Dispense per il workshop “Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, Politecnico di Torino, 2016/2017.

Rappresentazione grafica dell'angolo azimutale, elaborazione personale.



“Angolo zenitale. È l'angolo appartenente ad un piano verticale, formato dall'asse di collimazione, e dalla verticale passante per il punto di stazione”

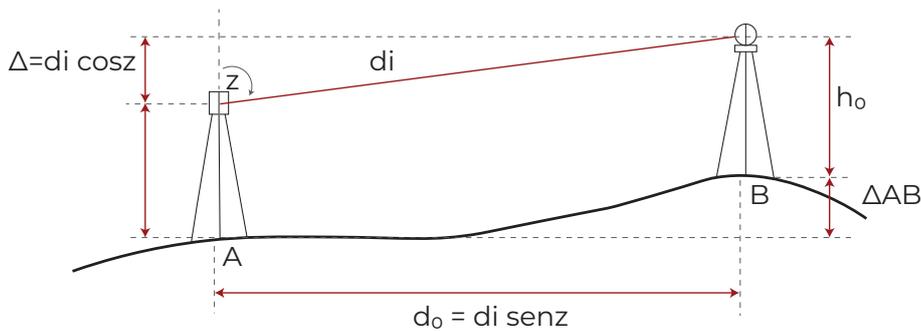
Rappresentazione grafica dell'angolo zenitale, elaborazione personale.



Le misure effettuate con la stazione totale riportano coordinate sferiche con l'origine nel centro strumentale della stazione, in un secondo momento verranno calcolate le corrispondenti coordinate cartesiane. Ogni punto misurato viene definito da una distanza e due angoli, ossia la distanza inclinata, l'angolo azimutale e l'angolo zenitale. Come mostra lo schema, in fase di rilievo sul campo è necessario prendere diverse misure in seguito alla messa in stazione dello strumento, al fine di poter poi ottenere le coordinate spaziali corrette dei vari punti misurati.

Questo processo verrà mostrato e documentato nel dettaglio nel capitolo dedicato alla fase di acquisizione dei dati.

Per la misurazione delle coordinate dei marker a terra utilizzati nella fotogrammetria aerea è stato necessario l'uso della modalità cinematica RTK, *Real Time Kinematic*. Questo sistema di rilievo di dettaglio riduce notevolmente i tempi di stazionamento e permette di ottenere un'elevata precisione del punto misurato.



A = vertice sul quale è posizionata la stazione

B = vertice sul quale è posizionato il prisma

z = angolo zenitale

hs = altezza strumentale della stazione totale

di = distanza inclinata tra i centri degli strumenti

d_o = disenz = distanza orizzontale tra i due strumenti

Δ = dicosz = differenza di quota tra la quota della stazione e quella del prisma

ΔAB = $hs + \Delta - h_o$

Schema delle grandezze invarianti, rielaborazione personale.

3.2 Fotogrammetria

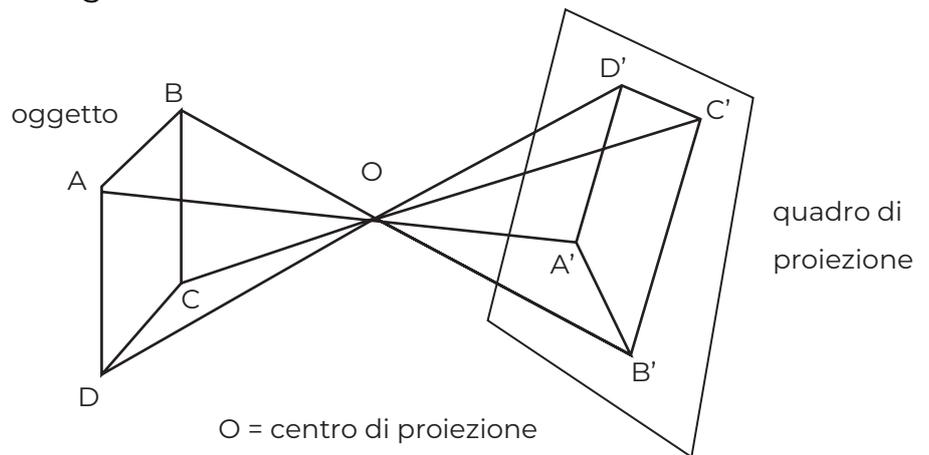
“La Fotogrammetria è la scienza che consente di estrarre informazioni da immagini e di presentarle all’utente in maniera efficace”.

In primo luogo la fotogrammetria permette di far derivare dalle immagini le misure reali dell’oggetto interessato dal processo, sia esso per il territorio che per il rilievo metrico architettonico a diverse scale. La fotogrammetria si applica a qualsiasi oggetto fisico o ambiente, senza distinzione di forma o di dimensione, rilevando un gran numero di punti per una descrizione completa ed esauriente dell’oggetto di studio.

Le immagini sono fotografie, meglio definiti fotogrammi se impiegati a fini metrici. Il metodo che andrò a descrivere trae dati metrici delle fotografie in virtù del fatto che possono essere considerate delle prospettive centrali, ossia un procedimento geometrico che trasforma la realtà tridimensionale in una realtà bidimensionale. Si viene a creare una corrispondenza biunivoca tra i punti oggetto in 3D e le loro proiezione in 2D, definiti punti immagine. Questo tipo di associazione tra i punti si definisce relazione

PE & RS,
Photogrammetric engineering and remote sensing, journal of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPR), 1980.

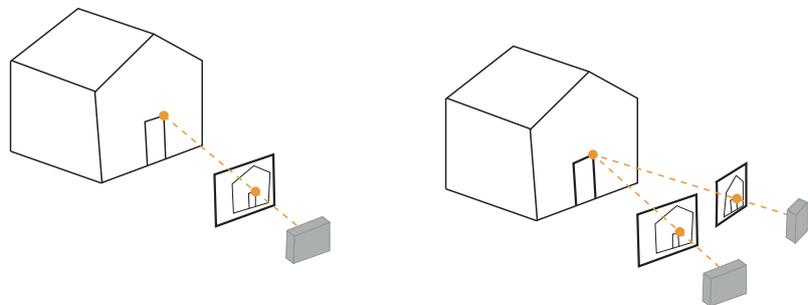
analitico-geometrica in quanto si stabilisce una relazione proiettiva tra punto oggetto, centro di proiezione e punto immagine.



A. SPANÒ, Dispense per il corso "Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura", Politecnico di Torino, 2017/2018.

"Ad ogni punto oggetto corrisponde un punto immagine sul piano della proiezione e ad ogni punto immagine corrisponderanno infiniti punti appartenenti alla retta proiettante punto immagine e centro di presa".

L'introduzione del concetto di proiezione consente di poter determinare la posizione del punto oggetto in tre dimensioni.

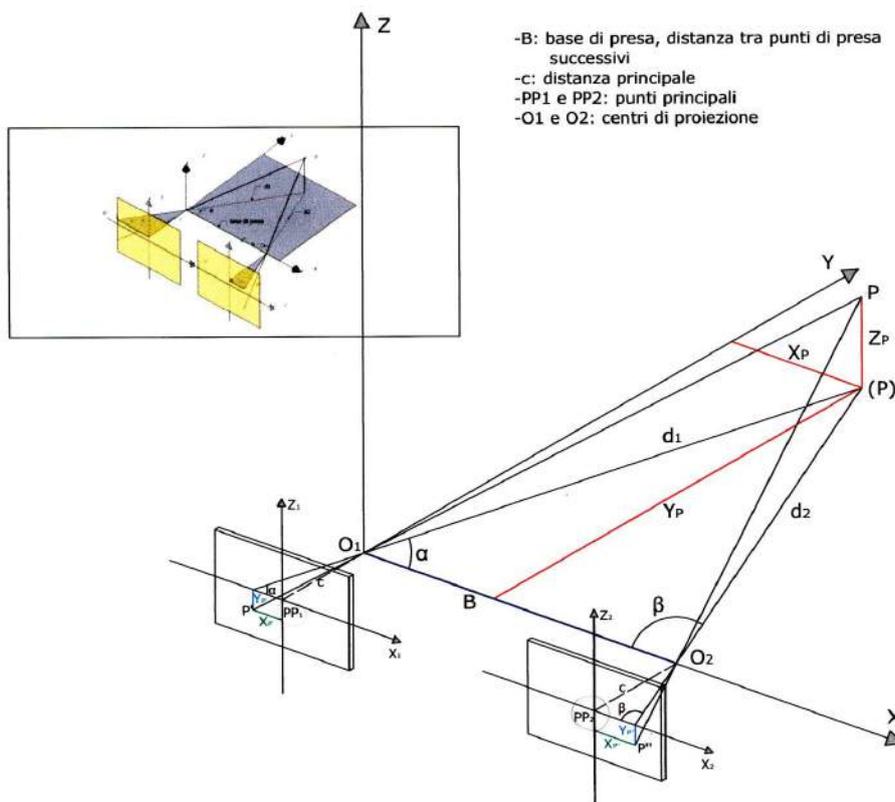


Relazione corrispondenza punto oggetto e punto immagine, rielaborazione personale.

Lo schema sottostante mostra il concetto dei punti omologhi attraverso la soluzione geometrica-matematica dei triangoli rettangoli simili, attraverso cui è possibile determinare le coordinate X_p , Y_p e Z_p del punto oggetto a partire dalla posizione nota delle coordinate immagine poste sui due fotogrammi, X' , Y' , X'' e Y'' .

Le condizioni da tenere in considerazione affinché esista questa relazione sono: i piani di proiezione devono giacere sullo stesso piano, i centri di proiezione appartengono ad un piano parallelo, gli assi ottici sono paralleli tra loro e, infine, occorre che il sistema di riferimento dei punti da misurare e le coordinate immagini a noi note sia il

medesimo. L'equazione che lega questa relazione viene definita equazione di collinearità.



Riconoscimento dei punti omologhi attraverso una soluzione accademica per la comprensione dei triangoli simili.

Il processo fotogrammetrico si articola in tre fasi distinte. Prima di definirle occorre ricordare che per poter compiere al meglio un processo fotogrammetrico è necessario aver l'appoggio topografico, in modo tale da poter compiere l'orientamento e la georeferenziazione.

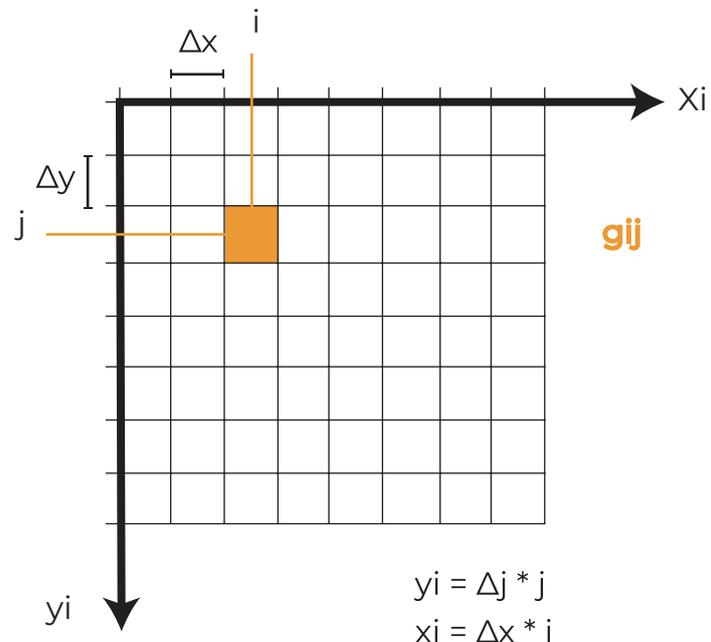
La prima, la fase di presa, rappresenta l'acquisizione da parte dell'operatore dei fotogrammi rappresentanti l'oggetto in esame, dopo aver progettato dove e in che modo saranno scattati i fotogrammi.

La seconda fase è quella dell'orientamento, con l'obiettivo di determinare quali sono le relazioni analitiche tra punti oggetto e punti immagine.

Infine c'è la fase di restituzione dove i fotogrammi vengono orientati in base ai dati topografici, si determinano le coordinate tridimensionali, attraverso il calcolo delle coordinate del centro di presa e del suo assetto, a partire dai punti oggetto fino ad arrivare alla rappresentazione grafica finale, che può essere sia in forma bidimensionale, sia tridimensionale.

A. SPANÒ, Dispense per il corso "Laboratorio di geomatica per la modellazione dell'architettura", Politecnico di Torino, 2017/2018.

L'acquisizione del fotogramma avviene attraverso camere digitali, la singola immagine è costituita da informazioni numeriche memorizzate su supporto magnetico in rapporto con il formato di memorizzazione. La radiometria delle immagini viene registrato sotto forma di numeri, ad ogni numero è associato un pixel, un elemento di dimensioni finite, andando così a definire una rappresentazione di tipo Raster. Il pixel definito come "la parte elementare inscindibile dell'immagine" ha una posizione fissata a priori, non variabile nel tempo, di dimensioni finite Δx e Δy e grazie a queste caratteristiche è possibile determinare la corrispondenza biunivoca tra la posizione del pixel nell'immagine e la coppia di coordinate x e y . La relazione tra la posizione del pixel e la coordinata si effettua durante la fase di acquisizione.



Composizione di un immagine digitale e identificazione del pixel con le proprie coordinate.

La risoluzione rappresenta una delle grandezze delle immagini digitali, è possibile trovare al posto la dicitura di densità di campionamento, esprime il numero di pixel contenuti in una unità di lunghezza, in altre parole indica la qualità visiva dell'immagine. E' espressa un DOT per INCH (dpi), per convenzione si utilizza questa uguaglianza 1 inch = 25.4 millimetri.

Per il rilevamento del territorio e la produzione della cartografia si fa uso della **Fotogrammetria Aerea**. Essa è stata fondamentale per la produzione e l'aggiornamento della:

- Cartografia Nazionale a piccola scala (carta fondamentale 1:25.000, per la derivazione delle carte a scala 1:50.000 e 100.000);
- Cartografia Tecnica Regionale (scale 1:5.000 e 1:10.000)
- Carte Tecniche urbane per la pianificazione urbana e territoriale (scala 1:500, 1:1.000 e 1:2.000)
- Cartografia Tematica alle varie scale (come la Carta Geologica, Idrogeologica, sull'Uso del Suolo e molte altre).

Attualmente la cartografia è un prodotto digitale e prende il nome di Cartografia Numerica, ossia l'informazione spaziale è archiviata su file tramite database topografici e diffusa tramite i GIS (Geographic Information Systems). Dal punto di vista dell'acquisizione delle informazioni sono state messe a punto tecniche fotogrammetriche per il trattamento dei dati dalle immagini satellitari, in modo da offrire un aggiornamento cartografico anche alle grandi scale come 1:5.000 e 1:2.000. Questo è stato necessario a seguito dell'elevata diffusione del Telerilevamento, dove serviva sviluppare i dati acquisiti da satelliti per svariati usi tematici, come la Meteorologia, il Rischio Ambientale, l'Idrogeologia e l'Archeologia.

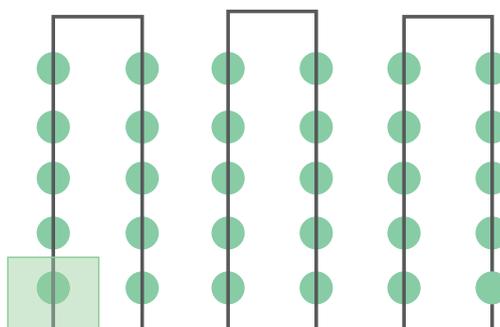
I Sistemi di acquisizione delle misure da aereo e da satellite vengono definiti Remote Sensing, ossia tecniche di misura senza il contatto fisico con l'oggetto di analisi. Mentre la fotogrammetria UAV, Unmanned Aerial Vehicle, permette ai velivoli di volare senza la presenza di un pilota a bordo. Questo tipo di tecnologia oggi è molto diffuso grazie all'utilizzo dei droni, i quali permettono di acquisire un elevato numero di fotogrammi attraverso una pianificazione attenta del volo e il controllo dell'operatore da terra. Negli ultimi anni numerose sono state le applicazioni nel campo architettonico dei beni culturali di questa tecnologia, in grado di rilevare in tempi brevi numerose informazioni, permettendo di acquisire

A. SPANÒ, Dispense per il workshop "Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali, Politecnico di Torino, 2016/2017.

informazioni anche nelle zone inaccessibili per l'operatore con la strumentazione.

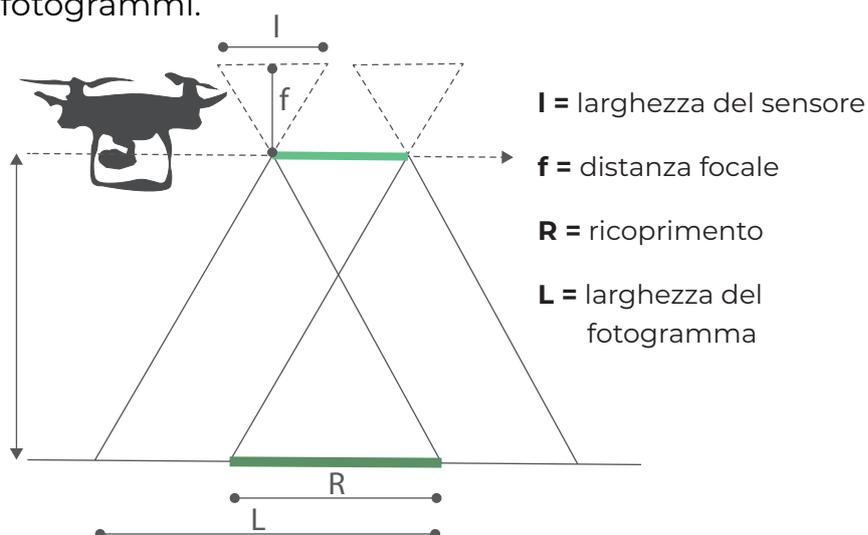
Il volo viene pianificato ed effettuato secondo direzioni rettilinee tra loro parallele. Lungo ciascuna delle direzioni prescelte vengono scattate in successione le fotografie, ad intervalli di tempo predeterminati.

Schema pianificazione di un volo, rielaborazione personale.



La serie di fotografie riprese lungo una certa direzione viene definita strisciata. E' opportuno tener in considerazione che il volo dovrà essere effettuato ad una quota costante per ottenere immagini a scala costante. Ciascuna porzione del terreno da rilevare viene fotografata da due punti di presa successivi, in modo da comparire almeno su due fotogrammi contigui. In questo modo nella fase di elaborazione, effettuata con appositi software di calcolo, avverrà un riconoscimento automatico dei punti omologhi tra le immagini, avendo noto il centro di presa dei fotogrammi.

Acquisizione dei fotogrammi, rielaborazione personale



La zona di sovrapposizione tra le immagini prende il nome di "ricoprimento" o "overlap". Il minimo ricoprimento tra le immagini dovrebbe essere del 60% secondo le regole della fotogrammetria tradizionale.

3.3 La tecnologia Lidar

I sistemi a scansione laser permettono di acquisire la posizione di un elevato numero di punti in tempi molto brevi, oltre che essere strumenti di misura dettati da un elevato automatismo. L'acronimo LIDAR, *light detection and ranging*, sta ad indicare la presenza e l'utilizzo di onde elettromagnetiche per misurare le distanze dell'oggetto da rilevare.

Nasce nel campo dell'elettronica già a partire dagli anni Sessanta-Ottanta, ma verso la fine del secolo compare nel mondo del rilevamento. In qualche modo si ribalta il concetto del rilievo presente prima dell'introduzione di questa tecnologia. Se prima si rilevavano solo i punti necessari, dopo un'attenta analisi da parte dell'operatore, ora la selezione dei punti o delle informazioni utili avviene in un secondo momento durante la fase di elaborazione dei dati, poiché l'acquisizione si focalizza su un'area molto estesa attraverso un rapido processo automatizzato dallo strumento stesso. Questo processo in realtà comporta una sovrabbondanza di informazioni, che a volte può distrarre l'operatore dall'obiettivo principale.

Gli ambiti applicativi della tecnologia Lidar non mirano solo al rilievo architettonico, ma possono essere utilizzati anche a scala urbana e territoriale, in particolar modo con l'uso di sistemi a scansione mobile, da aerei o elicotteri, svolgendo l'analoga funzione della fotogrammetria aerea. La scala di rilievo a cui si aspira attraverso l'utilizzo dello strumento può portare fino ad una rappresentazione in scala 1:50, in quanto lo strumento ha come errore di distanza lineare misure inferiori a qualche millimetro.

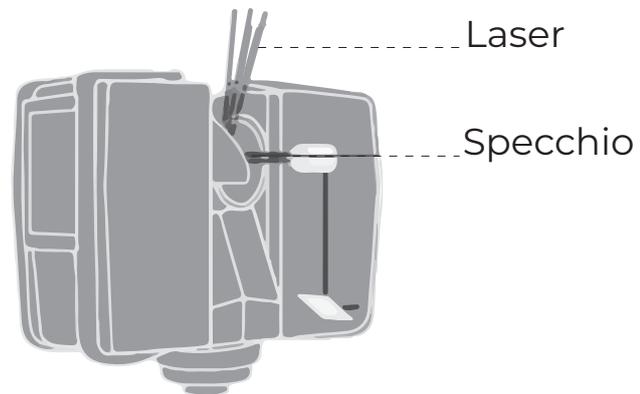
Le caratteristiche principali di un laser scanner sono l'elevata precisione, alta risoluzione dei punti rilevati, una velocità di acquisizione calibrata in base alla quantità di dati da acquisire, dimensioni dello strumento di facile movimento, la possibilità di ottenere delle scansioni a colori grazie alla presenza di una fotocamera coassiale a colori, infine è presente nello strumento un compensatore in grado di livellare automaticamente i dati della scansione

A. SPANÒ, Dispense per il workshop "Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali", Politecnico di Torino, 2016/2017.

Manuale FARO , Laser Scanner Focus 3D, 2013, pp. 2-3.

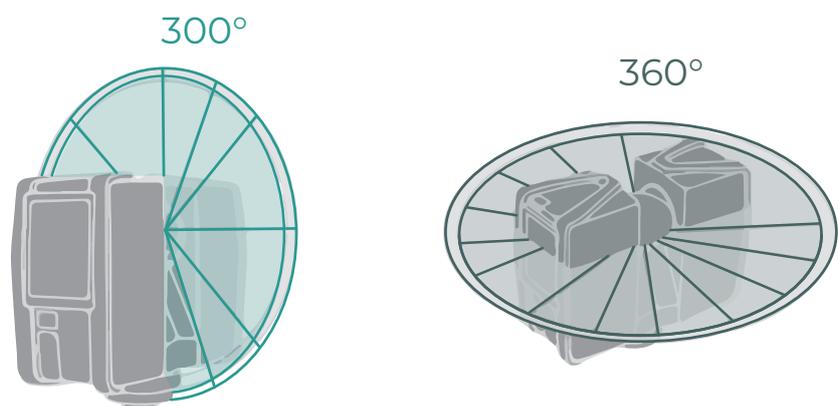
acquisita.

Il funzionamento dello strumento è reso possibile grazie alla presenza di un raggio laser ad infrarossi che invia il segnale a uno specchio rotante, che, a sua volta, devia il laser con una rotazione verticale attorno all'ambiente scelto, dove la luce riflessa dalle superfici circostanti viene riflessa nuovamente nello scanner. Una volta ritornato alla strumento, il raggio laser viene scomposto con onde costanti di lunghezza variabile. In questo modo la misura dello spostamento di fase nelle onde e nella luce infrarossa va a determinare la distanza tra lo strumento e il punto dell'oggetto.



Ogni punto misurato possiede delle coordinate, calcolate tramite dei codificatori angolari che misurano la rotazione dello specchio e la rotazione orizzontale del laser. A ogni coordinata viene associata la distanza, in questo modo la distanza stessa, l'angolo orizzontale e l'angolo verticale vanno a determinare le coordinate polari, che saranno poi trasformate in coordinate cartesiane. Il campo visivo coperto dallo scanner è di $360^\circ \times 300^\circ$.

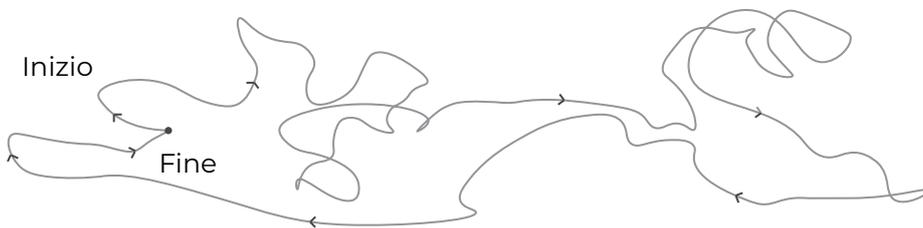
Immagine angoli del laser



3.4 Tecnologia *Mobile Mapping*

Esistono altri sistemi di scansione laser basati sulla tecnologia Lidar, è il caso dei sistemi di *Mobile Mapping Systems* (MMS). Sono nati sistemi di mappatura laser portatili, basati sull'algoritmo SLAM, in grado di produrre nuvole dense di punti ben dettagliate attraverso il movimento dell'operatore e dello strumento, sia in ambienti esterni che interni.

La tecnologia SLAM, *Simultaneous Localization And Mapping*, permette allo strumento di determinare la sua posizione mentre rileva un determinato ambiente, attraverso la stima della traiettoria e la registrazione dei dati. La traiettoria dello strumento è generata in funzione del tempo percorso rispetto alle funzioni di traslazione e di rotazione. La creazione della traiettoria e della nuvola di punti avvengono in maniera simultanea all'acquisizione, attraverso la costruzione della mappa visionabile nel *tablet* collegato allo strumento, visibile fin da subito in tre dimensioni.



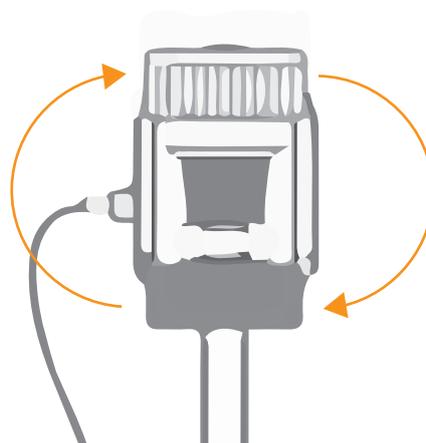
Giulia SAMMARTANO, Antonia SPANO', *Point clouds by SLAM-based Mobile Mapping Systems: accuracy and geometric contents validation in multi-sensor survey and stand-alone acquisition*, Applied Geomatics, 2018.

Esempio di traiettoria creata in un ambiente aperto attraverso lo strumento ZEB_Revo.

Questo tipo di tecnologia è applicabile soprattutto in ambienti complessi, spazi molto ampi o molto risposti, tramite una soluzione flessibile, resa possibile dal movimento durante l'acquisizione. E' utilizzata per ottenere un buon dettaglio di dati in breve tempo rispetto ai laser scanner fissi. Affinché avvenga una corretta acquisizione e registrazione dei profili delle nuvole di punti occorre avere determinati accorgimenti in fase di lavoro operativo con lo strumenti nell'area di analisi. Come prima cosa lo strumento deve partire da una superficie planare e tornare della stessa posizione, questo è determinante per la chiusura della traiettoria e una corretta realizzazione della nuvola di punti. Inoltre il percorso da compiere in fase di rilievo va pianificato in

base alla configurazione dell'ambiente, poiché il sistema SLAM è basato sull'allineamento dei profili estratti. I viaggi di andata e di ritorno sono da preferire per evitare l'effetto "swing", errore di deriva della traiettoria, provocando una scorretta creazione della nuvola di punti.

Un'altra caratteristica da tenere in considerazione è il tempo di acquisizione, decisamente inferiore alla tecnologia proposta nel capitolo precedente, cfr. 3.3. In base agli studi compiuti dal Politecnico di Torino, si consiglia un itinerario di massimo 20-30 minuti per una migliore precisione dei dati, facendo attenzione alla velocità di spostamento con il dispositivo portatile, più si cammina lentamente maggiore saranno i giri della testa rotante dello strumento è maggiore sarà il numero di punti acquisiti.



Schema dello strumento ZEB_Revo, movimento della testa rotante.

4 ACQUISIZIONE E RESTITUZIONE DEI DATI

Riprendendo i concetti teorici espressi nel capitolo precedente, quello che segue è la ricostruzione delle acquisizioni effettuate durante i rilievi nel Parco Archeologico di Baratti e Populonia e delle elaborazioni eseguite in seguito, al fine di questo elaborato di tesi.

La campagna dei rilievi è stata eseguita da parte del Team Direct, Disaster Recovery Team, del Politecnico di Torino. Il team studentesco si interfaccia con il lavoro di ricerca portato avanti dal Dipartimento di Architettura e Design (DAD) e dal Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI). Dal 25 al 29 settembre 2017 sono stati eseguiti i rilievi nel Parco Archeologico di Baratti e Populonia, grazie alla convenzione di Ateneo con l'istituzione Val di Cornia, con l'obiettivo di unire le forze per indagare maggiormente le aree delle Necropoli attraverso tecniche avanzate per il rilievo di beni paesaggistici e archeologici.

4.1 Rete topografica e GNSS

La scelta della posizione dei vertici è dettata dalla necessità di non avere ostruzioni per poter ricevere il segnale dai satelliti ed evitare errori dati dal disturbo nella ricezione del segnale. Come mostrano le immagini sono stati materializzati dei vertici principalmente in tre aree: nella Necropoli di San Cerbone, nella zona del Centro di Archeologia Sperimentale e nella Necropoli delle Grotte. L'ubicazione fisica del vertice sul suolo o su una superficie non mobile è avvenuta tramite il posizionamento di un chiodo, un tassello con vite a croce o un dischetto circolare con il logo del Politecnico di Torino con l'uso del martello o del trapano. Importante in questa fase è la realizzazione delle monografie dei singoli vertici, dove attraverso la misurazione diretta di almeno tre distanze sarà possibile ritrovare il punto anche a distanza di parecchio tempo, durante una successiva campagna di rilievi.

Schema delle rete
topografica e posizione
dei vertici nel Parco.





Materializzazione di un vertice topografico tramite chiodo, tassello rosso e dischetto circolare del Politecnico di Torino.

Le immagini qui riportate mostrano l'evoluzione dei procedimenti che sono stati eseguiti, ovvero la materializzazione del vertice 100 in prossimità della Tomba dei Carri all'interno della Necropoli di San Cerbone, la corrispettiva monografia e la messa in stazione del GPS.



Esempio di una monografia effettuata nella fase di campagna nell'area della Necropoli di San Cerbone, Vertice 100.

Posizionamento
del ricevitore GNSS
nel vertice 100.



Operazioni di misure
per la monografia
del vertice 200.



Operazioni in
corrispondenza
del vertice 300.



Tutti i vertici sono misurati tramite la messa in stazione del ricevitore GPS Leica, mentre per il rilievo topografico è utilizzata la MultiStation Leica Nova MS50. Per l'operazione si utilizzano due ricevitori.

La posizione del treppiede, su cui è posizionata la stazione, deve mirare a raggiungere la verticalità dell'asse principale con il punto materializzato a terra. Per un miglior centramento sul punto a terra è possibile far uso del piombino ottico, se il piano di rotazione dell'asse principale del teodolite è orizzontale. Dopo aver messo in stazione lo strumento di misura occorre effettuare le misure degli altri vertici tramite il posizionamento del prisma, installato anch'esso su un treppiede.



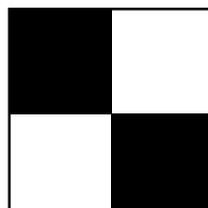
Stazione GPS Leica 4 durante l'acquisizione nella Necropoli di San Cerbone.



Posizionamento del treppiede prima della messa in stazione.

Contemporaneamente altri operatori hanno il compito di posizionare nell'area da rilevare dei marker. I marker sono degli elementi di forma quadrata suddivisi in quattro quadranti, due neri e due bianchi, posizionati a scacchiera, che vanno a ricoprire le diverse aree di rilievo. Serviranno per il processamento dei dati e per il controllo degli errori, al fine di evitare la propagazione dell'errore.

Rappresentazione geometrica di un marker topografico.



Nel nostro caso studio per quanto riguarda la Necropoli delle Grotte i marker sono stati posizionati con due criteri differenti, quelli addossati alle pareti della cava e delle tombe sono stati misurati con la stazione totale e quelle coordinate saranno poi necessarie per il rilievo di dettaglio eseguito con il laser scanner e la fotogrammetria terrestre; mentre altri marker, di dimensioni maggiori, sono posti sul terreno e saranno misurati con il sistema RTK per la fotogrammetria aerea svolta con il drone. Anche nella zona delle tombe limitrofe sono stati misurati dei marker posizionati sugli alberi per poter poi avere i dati georeferiti del laser scanner, posizionato in un ambiente naturale molto fitto e non di facile lettura. Per riassumere, in generale servono per il rilievo di *processing* del rilievo fotogrammetrico e laser scanning, attraverso la georeferenziazione dei dati acquisiti.

Identificazione delle diverse tipologie di marker presenti nella Necropoli di San Cerbone.



Per quanto riguarda ancora la fase operativa bisognerà inserire all'interno del sistema della stazione l'altezza strumentale della stazione stessa e l'altezza del prisma misurato in base all'orientamento e alle misurazioni dirette effettuate in precedenza. In seguito l'operatore con la stazione totale avrà il compito di collimare tutti i marker, ossia il punto d'incontro dei quadranti, segnando sui corrispettivi eidotipi il nome o il numero che assegna al singolo marker, in modo da poi ritrovare facilmente la collocazione dei vari punti in fase di elaborazione.

A proposito di elaborazione dei dati, occorre specificare che le coordinate utilizzate saranno "troncate", ovvero subiranno una traslazione spaziale, con l'obiettivo di rendere più maneggevoli i dati e il loro posizionamento. In seguito alla registrazione e ad eventuali elaborazioni le coordinate saranno di nuovo traslate, così da poter ottenere, soprattutto in ambiente GIS, il corretto collocamento spaziale nel sistema di riferimento adottato.

La tabella che segue mostra le coordinate dei vertici misurati con la stazione totale, dopo il processo di traslazione del modello.

Nome Vertice	X (m)	Y (m)	Z (m)
--------------	-------	-------	-------

100	3045,733	1671,956	16,594
200	3029,051	1851,642	8,142
300	3115,733	1780,238	11,540

v1000	2856,213	1047,360	50,121
v1001	2884,688	1104,500	46,894

3000	2613,581	835,827	99,008
4000	2637,211	831,652	97,867
5000	2651,141	855,784	99,439
6000	2652,338	870,857	96,008

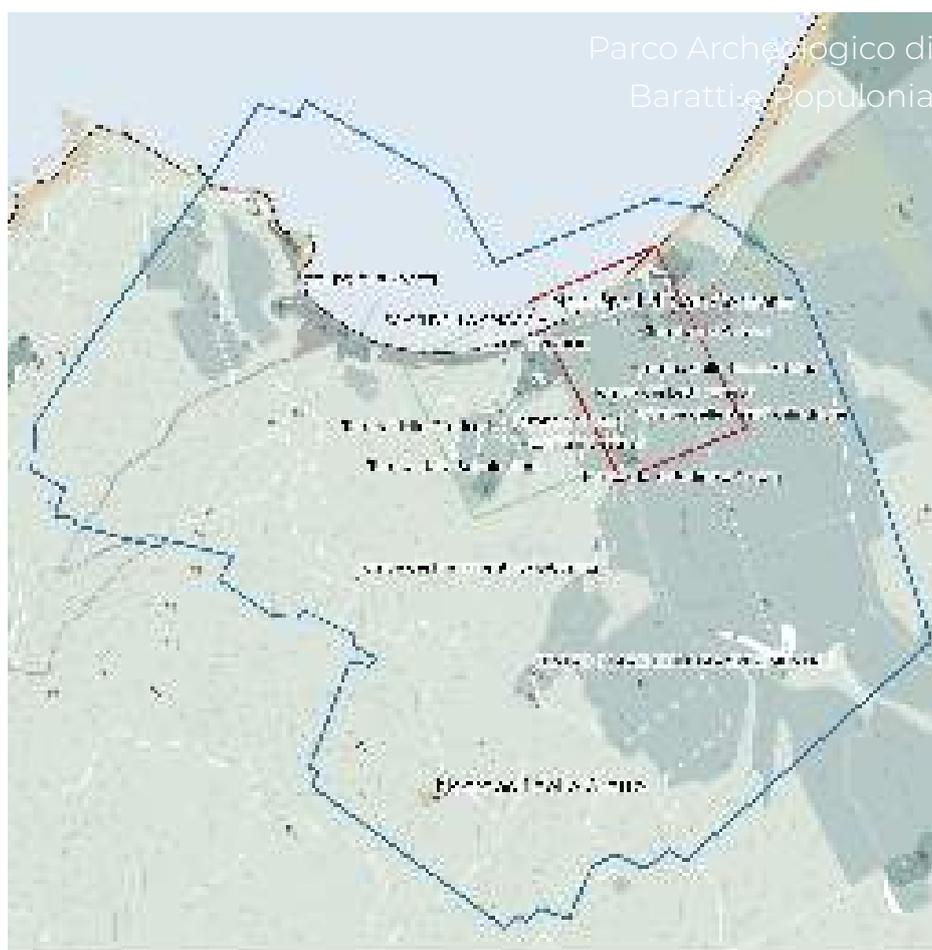
Coordinate dei vertici misurati all'interno del Parco Archeologico di Baratti e Populonia.



4.2 Fotogrammetria UAV

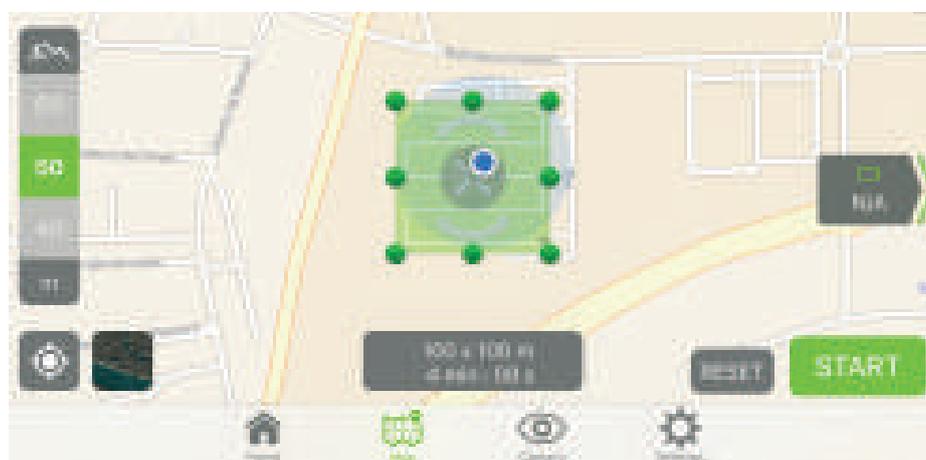
4.2.1 Pianificazione dei voli

L'area del Parco Archeologico di Baratti e Populonia è stata rilevata attraverso tre differenti voli con l'utilizzo di droni. Come mostra la planimetria del parco è stato effettuato un volo generale sull'area e altri due sulla Necropoli di San Cerbone. Successivamente è stata effettuata una ripresa video sulla Necropoli delle Grotte, ma ci soffermeremo su questi dati in un altro capitolo.



- Area interessata dal volo del drone ad ala fissa _
altezza di volo 180 metri
- Area interessata dal volo del drone quadricottero _
altezza di volo 45 metri
- Area interessata dal volo del drone quadricottero _
altezza di volo 60 metri

La pianificazione del volo è stata effettuata tramite strisciate fotogrammetriche, tramite l'applicazione del software Pix4D. Le modalità di scatto possibili sono due: *safe mode* e *fast mode*. Nell'area del parco si è utilizzata la seconda, in questa modalità il drone non si ferma durante il volo per scattare l'immagine e non cambia l'orientamento della fotocamera. Si è optato per questa modalità data la vastità dell'area da rilevare, in questo modo si riducono i tempi di volo e si traggono così benefici nell'autonomia del volo e anche nella durata delle batterie. L'altra modalità avrebbe aumentato notevolmente il tempo di volo, in quanto il drone si sarebbe fermato per scattare ogni singola immagine.



Esempio della modalità di pianificazione del volo tramite l'applicazione Pix4D.

Prima di poter iniziare ad acquisire i fotogrammi, occorre misurare tramite il ricevitore GNSS in tempo reale, sistema RTK, i marker posizionati sul suolo. Questa tecnologia permette di avere i punti di controllo a terra, i così detti GCP, *Ground Control Points*; come riportato nel capitolo III.



Misurazione dei marker tramite il sistema RTK, Necropoli di San Cerbone.

4.2.2 Le caratteristiche dei droni utilizzati

- **EBEE SENSEFLY/MENCI EBM-1539**

Il drone ad ala fissa è stato utilizzato per rilevare il territorio del Parco Archeologico di Baratti e Populonia. Per realizzare ciò è stato necessario creare complessivamente sei voli, data l'elevata quantità di dati acquisiti e la vastità dell'area. Il volo è stato realizzato a un'altezza di 180 metri da terra, volando anche sopra il mare, ricoprendo un'area di circa 2 chilometri quadrati.



EBEE	
Tipologia di drone	drone ad ala fissa
Dimensione apertura alare	96 cm
Superficie alare	0.25 cm ²
Peso massimo al decollo	0.75 kg
Materiale	PPE - Polipropilene Espanso
Fotocamera equipaggiata	Canon PowerShot S110
Autonomia batteria	45 minuti

Caratteristiche tecniche Ebee_
www.sensefly.com



Ebee prima del volo nel Parco di Baratti-Populonia.



Fotogramma acquisito dall'Ebee, Porto di Baratti.

● DJI PHANTOM 4 PRO



Il drone ha rilevato due porzioni significative del Parco Archeologico di Baratti e Populonia: la Necropoli di San Cerbone e la Necropoli delle Grotte. Nella prima zona, limitrofa al mare, è stato svolto un volo a quota 45 metri, realizzando 1.236 fotogrammi, ricoprendo un'area di 0.13 chilometri quadrati.

PHANTOM 4 PRO

Tipologia di drone	quadricottero
Dimensione drone	29 x 29 x 19 cm (no eliche)
Velocità massima di salita	22 km/h
Velocità massima di discesa	14 km/h
Peso	1.4 kg
Materiale	Titanio - Magnesio
Obiettivo fotocamera	FOV 84° 88 mm/24 mm _ f/2.8-f/11
Autonomia della batteria	30 minuti

Caratteristiche tecniche del Phantom 4 Pro.

Phantom4 durante il rilievo nel Parco di Baratti-Populonia.



Fotogramma acquisito con il Phantom4, Necropoli di San Cerbone



● DJI INSPIRE 2

Il drone ha sorvolato e rilevato la porzione ad ovest della Necropoli di San Cerbone, area delimitata dal sentiero della Via del Ferro. Il volo è stato effettuato a una quota di 60 metri. Vengono inoltre acquisiti alcuni fotogrammi indagati in precedenza dal Phantom da un'altezza diversa, in fase di elaborazione questi dati non verranno presi in considerazione.



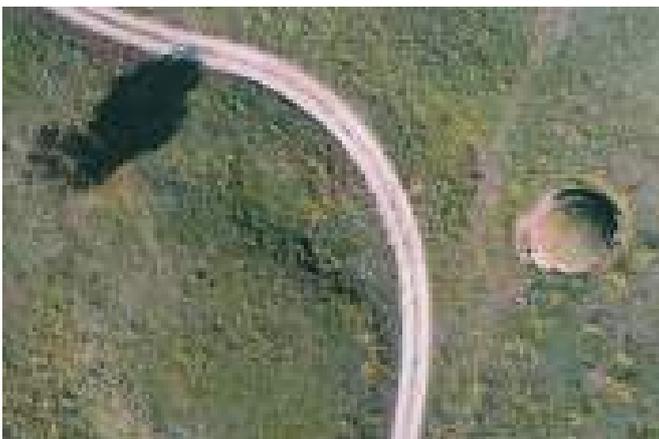
INSPIRE 2

Tipologia di drone	quadricottero
Dimensione drone	42.7 x 31.7 x 42.5 cm (no eliche)
Velocità massima	94 km/h
Peso	1 kg
Materiale	Magnesio - Alluminio
Fotocamera equipaggiata	Zenmuse X4S - obiettivo 24mm
Velocità massima	108 km/h
Durata batteria	27 minuti
Raggio operativo di pilotaggio	3.5 km

Caratteristiche tecniche dell'Inspire 2.



Inspire lungo la Via del Ferro.



Fotogramma realizzato con l'Inspire.

FOTOGRAMMETRIA AEREA

Drone ala fissa

150 metri
Ebee

Area
Parco Archeologico
di Baratti e Populonia

Drone quadricottero

45 metri
Phantom 4

60 metri
Inspire 2

Necropoli di
San Cerbone

Necropoli di
San Cerbone
+
Scavi Spiaggia

Necropoli
delle Grotte

ELABORAZIONE

4.2.3 L'elaborazione dei dati

Nella prima parte del capitolo verranno ripercorsi i processi effettuati durante l'elaborazione dei fotogrammi ottenuti presso la Necropoli di San Cerbone attraverso il drone DJI Phantom 4 pro. Lo stesso procedimento è stato effettuato per gli altri voli, nella seconda parte del capitolo verranno riportati i risultati significativi e si metteranno in evidenza le problematiche riscontrate durante lo svolgimento dei processi.

L'elaborazione dei fotogrammi è avvenuta tramite l'uso del software Agisoft Photoscan, il quale permette, a partire dalle immagini scattate con la fotocamera del drone, di generare:

- Nuvole di punti
- Mesh texturizzata
- *Digital Terrain Model (DTM)*
- Ortofoto

I fotogrammi realizzati nell'area sono numerosi, probabilmente sarebbe stato più opportuno cancellarne alcuni prima di importarli sul software, data la pesantezza del file, soprattutto a seguito delle elaborazioni eseguite successivamente.

Sono stati importati 940 fotogrammi sul programma, tralasciando per il momento il blocco di immagini denominato 'mare'. Questo blocco rappresenta la porzione della vicina spiaggia, durante un primo allineamento complessivo si sono riscontrate diverse difficoltà poiché i fotogrammi contenevano una superficie trasparente/riflettente. Dunque si è scelto di elaborare questa porzione in un secondo momento, ma mi soffermerò sui particolari in seguito.

I fotogrammi inseriti contengono nei loro dati anche un sistema di localizzazione, dunque in anteprima è possibile vedere i centri di presa allineati secondo le strisciate realizzate durante il volo, ma non verranno utilizzate operativamente perché hanno una bassa precisione.

Il primo passaggio da eseguire è l'allineamento



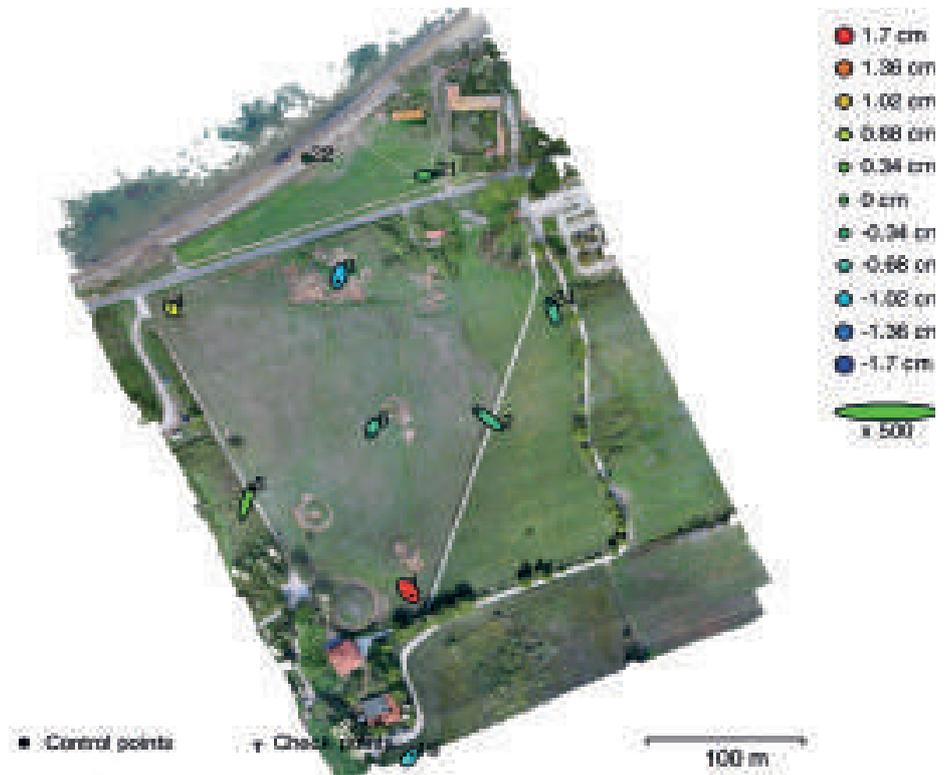
A seguito dell'allineamento avremo una nuvola sparsa georeferenziata secondo il sistema di geotag delle immagini, occorre far in modo che il modello sia nel sistema di coordinate calcolato tramite il sistema RTK attraverso l'uso dei marker a terra che svolgeranno la funzione di GCP una volta collimati sui fotogrammi. Prima di importare il file delle coordinate bisogna eseguire il processo di troncatura, servirà anche per i dati misurati con il laser scanner e la fotogrammetria terrestre, diventando così dei modelli georiferibili e non georiferiti. Questo processo viene eseguito principalmente per calcolare i modelli del rilievo con coordinate più snelle.

Coordinate TRASLAZIONE	
EST (X)	NORD (Y)
620.000 m	4.759.000 m

Terminata questa prima fase vengono collimati i punti a terra sui fotogrammi. L'operazione si svolge in due passaggi: in un primo momento si selezionano tre marker ben distribuiti nell'area interessata e vengono collimati su una decina di fotogrammi. Con questi tre punti il modello della nuvola viene scalato e rototraslato, permettendo così la collimazione più agevole dei successivi punti misurati. In seguito si sceglieranno quali punti tenere come Ground Control Points, e quali invece indicare come Check Points, punti che non saranno presi in considerazione per il calcolo fotogrammetrico, ma servono per la valutazione del risultato finale e l'accettabilità o meno dell'errore.



Nuvola densa e posizione dei fotogrammi, con altezza volo a 45 metri.



Posizione GCP e errori stimati, elaborazione tratta dal report di Photoscan.

Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
1	0,009425	-0,011156	0,016472	0,022014	0,223 (15)
2	-0,025068	0,019911	-0,004431	0,032318	0,0150 (21)
3	-0,005518	-0,017005	-0,006266	0,018944	0,197 (29)
4	-0,009603	0,009390	0,002335	0,036320	0,167 (22)
6	-0,004610	-0,012816	-0,005564	0,014713	0,133 (23)
19	0,007598	0,008961	-0,008345	0,014410	0,102 (3)
21	0,028228	0,001966	0,004719	0,028688	0,085 (18)
Totale	0,015656	0,012799	0,008094	0,021781	0,016400

Valori Control Points.

Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
5	0,011587	0,036767	0,002357	0,038621	0,197 (22)
24	-0,007257	0,022439	-0,005082	0,024125	0,086 (23)
Totale	0,009667	0,030457	0,003961	0,032199	0,151000

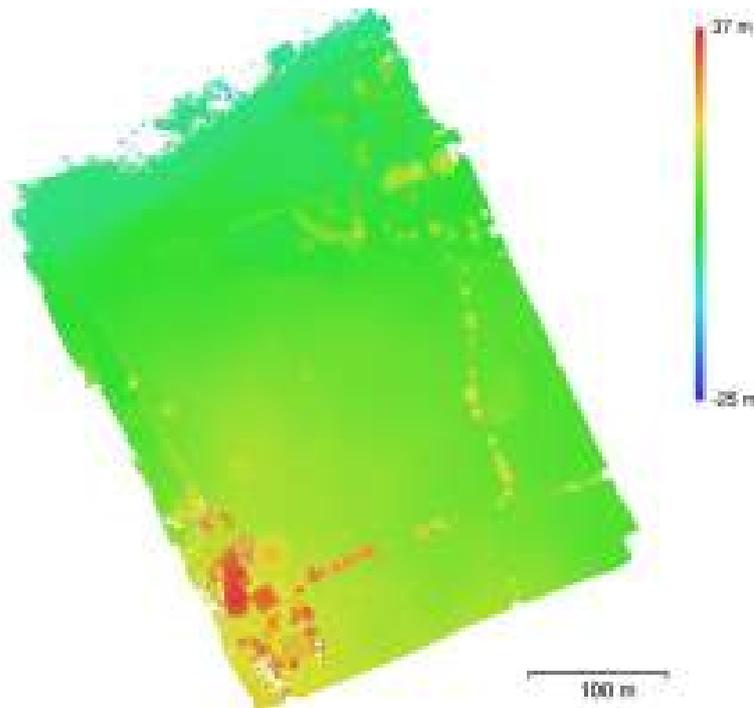
Valori Check Points.

Eseguito questo processo manuale di collimazione e scelta dei punti e dopo aver valutato che gli errori residui siano sufficientemente piccoli, si può passare alla generazione della nuvola densa, della mesh e della mesh texturizzata.



Mesh e mesh texturizzata dal progetto fotogrammetrico.

L'ultimo passaggio prevede la generazione del *Digital Surface Model* e dell'ortofoto. L'importanza di questi due dati è data dal fatto che sono file georeferenziati, saranno elaborati in un ambiente GIS, per l'aggiornamento della cartografia del parco Archeologico di Baratti e Populonia. Il file di georeferenziazione prodotto che li "accompagna" contiene le dimensioni del pixel in metri e le coordinate x e y del pixel in alto a destra dell'immagine.



DSM dell'area della Necropoli di San Cerbone.



Ortofoto della Necropoli di San Cerbone.

Volo drone ad ala fissa

Lo stesso procedimento narrato in precedenza viene eseguito con i fotogrammi riferiti dal volo del drone ad ala fissa Ebee. L'area indagata ricopre una porzione di territorio molto più vasta, durante la campagna di rilievo è stato necessario svolgere sei voli. L'immagine mostra la nuvola densa realizzata per un altro lavoro di tesi, complessiva di tutti i voli, mentre la porzione segnata è quella realizzata dall'unione di tre voli sull'area delle Necropoli nel Golfo di Baratti e nell'entroterra del Parco.



Nuvola complessiva realizzata nel Parco, elaborazione del Team Direct.

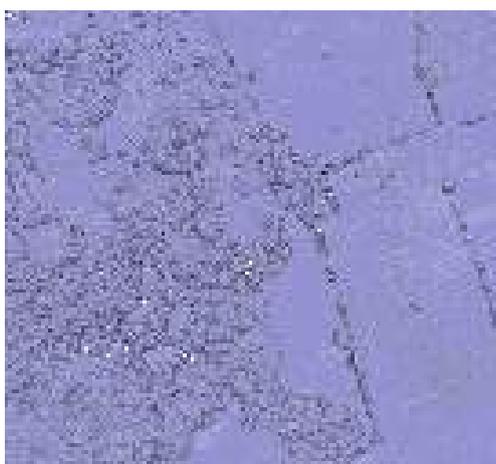
La nuvola fotogrammetrica è stata generata dall'unione di tre voli, le elaborazioni fin alla collimazione dei marker a terra sono avvenute separatamente, nei così detti *'chunk'*, cartelle separate di Photoscan, e poi dopo aver ottenuto degli errori residui di ordine celerimetrico, si sono uniti in un unico file di progetto. La difficoltà di queste elaborazioni è legato alla gestione di dati assai pesanti, dove le operazioni a volte macchinose ed automatiche vanno a impiegare un arco di tempo molto ampio.

Progetto di volo	Numero di Fotogrammi	Numero di punti
Volo 1	324	34.738.488
Volo 2	257	22.095.327
Volo 6	185	18.887.327
Totale	766	75.721.142

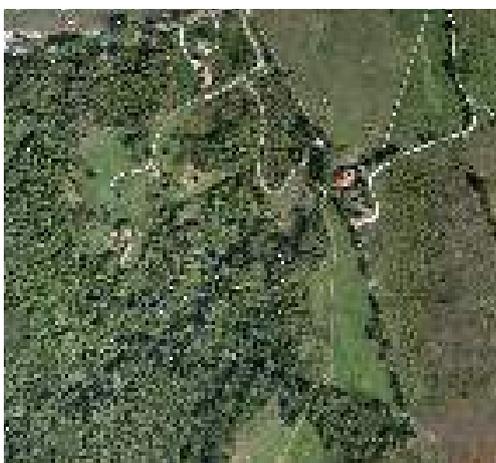
Dati quantitativi drone ad ala fissa, immagini nadirali, relativi ai voli.



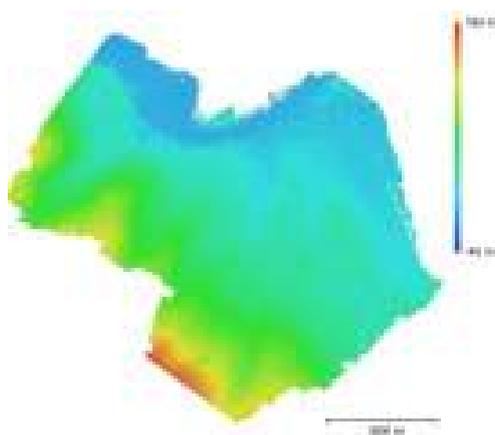
Nuvola densa complessiva del volo effettuato a quota di 180 metri



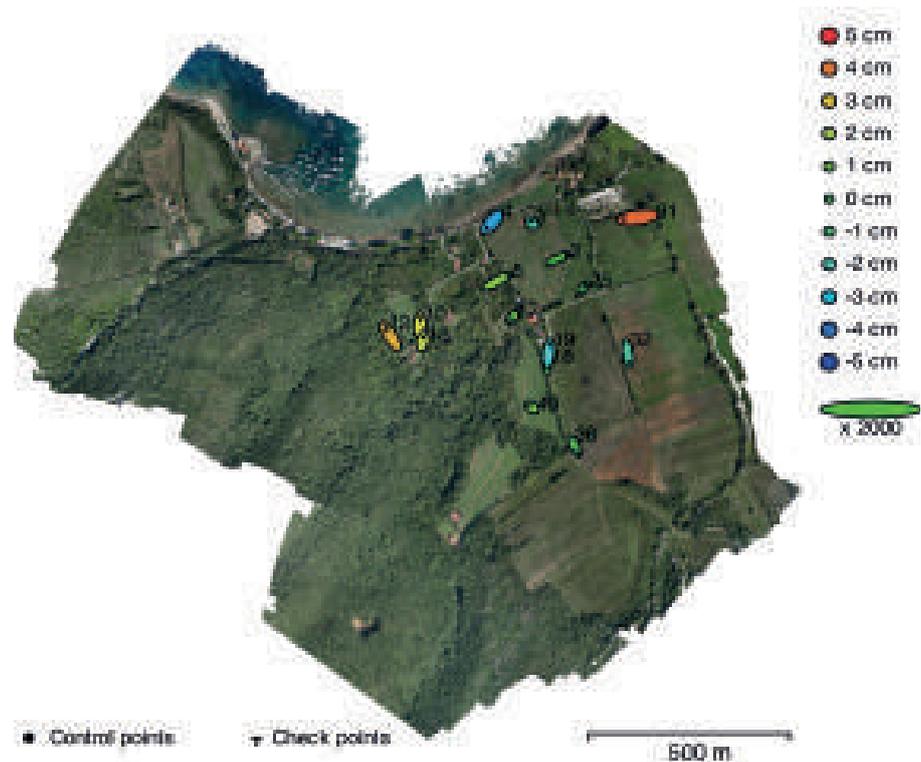
Particolare del modello di mesh realizzato.



Particolare del modello di mesh texturizzato.



Modello digitale di elevazione (DEM) del volo complessivo.



Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
2	0,0212561	0,0091445	-0,000697889	0,0230991	0,047 (16)
3	-0,00451275	0,00452347	-0,0170576	0,0182151	0,058 (21)
4	-0,0013001	-0,0155644	-0,0338306	0,0394434	0,054 (30)
5	0,0263471	0,0155169	0,0128469	0,0331661	0,110 (25)
13	0,0020663	0,010839	0,0228375	0,0253635	0,149 (38)
17	-0,00383026	-0,00600926	0,00801145	0,0107222	0,145 (34)
19	0,00200075	0,0218722	-0,023896	0,0324563	0,191 (31)
31	-0,0353193	-0,00552527	0,0427611	0,0557359	0,031 (11)
32	0,00369627	-0,0231817	-0,0168425	0,0288916	0,078 (18)
36	0,008432927	-0,0170978	-0,00387633	0,0194572	0,079 (30)
40	-0,00598558	0,00479177	0,0098665	0,0124954	0,121 (46)
Totale	0,017436	0,0138168	0,0212823	0,0298614	0,118

Valori Control Points.

Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
10	0,0012675	0,0183063	0,0251766	0,0311546	0,169 (31)
12	-0,0130886	0,0215458	0,0321669	0,048686	0,068 (33)
18	0,00136666	0,0122574	0,000505644	0,0123437	0,213 (33)
25	0,00634724	0,00504038	0,00317005	0,008703	0,072 (12)
Totale	0,00733307	0,0156124	0,020487	0,0267813	0,154

Valori Check Points.

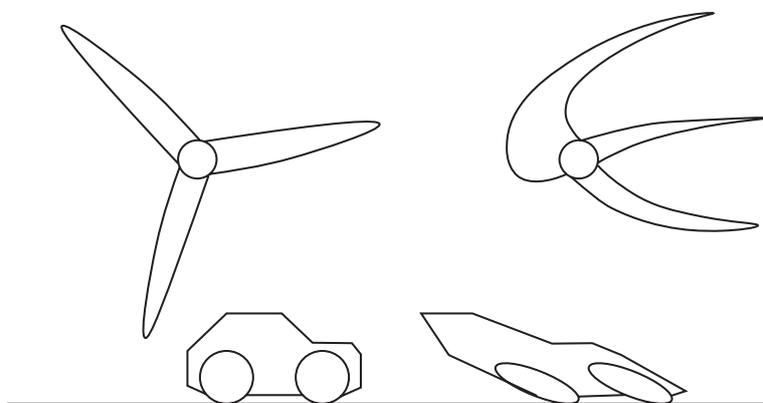
Si possono notare valori elevati sulle coordinate delle z in quanto i fotogrammi acquisiti presentano la camera posta in modo nadirale. Nel caso ci fossero stati anche immagini oblique, ci sarebbe stato un maggiore controllo delle altezze attraverso la collimazione di marker anche sui fronti; ciò nonostante per aver eseguito un volo a un'altezza di 180 metri i residui ottenuti sono molto bassi, un risultato molto positivo.

Voli droni quadricotteri.

I voli sull'area della Necropoli di San Cerbone sono stati interessati dall'utilizzo di due droni differenti, essi sono stati elaborati separatamente in un primo momento e poi uniti in un unico progetto fotogrammetrico al fine di ottenere un ortofoto complessiva dell'area di studio. Senza ripetere il *workflow* che è analogo, riporto in seguito i processi "definitivi" ottenuti.

E' da sottolineare un problema che si è verificato durante l'elaborazione dei fotogrammi ottenuti con il drone Inspire 2. I fotogrammi sono stati scattati in movimento, attraverso la modalità di volo '*fast mode*' a poca distanza l'uno dall'altro, creando così uno spostamento verticale durante l'acquisizione dell'immagine dato dallo spostamento relativo tra le camere e gli oggetti. Questo fenomeno prende il nome di *Rolling Shutter*; attraverso l'ultimo aggiornamento del software di Photoscan è possibile correggere questo tipo di spostamento, andando così a ridurre notevolmente gli errori.

Prima della correzione, gli errori sulle X dei punti di controllo erano di circa 5,5 centimetri e quelli sulle Y di 8,7 centimetri, davvero troppo elevati in un'area dove i punti collimati a terra sono circa 21 e la quota del volo è a 60 metri da terra. Dopo la correzione, si è giunti ad ottenere un errore residuo medio sui punti di controllo pari a un centimetro e mezzo.



Fenomeno *Rolling Shutter*, elaborazione personale

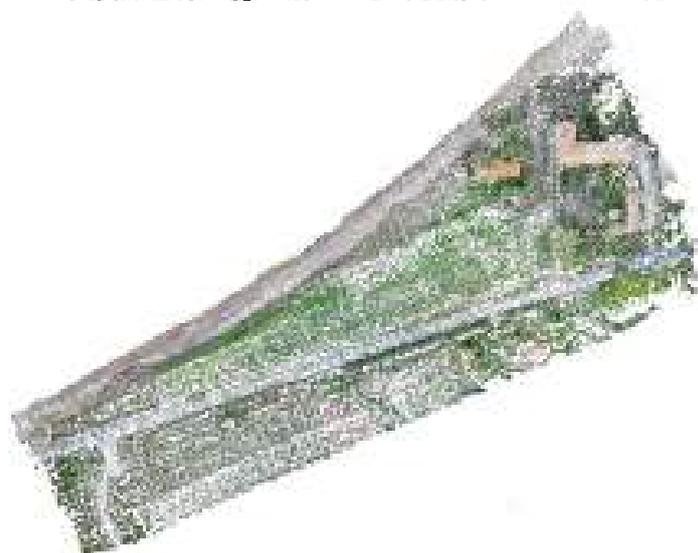
Un altro problema che si è verificato è stata la creazione della nuvola in prossimità del mare. Come mostra l'immagine, il programma non è in grado di assegnare la giusta posizione dei punti nello spazio, a causa della trasparenza del materiale impresso nel fotogramma. Dunque si è optato per eliminare le porzioni che creavano "rumore" ed errori di riproiezione, prima di elaborare l'allineamento delle immagini.



Fotogramma (DJI_0299) scattato nel Golfo di Baratti.



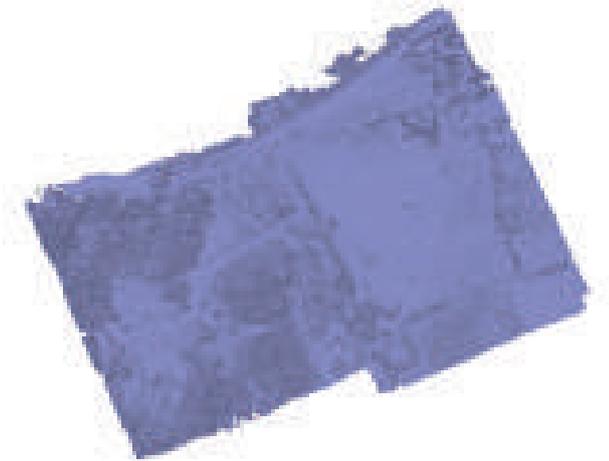
Nuvola Densa, problemi di allineamento dei fotogrammi in prossimità del mare.



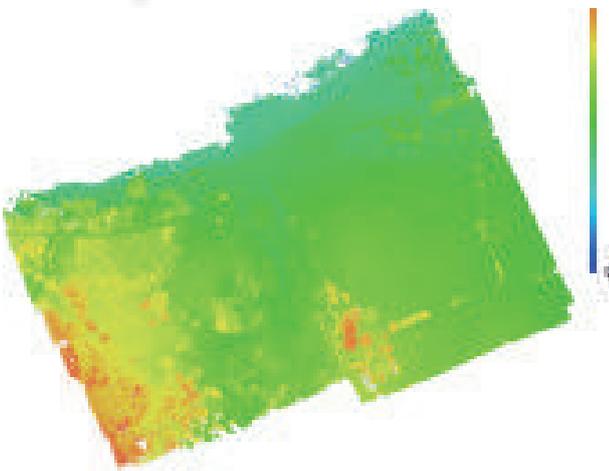
Nuvola Densa, senza la proiezione del mare.



Nuvola di punti



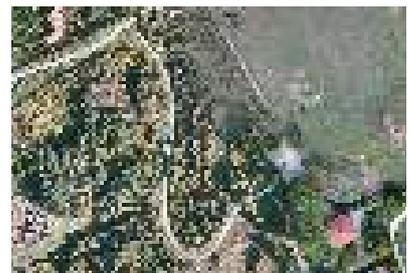
Mesh



Modello digitale di elevazione



Ortofoto





Valori Control Points.

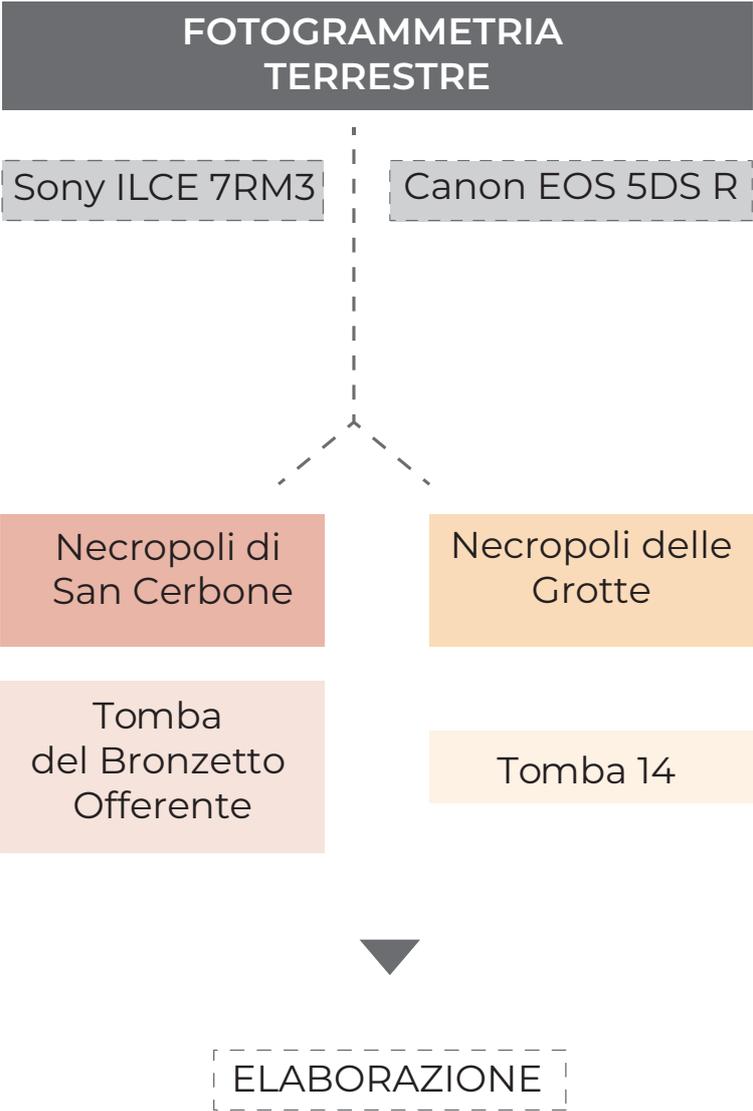
Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
1	0,00941516	-0,0011163	0,016484	0,0220223	0,222 (15)
2	0,0065758	0,00576456	0,0069662	0,00877248	0,365 (20)
3	-0,00391461	-0,0149396	-0,00106905	0,0018783	0,491 (35)
4	0,0013927	-0,00849844	0,0012991	0,0087923	0,245 (21)
5	-0,00540367	0,00522305	-0,00313527	0,00814308	0,454 (37)
6	-0,00461025	-0,0128164	-0,005564	0,014713	0,133 (23)
9	0,00005439	-0,00464128	0,000275418	0,00462327	0,274 (14)
10	-0,00671158	0,00473909	0,00005806	0,00823659	0,429 (15)
12	0,0045847	0,00781188	-0,000275418	0,00462327	0,338 (13)
17	-0,00943219	-0,00339471	0,000724638	0,00359706	0,481 (14)
19	0,00761986	0,00896961	-0,00834395	0,014427	0,103 (3)
21	0,0157652	0,0023205	-0,00210529	0,0160735	1,092 (29)
22	-0,0004298	0,00328959	-0,000279153	0,000609	0,117 (28)
Totale	0,00904423	0,00900012	0,00629731	0,0142287	0,483

Valori Check Points.

Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
3	-0,00185508	0,00144618	0,000781154	0,24785	0,427 (22)
5	0,011597	0,0367719	0,00236604	0,3862988	0,197 (22)
6	-0,0113404	-0,0115603	-0,000657117	0,0162073	0,536 (14)
13	0,0102868	-0,0111627	-0,00225352	0,153461	0,421 (13)
24	-0,00726589	0,0224471	-0,00509729	0,0241381	0,087 (23)
Totale	0,00895286	0,0194081	0,00251034	0,0215204	0,337

4.3 Fotogrammetria terrestre





Come mostra lo schema riportato nella pagine precedente, si è fatto uso della fotogrammetria terrestre per indagare e creare due modelli tridimensionali assai differenti, sia per la dimensione degli oggetti che per la loro posizione spaziale.

4.3.1 Tomba del Bronzetto dell'Offerente

In occasione dell'inaugurazione del nuovo percorso di visita dell'Acropoli di Populonia e del Museo Archeologico del Territorio di Populonia a Piombino, svoltasi a fine marzo 2018, ho avuto l'opportunità, insieme ai docenti del Dipartimento di Architettura e Design (DAD) e del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI), di visitare le aree principali del Parco di Baratti e Populonia. Durante il sopralluogo mi sono imbattuta nella Tomba del Bronzetto Offerente, oggetto architettonico che ricordavo di aver studiato all'interno dei libri di storia dell'arte. Quasi per gioco si è iniziato a scattare dei fotogrammi secondo le "regole" della fotogrammetria terrestre... permettendomi così, una volta arrivata a casa, di realizzare il modello tridimensionale della famosa tomba ad edicola presente nella Necropoli di San Cerbone. I modelli realizzati sono due, poiché si è scelto di utilizzare due programmi differenti per l'elaborazione dei dati fotogrammetrici, acquisiti in maniera un po' anomala, ossia senza dei punti di controllo.



La camera utilizzata è la Sony ILCE 7RM3, ha acquisito 40 fotogrammi sull'oggetto in esame dove si sono stati mantenuti gli stessi parametri della camera, per evitare problemi durante le elaborazioni.

Il primo software utilizzato è Agisoft Photoscan, il quale attraverso il riconoscimento dei punti omologhi riesce a compiere l'allineamento dei fotogrammi, elabora la nuvola sparsa e densa, costruisce la mesh e, infine, attraverso la proiezione delle immagini digitali sulla superficie della mesh permette la realizzazione del modello tridimensionale texturizzato. I processi effettuati seguono quelli utilizzati per la fotogrammetria aerea da drone, tranne la fase di collimazione dei punti. Il modello, infatti, è scalato in base a delle misure di riferimento.



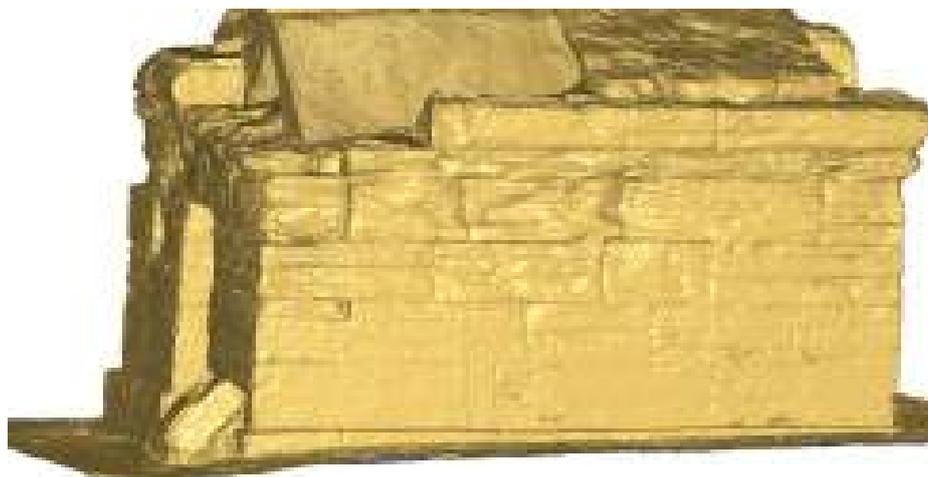
Nuvola di punti ottenuta tramite la fotogrammetria terrestre.



Dettaglio qualità della mesh tomba del Bronzetto dell'Offerente.

Il vantaggio di utilizzare programmi fotogrammetrici come Photoscan è quello di poter calibrare i parametri per la creazione e la qualità del modello che si vuole ottenere. Per la tomba ad edicola si è cercato di mantenere alti i parametri di qualità, proporzionali al tempo di elaborazione e calcolo dei fotogrammi. Ad esempio, per la realizzazione della nuvola densa il software ha impiegato circa tre ore avendo come input la qualità *high*, aumentando la ricerca dei punti omologhi.

Mesh tomba del
Bronzetto dell'Offerente.



Mesh tomba del
Bronzetto dell'Offerente.



Texture della tomba del
Bronzetto dell'Offerente.



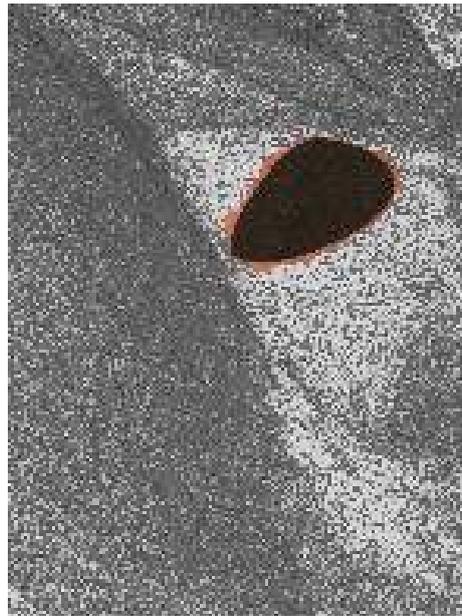


Il secondo software utilizzato è Autodesk ReCap Photo. Per poterlo utilizzare occorre avere un account Autodesk, poiché le elaborazioni avvengono tramite la connessione internet. L'uso del programma e di tutte le caratteristiche presenti è completamente gratuito. L'operatore dopo aver caricato le immagini per il modello 3D ha il solo compito di aspettare la realizzazione del medesimo. Non è possibile osservare le varie fasi di processamento dei dati, l'unica scelta che si può effettuare è nella fase di esportazione, attraverso la decimazione del numero di triangoli della mesh. Il modello creato ad alta risoluzione può essere importato su altri software Autodesk, oppure esportato secondo l'estensione '.obj'. Non è possibile né visionare né esportare la nuvola di punti, proprio perché il compito di questo programma è la realizzazione di modelli tridimensionali ad alta qualità, soprattutto per la navigazione interattiva. Un'altra importante mancanza del programma è l'incapacità di georeferire il modello fotogrammetrico per quanto riguarda le operazioni su un oggetto, mentre è possibile farlo con modelli derivanti da fotogrammi aerei. Rispetto ai classici programmi fotogrammetrici, sono realizzabili operazioni di analisi e confronto dei modelli importati, tra cui anche un'interessante "ricucitura" del modello nelle aree dove sono presenti buchi o lacune, ossia zone dove manca il dato spaziale.



Schermata di lavoro nel software Recap. Visione del modello tridimensionale in corrispondenza dei centri di presa dei fotogrammi

Analisi e riconoscimento automatico dei buchi della mesh elaborata.



Visualizzazione del modello Mesh.



Visualizzazione del modello texturizzato.



Sono riportate in tabella le caratteristiche principali dei due modelli fotogrammetrici elaborati con i due software descritti in precedenza. Come si può evincere anche dai valori dei numeri di punti creati con il software Photoscan, l'operatore ha un controllo e un riscontro passo a passo durante le diverse fasi fino al raggiungimento del modello texturizzato. In questo caso si è ottenuto un modello di elevata qualità e risoluzione, andando però ad aumentare i tempi di elaborazione e file non facili da maneggiare, a causa della pesantezza di informazioni contenute al loro interno. Mentre il software Recap Photo genera il modello quasi in maniera autonoma, grazie agli algoritmi presenti, l'operatore prende visione direttamente del modello concluso, ossia il modello di mesh e texturizzato.

	Photoscan	Recap Photo
Numero di fotogrammi	40	40
Numero di punti della nuvola	53.231.662	5.754.847
Numero di triangoli (mesh)	7.537.884	11.506.312

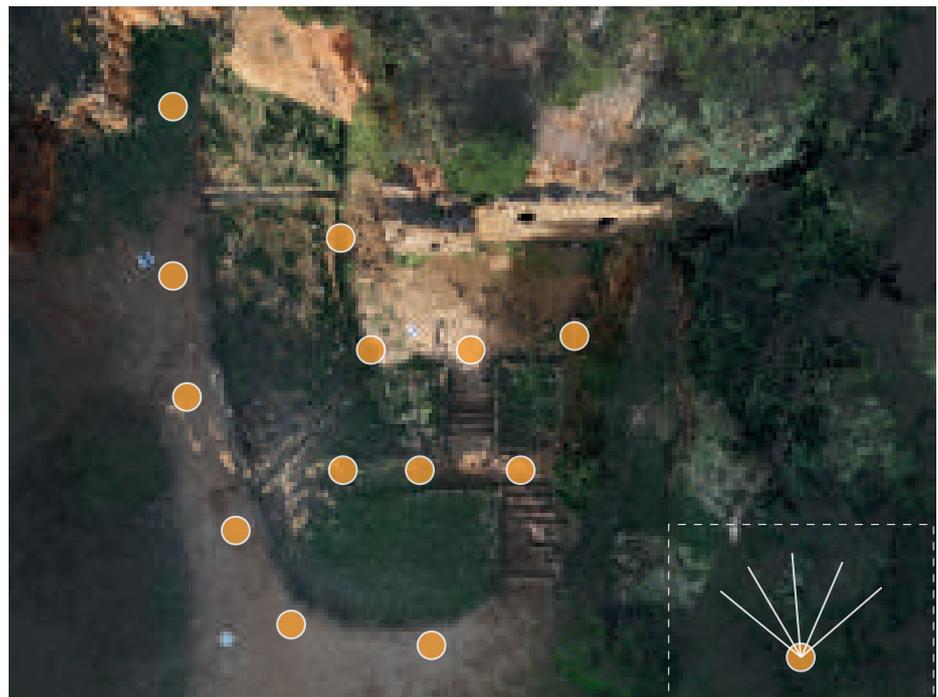
Tipologia di software	Licenza a pagamento	Licenza gratuita
Mansioni operatore	Gestione e controllo delle operazioni	Autonomia del programma
Tempistiche di elaborazione	Elevate	Non elevate
Dimensioni del modello 3D	Elevate	Non elevate
Criticità riscontrate	<ul style="list-style-type: none"> - difficoltà di navigazione - tempistiche elevate - dati molto pesanti in termini di Gb 	<ul style="list-style-type: none"> - mancata visione della nuvola di punti generata - esportazione solo del modello con la mesh

4.3.2 Necropoli delle Grotte

Il secondo progetto fotogrammetrico vede l'integrazione tra la fotogrammetria terrestre e quella da drone, con l'obiettivo di realizzare un modello tridimensionale dell'area della Necropoli delle Grotte, in prossimità della parete della Tomba 14.

Questi dati saranno poi successivamente utilizzati anche per l'integrazione dei modelli bidimensionali e tridimensionali, in quanto l'area interrogata è assai vasta, permettendo una maggiore restituzione realistica della Necropoli.

Per svolgere questo è stato necessario utilizzare i fotogrammi terrestri scattati con la camera Canon EOS 5DS R durante la campagna di rilievi del settembre 2017. Schema delle prese fotogrammetriche



Nuvola di punti e posizione dei punti di presa dei fotogrammi terrestri.

Uno dei problemi che saranno riscontrati dall'unione delle immagini terrestri e aeree è dato dal fatto che gli scatti sono avvenuti in due momenti diversi della giornata, perciò le luci e soprattutto le ombre sono assai diverse, andando così ad incidere sul dato cromatico.

I fotogrammi aerei sono stati estratti dal video realizzato con il drone esacottero DJI Phantom4.

Le immagini presentano sia fotogrammi nadirali che inclinati verso la facciata, proprio per indagare al meglio l'area della Necropoli, come mostrano le immagini che seguono.

Il set di immagini aeree e terrestri verrà utilizzato per texturizzare il modello complessivo dell'area, realizzato a seguito dell'integrazione di diverse tecniche di rilievo, oltre a quella fotogrammetrica, anche con la tecnologia Lidar e con lo scanner Zeb.



Fotogramma nadirale della Necropoli delle Grotte, realizzato con la modalità video del Phantom.



Fotogramma a camera inclinata della Necropoli delle Grotte, realizzato con la modalità video del Phantom.



Valori Control Points.

Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
CA20	-0,00747677	0,00756866	0,00982313	0,0144837	0,301 (9)
CA21	0,00283032	-669166	-0,00687378	0,0100019	0,345 (11)
CA23	-0,00612374	-0,0156837	0,00330898	0,0171599	0,271 (20)
CA24	0,00160497	0,002313	0,000756466	0,00291516	0,317 (19)
CA25	0,011283	0,00407194	-0,00472303	0,0128916	0,271 (14)
CL002	0,00620613	0,00290065	0,00115927	0,00694793	0,733 (33)
CL10	-0,00297115	-0,00174516	0,00122443	0,00365685	0,768 (44)
CL11	0,00409524	0,00317457	-0,000218263	0,00520744	0,979 (30)
CL12	0,00172088	267418	-0,000584267	0,00323327	1,181 (50)
CL13	-0,00159736	0,000586507	-0,005267	0,00228613	0,890 (50)
CL14	-0,00114904	0,00121404	-0,000917412	0,00190679	1,208 (57)
CL15	-0,0047446	-0,000062268	-0,0035488	0,00479843	1,299 (40)
CL16	-0,00361975	0,00027622	-0,00075493	0,00370794	0,902 (50)
Totale	0,00509821	0,00555352	0,00377228	0,00842991	0,943

Valori Check Points.

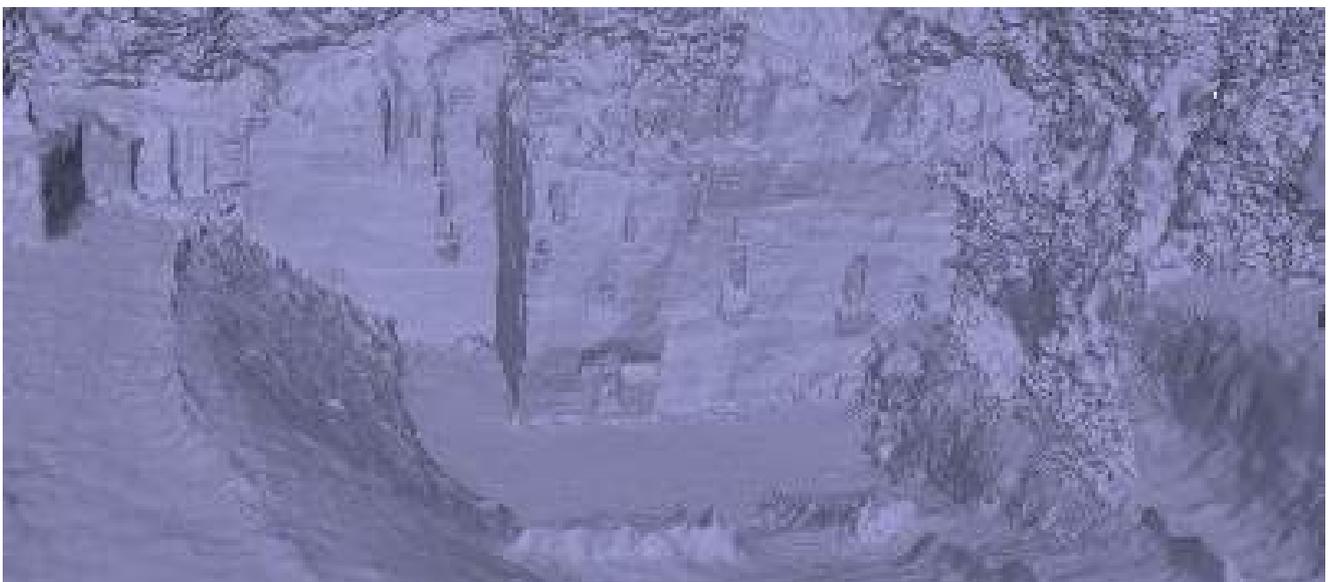
Punto	Errore X (m)	Errore Y (m)	Errore Z (m)	Totale (m)	Immagine (pix)
CA22	-0,0106621	-0,00126456	0,0116612	0,0158513	0,429 (13)
CA26	0,000139	0,00951508	0,0189248	0,0211826	1,190 (25)
CL001	-0,0100526	-0,0093075	0,00729154	0,0155194	1,200 (23)
CL003	0,00446718	0,0037564	0,0021471	0,00621902	0,435 (20)
CL17	-0,00191475	-0,0028988	0,000595882	0,0032423	1,142 (45)
Totale	0,00690474	0,0634468	0,0105096	0,0140848	1,029



Tie points



Nuvola di punti densa.



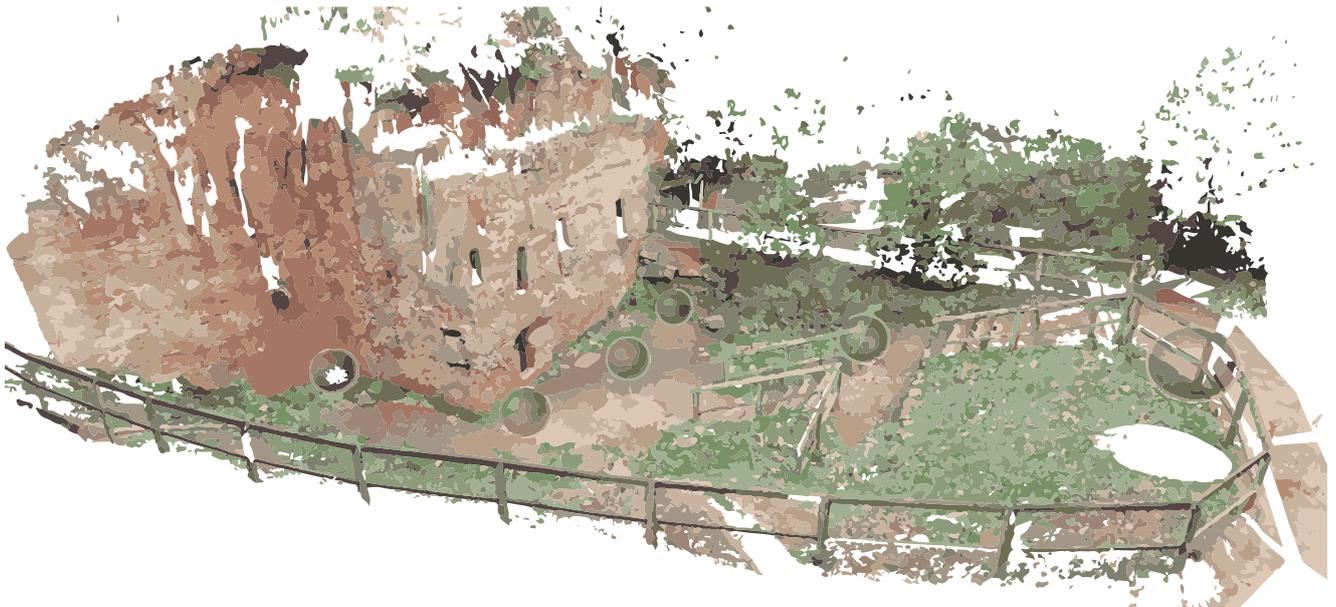
Modello poligonale

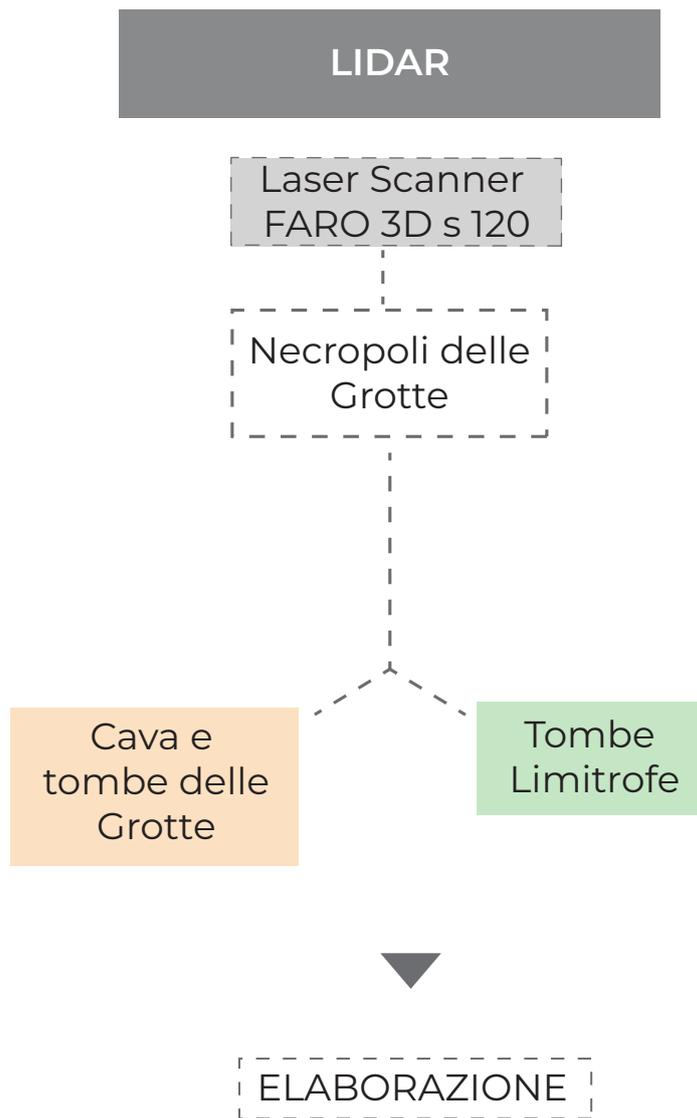
	Canon EOS 5DS R	DJI Phantom 4
Numero di fotogrammi	105	46

Numero di fotogrammi	151
Numero di punti della nuvola	17.953.141
Numero di triangoli (mesh)	5.015.902



4.4 Tecnologia LIDAR







Il rilievo tramite Laser Scanner è stato ottenuto tramite lo strumento Faro Focus3D S 120. Le aree interessate dalla strumentazione sono nella Necropoli delle Grotte, in particolar modo sono state indagate le tombe limitrofe e la Cava delle Grotte.

Seguendo un po' lo schema di esplicitazione dei processi di elaborazione utilizzati nella fotogrammetria, i due casi verranno descritti separatamente, in particolar modo nel sotto capitolo dedicato al processo di registrazione delle scansioni.

4.4.1 Acquisizione delle scansioni

Cava delle Grotte

Durante la campagna di rilievo sono state effettuate nell'area della Necropoli delle Grotte, in prossimità della Cava e della parete contenente la Tomba 14 ben 18 scansioni. Una delle prime operazioni che si effettuano prima dell'utilizzo della tecnologia Lidar è la realizzazione degli eidotipi.



Eidotipi realizzati per il rilievo laser e fotogrammetrico in prossimità della cava e parete della Necropoli delle Grotte

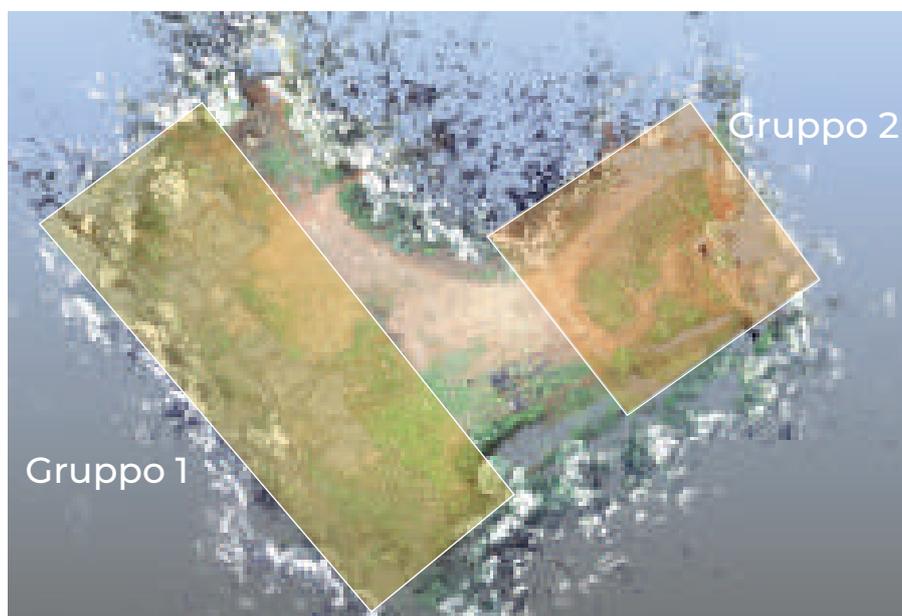
Gli eidotipi sono delle rappresentazioni in grado di riconoscere la posizione dei punti di controllo, riportando il corretto posizionamento spaziale dei *markers* e dove sono state effettuate le scansioni. La progettazione del

posizionamento dello strumento dovrebbe rispecchiare un'attenta operazione di indagine sul luogo, che permette di ottenere il numero maggiori di informazioni, per progettare un numero di scansioni opportune, con il rischio di aver poi una sovrabbondanza di dati da elaborare e sotto campionare, quando in realtà non è il caso lavorare con dati così pesanti e ridondanti.

Inoltre un altro elemento da tener in considerazione è il numero di markers posizionati nell'area e misurati tramite stazione totale. E' necessario che in ogni scansione siano visibili almeno tre markers in modo tale da permettere la rototraslazione delle scansioni in base alle coordinate misurate dagli stessi punti.

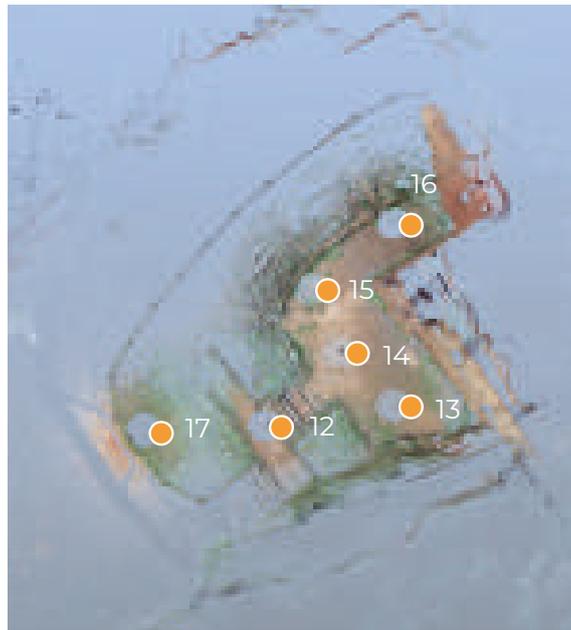
CL001	2.654,253	854,616	99,378
CL002	2.653,810	844,300	96,003
CL003	2.651,573	842,963	97,339
CL10	2.653,820	850,644	98,102
CL11	2655,060	847,468	95,928
CL12	2.651,570	842,385	96,901
CL13	2.62,560	840,852	96,905
CL14	2.654,470	840,431	97,152
CL15	2.654,750	839,201	95,196
CL16	2.655,090	838,872	96,801

Coordinate dei punti collimati nella Necropoli, in prossimità della Tomba 14.

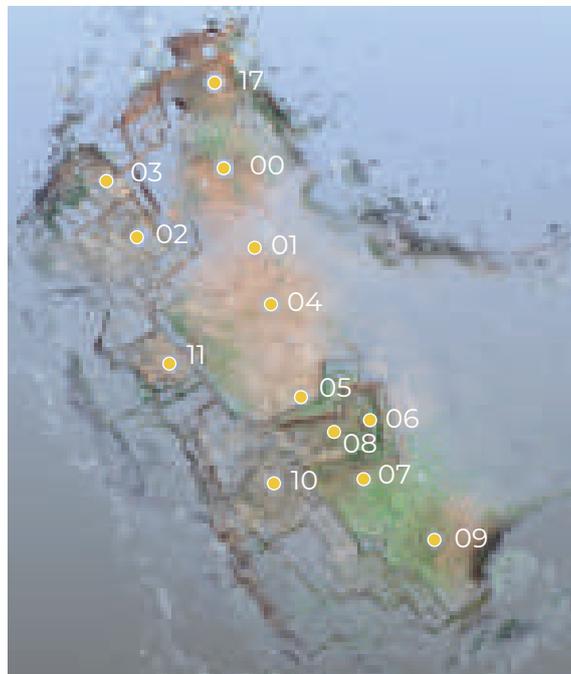


Suddivisione in due gruppi di scansione l'area di rilievo laser.

Posizionamento del laser scanner in corrispondenza della Tomba 14 e la "facciata" della Necropoli delle Grotte.



Posizionamento del laser scanner in corrispondenza della parete della cava



Ai fini di questo elaborato di tesi verranno prese in considerazione ed elaborate le scansioni in prossimità delle parete della Necropoli, contenente la Tomba 14.

Anteprima della Scansione Cava_Baratti_12.



L'acquisizione è avvenuta tramite l'impostazione dello strumento a 1/5 4X, dove 1/5 indica la densità di scansione dei punti che vengono memorizzati e 4X il numero di volte che viene rimisurato lo stesso punto. L'impostazione prevede un tempo di acquisizione inferiore ai 10 minuti per scansione, con una media di 24.000.000 punti rilevati. Le tabelle mostrano la quantità di punti rilevati dalle singole scansioni.

GRUPPO 1	
Cava_baratti_Scan_00	17.007.169
Cava_baratti_Scan_01	14.432.028
Cava_baratti_Scan_02	15.013.558
Cava_baratti_Scan_03	16.720.519
Cava_baratti_Scan_04	22.869.276
Cava_baratti_Scan_05	23.123.122
Cava_baratti_Scan_06	23.061.019
Cava_baratti_Scan_07	22.761.675
Cava_baratti_Scan_08	23.520.406
Cava_baratti_Scan_09	22.847.309
Cava_baratti_Scan_10	24.986.081
Cava_baratti_Scan_11	24.502.819

GRUPPO 2	
Cava_baratti_Scan_012	5.154.697
Cava_baratti_Scan_013	5.99.950
Cava_baratti_Scan_014	6.023.814
Cava_baratti_Scan_015	5.678.601
Cava_baratti_Scan_016	7.079.959
Cava_baratti_Scan_017	4.772.873

La fotocamera digitale all'interno del dispositivo permette l'associazione tra ciascuno punto e il corrispondente valore cromatico. Al termine del processo di acquisizione la nuvola sarà caratterizzata da delle coordinate, in riferimento al centro strumentale del laser scanner e un valore RGB.

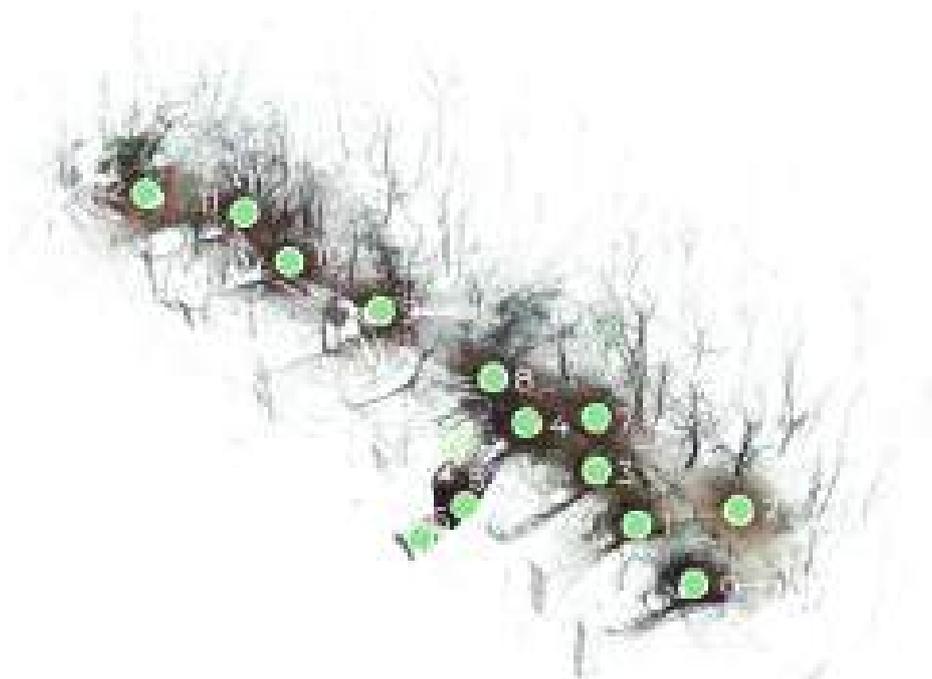
Tombe limitrofe

L'altra area interessata dalla tecnologia Lidar è l'ultimo tratto del sentiero delle Cave, ossia la zona delle Tombe Limitrofe, dove sono presenti numerose tombe a camera posizionate lungo un orientamento nord-sud. Le scansioni effettuate sono state 13, in particolar modo posizionate lungo il sentiero e in corrispondenza e all'interno della Tomba 4.

In questo caso, come mostrano le immagini e gli eidotipi, i marker misurati son stati posizionati per quanto riguarda le Tombe Limitrofe principalmente sugli alberi presenti lungo in sentiero, vista la scarsa visibilità delle tombe ipogee.



Eidotipo delle tombe limitrofe.



Posizione delle 13 scansioni effettuate.



Vista piana Grotte_
Bar_Cava_Scan_08

100	2.657,559	872,683	95,447
101	2.659,338	873,988	96,571
102	2.662,907	873,940	96,129
103	2.667,621	874,082	95,663
104	2.677,880	875,655	94,078
105	2.686,864	874,526	93,301
106	2.688,403	875,105	92,437
107	2.690,541	875,292	92,242
108	2.679,094	869,921	94,682
109	2.676,679	871,924	94,615
110	2.670,237	872,325	95,261
111	2.667,747	870,444	95,336
112	2.666,601	868,633	96,126
113	2.666,601	868,634	96,126
114	2.665,784	870,973	96,155
115	2.658,372	871,803	96,975
116	2.657,122	8723,839	96,471

Coordinate dei
punti collimati nella
Necropoli, in prossimità
delle Tombe Limitrofe.

Anche durante questa acquisizione tramite laser scanner l'impostazione del rapporto del numero di punti da memorizzare è stato 1/5 4X.

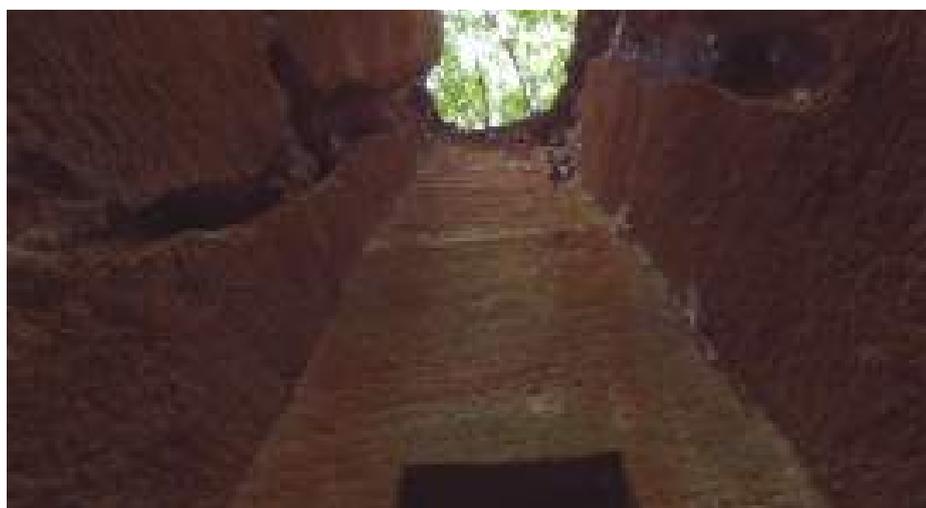
Il range di acquisizione delle informazioni dello strumento spazia da 60 centimetri a 120 metri. In questo caso pratico il laser si trova a lavorare quasi nelle due condizioni estreme; lo troviamo nella scansione 5 ad occupare uno spazio chiuso, circoscritto in neanche 5 mq e nelle restanti scansioni a rilevare una sovrabbondanza di informazioni, data l'abbondante vegetazione presente lungo il sentiero,

arrivando senza problemi ad individuare punti a una quota di 120 metri dal centro del laser.

Numero di punti acquisiti	
Grotte_Bar_cava_arch000	15.770.135
Grotte_Bar_cava_arch001	16.295.558
Grotte_Bar_cava_arch002	15.513.818
Grotte_Bar_cava_arch003	14.989.457
Grotte_Bar_cava_arch004	15.136.401
Grotte_Bar_cava_arch005	26.466.231
Grotte_Bar_cava_arch006	28.097.440
Grotte_Bar_cava_arch007	15.294.142
Grotte_Bar_cava_arch008	15.464.364
Grotte_Bar_cava_arch009	16.997.344
Grotte_Bar_cava_arch010	16.786.035
Grotte_Bar_cava_arch011	16.389.470
Grotte_Bar_cava_arch012	17.415.998



Vista piana Grotte_
Bar_Cava_Scan_04



Vista piana Grotte_
Bar_Cava_Scan_05

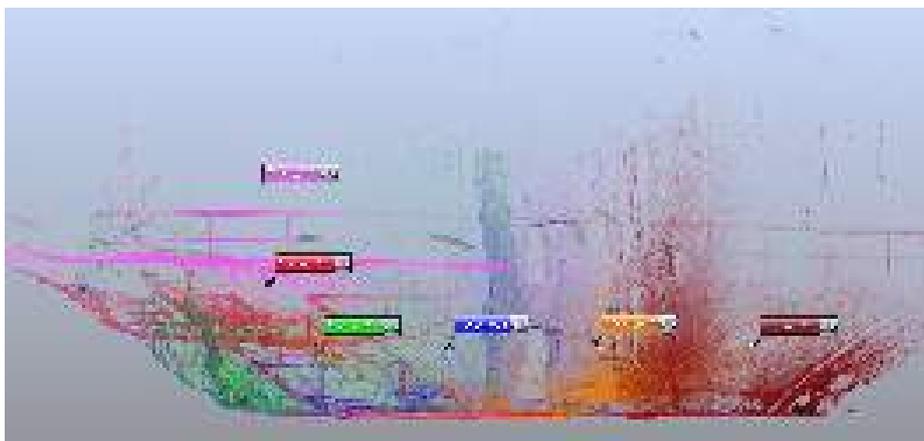
4.4.2 Registrazione delle scansioni

Una volta acquisite le scansioni, si passa alla registrazione delle nuvole per poter ottenere una nuvola di punti complessiva della Necropoli delle Grotte. Il software utilizzato per questo processo è SCENE, della stessa casa produttrice del laser FARO impiegato.

SCENE

Per prima cosa si importano le scansioni, raggruppate in due diverse cartelle, in base al posizionamento spaziale nella Necropoli, per riuscire ad avere un maggiore controllo e gestione dei dati. Successivamente, per poter aver la visione del dato RGB, si esegue la colorazione delle scansioni, dove vengono associate ai singoli punti le immagini scattate dalla fotocamera coassiale interna del laser scanner. I processi di allineamento delle scansioni eseguiti sono stati due.

Durante il primo, allineamento per forma o “nuvola a nuvola”, si eseguono degli avvicinamenti manuali tra le scansioni nelle diverse viste, in modo da permettere al software il riconoscimento dei piani e delle superfici corrispondenti tra scansioni diverse e allinea le nuvole sulla base di queste superfici e spigoli comuni. Nel corso della modalità di collocazione il numero di iterazioni tra le nuvole è stato impostato a 50 e la distanza massima di ricerca a 20 metri. Questo processo è stato eseguito prima nei due gruppi di scansioni e poi utilizzando tutte e 18 le scansioni delle Necropoli, riportando una tensione dei punti di scansione di circa 4 millimetri e mezzo.



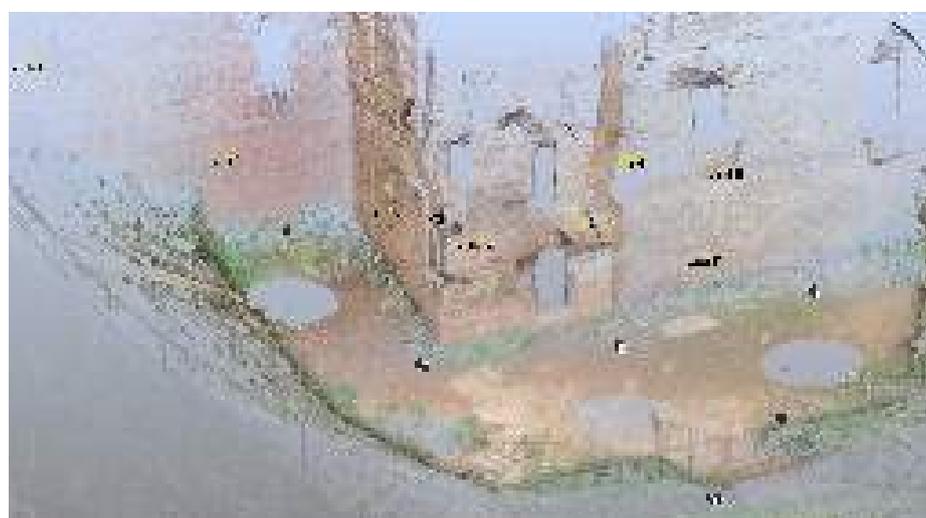
Vista a corrispondenza delle scansioni gruppo 2, registrazione per forma.

L'altro processo di allineamento è basato sulla collimazione dei target, denominati fin ad ora marker, in modo tale da poter poi aver il modello della nuvola di punti georeferita nel sistema locale di riferimento. Occorre ricordare che le coordinate che andranno inserite nel software sono quelle troncate in precedenza, com'era già accaduto per le tecniche fotogrammetriche. La registrazione nuvola a nuvola è bloccata, in modo da mantenere quell'avvicinamento tra le scansioni. Impostando la visualizzazione piana delle singole scansioni si vanno ad inserire le posizioni dei marker, chiamandoli con i codici numerici impiegati nella misura e calcolo delle scansioni presenti nelle coordinate realizzate con la stazione totale. Per effettuare la rototraslazione del modello finale, occorre inserire nel software il file in formato .csv delle coordinate, in modo da poter eseguire la collocazione delle scansioni 'basato sui target'.

Vista piana della
scansione Cava_
baratti_Scan_14



Vista 3D del gruppo di
scansioni 2, posizione
dei marker misurati.



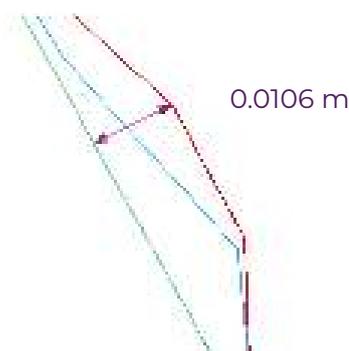


Vista 3D del gruppo Scan1.

REGISTRAZIONE NUVOLA A NUVOLA			
Gruppo scansione	Numero di scansioni	Tensione media dei punti di scansione (mm)	Tensione media dei punti di scansione (<4mm)
Scan 1	12	2,5622	65,80%
Scan2	6	2,1388	72%

REGISTRAZIONE BASATA SUI TARGET			
Gruppo scansione	Numero di scansioni	Tensione media dei target (mm)	Deviazione standard
Scan 1 + Scan2	18	15,44	6,96

Una volta registrate le scansioni è opportuno esportarle separatamente e provare a verificare se i valori forniti dal programma risultano veritieri anche sui punti della nuvola non misurati. Questo controllo viene eseguito nel software 3DReshaper, dove vengono eseguite delle sezioni nei punti dove esiste la sovrapposizione delle scansioni. Come mostra il cattura immagine, i valori tra le scansioni 13, 14 e 15 in corrispondenza del fronte principale dell'ingresso della tomba 14, riportano nel punto considerato più critico un disallineamento dal valore di 1 cm.



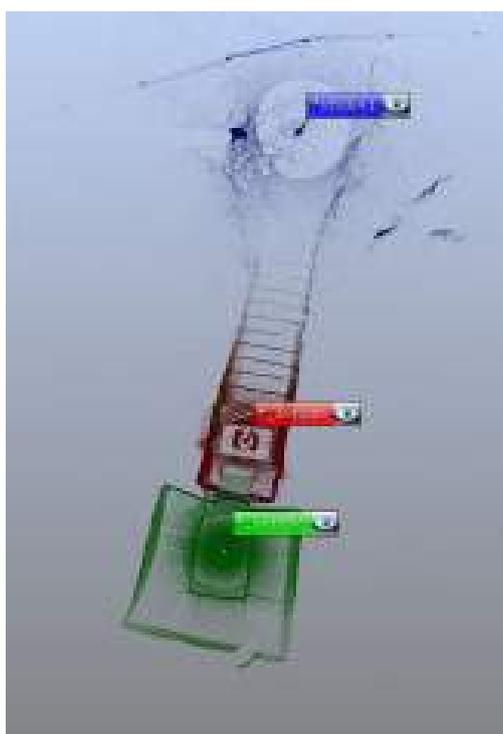
Controllo allineamento tra le scansioni 13,14 e 15.

Tombe limitrofe

La registrazione delle scansioni nelle tombe limitrofe ha creato qualche problema nel corso dell'allineamento per forma, a causa della poca corrispondenza tra le scansioni eseguite lungo il sentiero e quelle all'interno delle Tombe 4. Per questo motivo si è optato per la suddivisione in due gruppi di scansioni, il primo contenente 11 scansioni e il secondo contenente tre scansioni. Attraverso la duplicazione della scansione 'Grotte_Bar_cava_arch004', presente sia nel primo gruppo e nel secondo, usata quasi come un perno tra i due gruppi di scansione, si è potuto raggiungere il valore della tensione media dei punti di scansione inferiore ai 4 millimetri.



Visione dei due gruppi di scansione in corrispondenza delle tombe limitrofe.



Scansioni realizzate per il rilievo della tomba 4, gruppo 2.

Come descritto in precedenza, la collocazione dei marker è avvenuta principalmente in corrispondenza dei tronchi degli alberi lungo il percorso della Via della Cava. Per riconoscere al meglio la posizione dei punti si è utilizzata la sottostante visualizzazione del software, che visualizza i punti di nuvola assegnando un range di colore in base alla distanza dal centro di scansione.



Visualizzazione del software per i riconoscimento degli oggetti nella scansione.

Mantenendo bloccata la posizione delle scansioni unite tramite il metodo per forma, inserendo le coordinate misurate, si è ottenuto il modello delle tombe limitrofe roto-traslato nel sistema locale. La tensione media dei target ottenuta è di 4,89 millimetri.

REGISTRAZIONE NUVOLA A NUVOLA			
Gruppo scansione	Numero di scansioni	Tensione media dei punti di scansione (mm)	Tensione media dei punti di scansione (<4mm)
Scan 1	11	5,6278	41,1%
Scan2	3	3,6921	54,5%

REGISTRAZIONE BASATA SUI TARGET			
Gruppo scansione	Numero di scansioni	Tensione media dei target (mm)	Deviazione standard
Scan 1 + Scan2	13	4,89	2,53

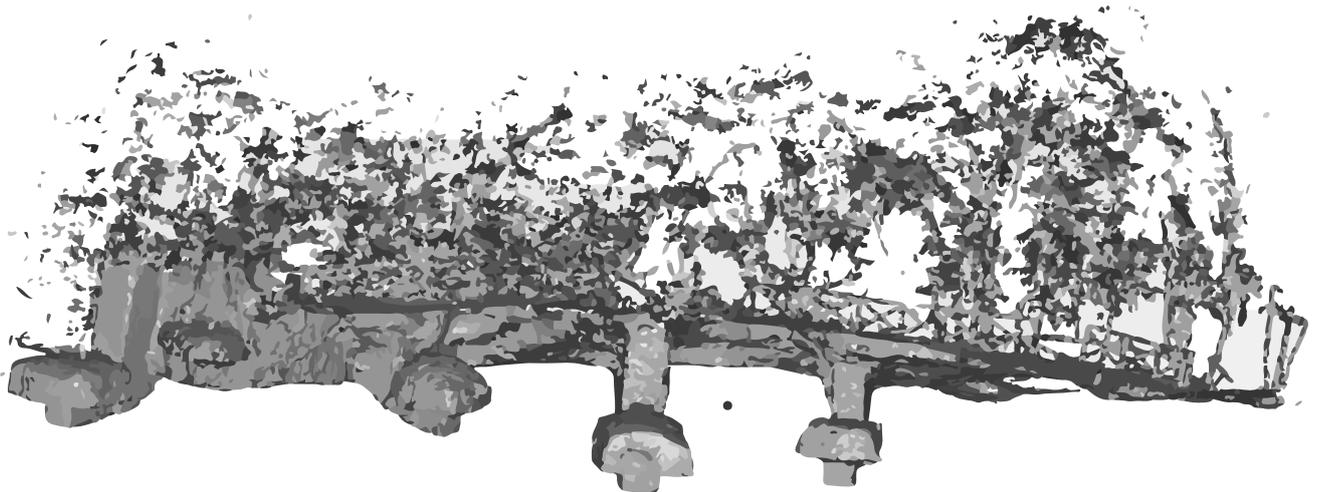


Vista complessiva
della nuvola.



Vista complessiva del
gruppo di scansioni
2, tomba 4.

4.5 Sistema di Mappatura mobile



4.5.1 Caratteristiche dello strumento

Lo strumento più innovativo utilizzato durante la campagna di rilievo nel Parco Archeologico di Baratti e Populonia è stata ombra di dubbio lo scanner ZEB-REVO. Lo strumento tenuto in mano dall'operatore durante l'acquisizione dei dati permette di ricavare quelle informazioni non reperibili con altri strumenti di rilievo. O meglio, permette una rapidità di acquisizione non paragonabile a nessun altro strumento.



L'area indagata con questa tecnologia è stata la Necropoli delle Grotte, in particolar modo l'ultimo tratto del sentiero delle Cave, dal Centro di Archeologia Sperimentale alla Cava della Necropoli, attraversando un lungo percorso nel ricco paesaggio boschivo del parco. L'applicazione di questo strumento nel percorso sentieristico presente permette l'aggiornamento della cartografia del Parco e la georeferenziazione delle numerosissime tombe ritrovate nel sentiero verso la cava. Uno degli obiettivi principali è quello di riuscire a restituire tramite la cartografia numerica questi nuovi dati, con l'obiettivo di renderli fruibili a terze parti per le successive indagini. Come si potrà poi osservare dalle diverse immagini che verranno riportate, il paesaggio che si presenta è davvero mozzafiato per la quantità di informazioni che contiene, in particolar modo nelle nuvole di punti delle tombe ipogee.



Strumento Zeb
in funzione nella
Necropoli delle Grotte.

ZEB-REVO

Dimensioni complessive del dispositivo	220 mm x 180 mm x 470 mm	
Dimensioni dello scanner	86 mm x 113 mm x 287 mm	
Numero di Scanner	1	
Peso complessivo del dispositivo	4,10 kg	
Peso dello scanner	1 kg	
Velocità di rotazione della testa	0,5 Hz	
Velocità della linea dello scanner	100 Hz	
Durata della batteria	4 h (uso continuo)	
Risoluzione scanner	Orizzontale	0.625 °
	Verticale	1.8 °
Distanza massima	Indoor	30 m
	Outdoor	15 - 20 m
Acquisizione punti	43.200 punti/secondo	
Accuratezza relativa	1 - 3 cm	

4.5.2 Acquisizione delle nuvole

Le scansioni acquisite tramite il laser manuale ZEB-REVO sono sette, di cui quattro realizzate lungo il sentiero boschivo e tre all'interno della radura occupata dalla cava e dalla parete contenente la Tomba 14. Come mostra l'ortofoto l'area vista dall'alto non dà molte informazioni, sembrerebbe un grande bosco che termina con una zona scoperta. Il vantaggio di usare lo ZEB-REVO è stato fondamentale per l'indagine tridimensionale di quella zona del Parco.



Ortofoto area necropoli delle Grotte, dove sono stati eseguiti i rilievi con lo ZEB-Revo.

Durante l'acquisizione, attraverso un tablet collegato allo strumento, è possibile vedere la nuvola di punti che si compone man mano che si cammina. In questo modo l'operatore sa già se lo strumento sta funzionando, in particolare se il percorso che esegue è un percorso chiuso, sa se il software è in grado di riconoscere il procedimento eseguito, attraverso la restituzione corretta della nuvola. Lo ZEB_REVO non possiede al suo interno nessun sistema ricevitore GPS/GNSS, e i dati che rileva non hanno l'associazione con i dati cromatici dell'oggetto.

Al fine di limitare l'errore di deriva si è soliti svolgere lo stesso percorso con lo strumento sia in andata che in ritorno, in modo da permettere al Software GeoSLAM la correzione automatica, dato dal fatto che il punto di inizio e di fine coincidono.

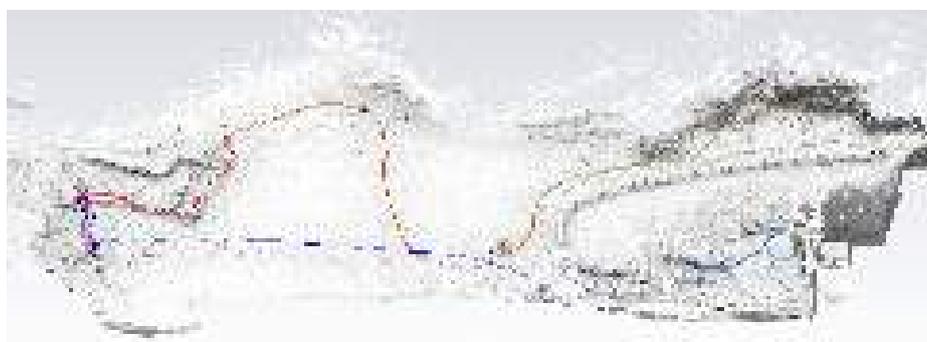
La scansione per essere visualizzata come una nuvola di punti, viene calcolata e trasformata nei formati supportati tramite il software GeoSLAM, per poter poi svolgere le fasi di elaborazione in altri software. Oltre alla nuvola in formato .las è possibile estrarre la traiettoria dello strumento durante l'acquisizione. In questo modo associandola alla nuvola adeguata, è possibile capire in quale momento e in base alla posizione occupata quali punti sono stati rilevati. In seguito vengono riportate le nuvole acquisite.

Come si potrà osservare nelle prime tre scansioni il punto di inizio per entrambe è il medesimo, il colore blu indica l'inizio dell'acquisizione, mentre il colore rosso la fine.

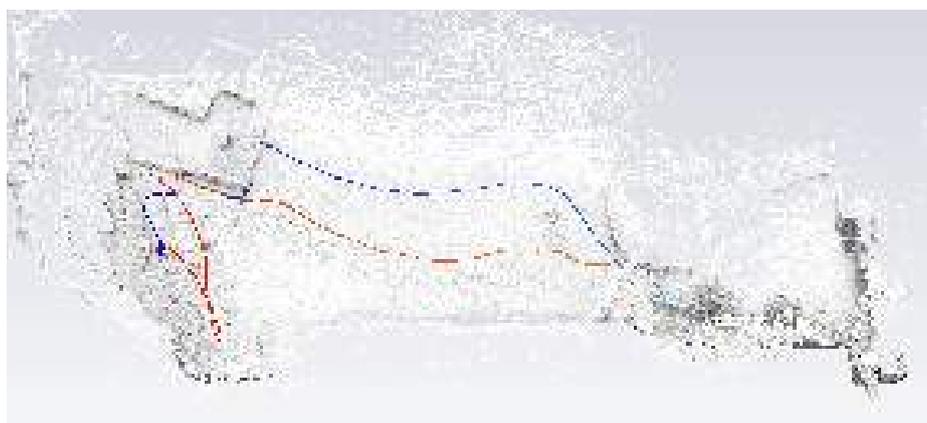
2017-09-28_11-15-40_Necropoli 1

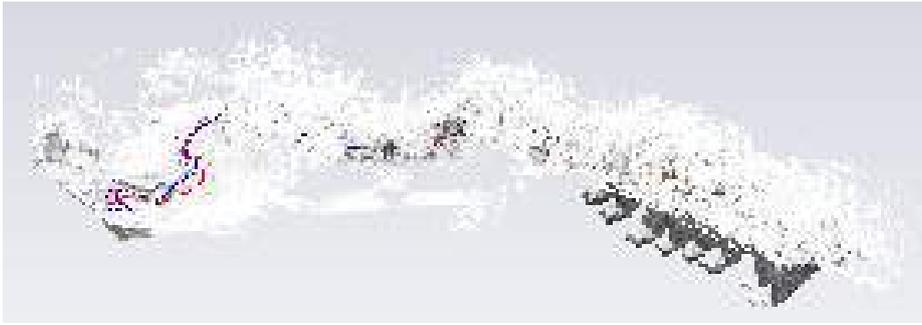


2017-09-28_11-29-02_Necropoli 2

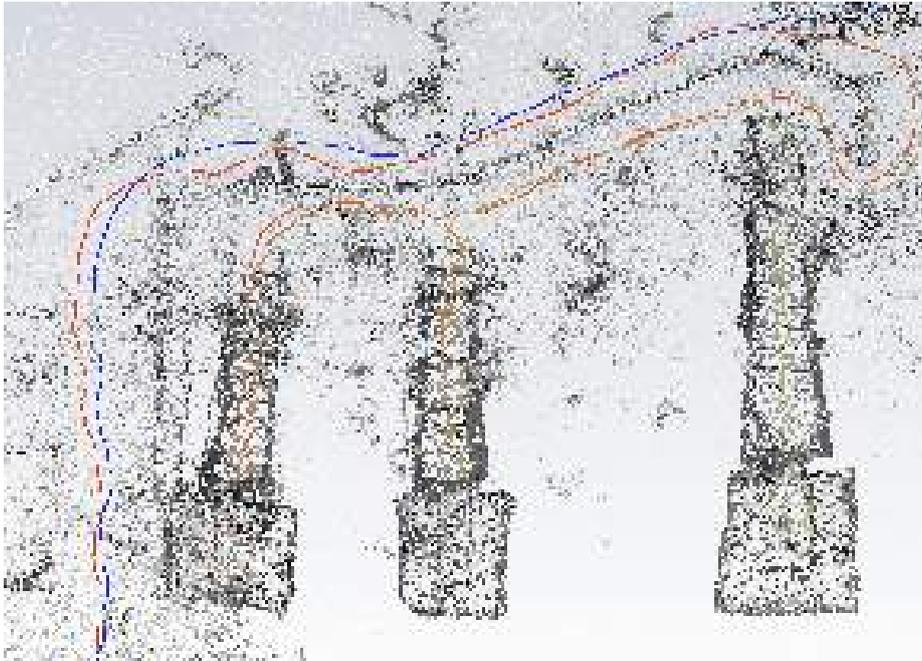


2017-09-28_11-46-03_Necropoli 3





2017-09-28_12-15-45_Necr_Est_1



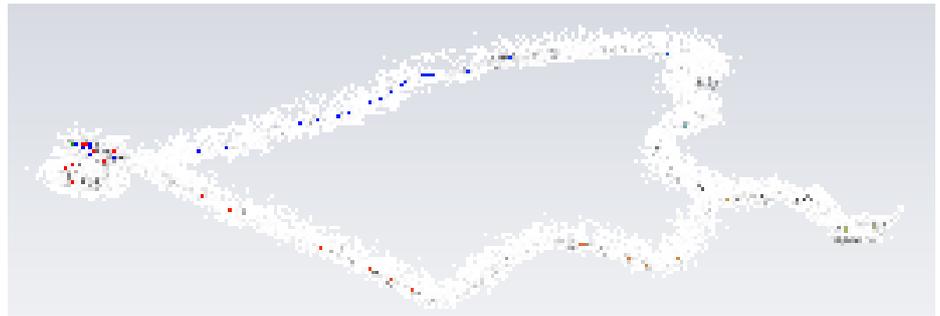
Dettaglio 2017-09-28_12-15-45_Necr_Est_1

Successivamente alle scansioni eseguite in prossimità della cava, si è iniziato a ripercorrere il sentiero. Come mostra la prima immagine, si è utilizzato lo strumento per rilevare anche l'interno delle tombe ipogee, ottenendo un ottimo risultato, in particolar modo per l'ambiente chiuso.



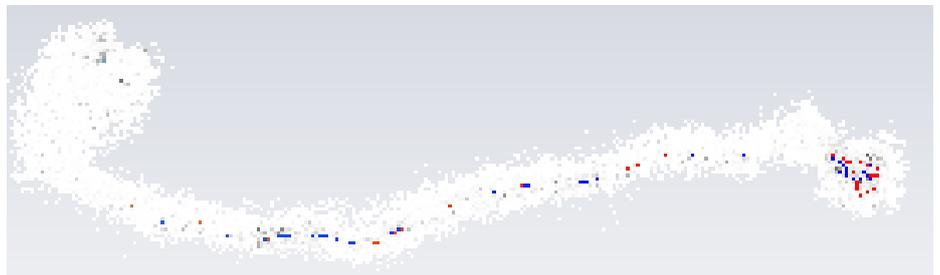
Dettaglio 2017-09-28_16-40-24_Necr_Est_2

2017-09-28_16-40-
24_Necr_Est_2



La scansione mostra quasi l'intero sentiero, in questo caso il senso di percorrenza ha un andamento a senso unico, in questo modo gli ambienti sono stati rilevati una sola volta.

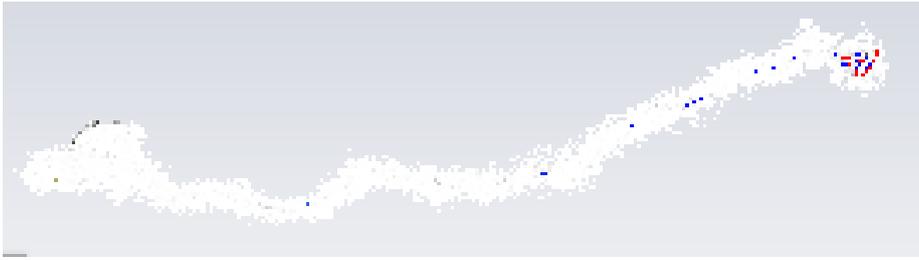
2017-09-28_17-11-
22_Necr_Est_3



Dettaglio 2017-09-28_17-
11-22_Necr_Est_3



La scansione 2017-09-28_17-11-22_Necr_Est_3 ripercorre il primo tratto che va dal Centro Sperimentale verso la Necropoli, imbattendosi in un numeroso aggregato di tombe suddivise su diversi livelli, come mostra l'immagine di dettaglio.



2017-09-28_17-37-27_Necr_Est_4



Dettaglio 2017-09-28_17-37-27_Necr_Est_4

Infine l'ultima scansione 2017-09-28_17-37-27_Necr_Est_4 percorre il tratto che va dal Centro Sperimentale verso la piccola Cava, area interessata da tre tombe ipogee e una vasta parete di panchina semicircolare in cui sono ben visibili le tracce dei saggi di scavo etruschi.

Il numero di punti acquisiti da ogni scansione dipende anche dalla velocità dell'operatore di movimento, correlata alla possibilità della testa rotante di rilevare lo stesso spazio per più tempo. Le zone unicamente di sentiero boschivo presentano infatti una nuvola più rada rispetto alle zone occupate dalle tombe ipogee.

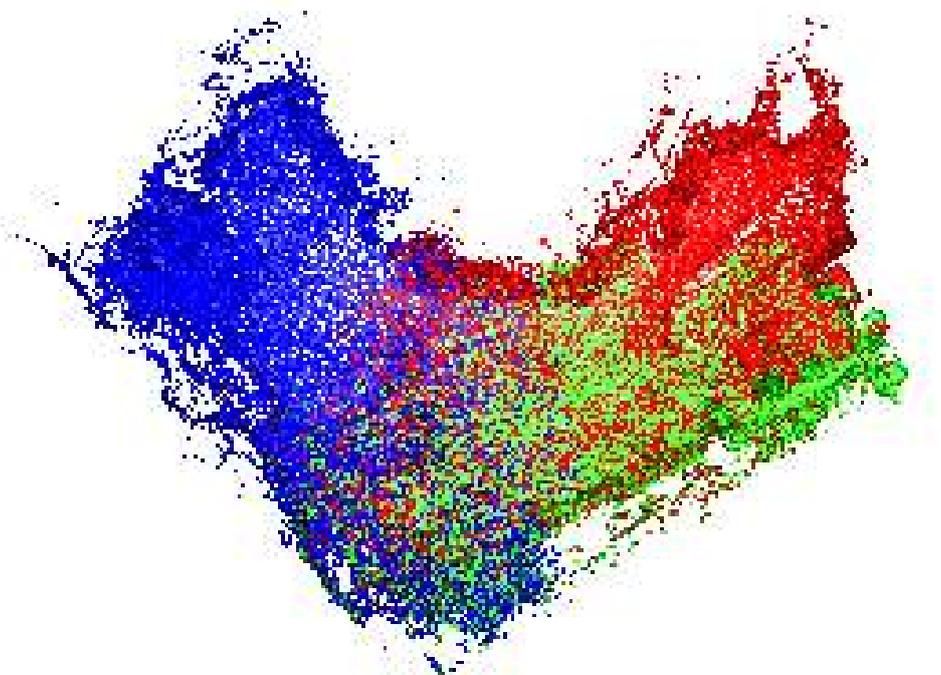
Numero di punti acquisiti	
11-15-40 _ Necropoli 1	2.273.034
11-29-02 _ Necropoli 2	1.924.689
11-46-03 _ Necropoli 3	974.773
12-15-45 _ Necr_Est_1	3.343.362
16-40-24 _ Necr_Est_2	7.322.619
17-11-22 _ Necr_Est_3	5.170.997
17-37-27 _ Necr_Est_4	6.970.387

4.5.3 Elaborazione delle nuvole.

A questo punto ci troviamo ad avere sette scansioni slegate tra loro, con delle zone rilevate comuni. Prima di tentare la strada dall'unione manuale, il software GeoSLAM ci fornisce la possibilità di elaborare lui stesso il *merge* delle scansioni realizzate. Attraverso questo processo il programma è in grado di riconoscere la posizione dei vari punti spazialmente, in un sistema non definito per il momento, allineando tra loro le scansioni in modo automatico e eliminando il problema della deriva.

Una volta eseguito questo, occorre esportare nuovamente la scansione nel formato *.las*, per poter controllare attraverso il software 3DReshaper se l'allineamento è avvenuto in maniera corretta.

In seguito viene riportato il processo di merge avvenuto all'interno dello spazio aperto della cava, utilizzando le prime tre scansioni e le analisi che si sono eseguite per verificare la corretta unione delle stesse.



Processo di merge tra le scansioni della Necropoli, unione automatica.

Verificato il processo di *merge* ottenuto tramite il software GeoSLAM, si è eseguita la medesima operazione anche per l'altro blocco di scansioni nel bosco.

A questo punto occorre in qualche modo posizionare le nuvole di punti nello spazio, ossia dotarle di un sistema di coordinate significativo rispetto agli altri rilievi. Per poter giungere alla soluzione definitiva si è andati per tentativi, allineando i due blocchi di scansione ottenuti con lo ZEB_REVO con gli altri dati tridimensionali elaborati all'interno del Parco.

In un primissimo momento si è provato ad allineare il gruppo delle nuvole di punti realizzate con il sistema mobile con le nuvole Lidar, tramite il software SCENE, utilizzato fin ad ora per l'allineamento delle scansioni prodotte dal laser scanner fisso. Le geometrie comuni da sfruttare per il riconoscimento dei punti omologhi sono in questo caso le tombe e la staccionata di legno per segnalare il percorso del visitatore lungo il sentiero. Dopo aver ottenuto un avvicinamento e una registrazione delle due nuvole di punti, tramite il software 3DReshaper si allineano le scansioni in base al sistema di coordinate dei dati laser. Il processo che si esegue ha il nome di *best-fit*, ovvero si ricerca la miglior corrispondenza tra tutti i punti dell'oggetto da allineare in riferimento alla scansione di riferimento.

Come si può evincere dalle immagini riportate l'utilizzo del software Scene rende molto macchinoso il processo, senza apportare l'allineamento sperato lungo tutta la scansione, ma solo in zone puntuali.



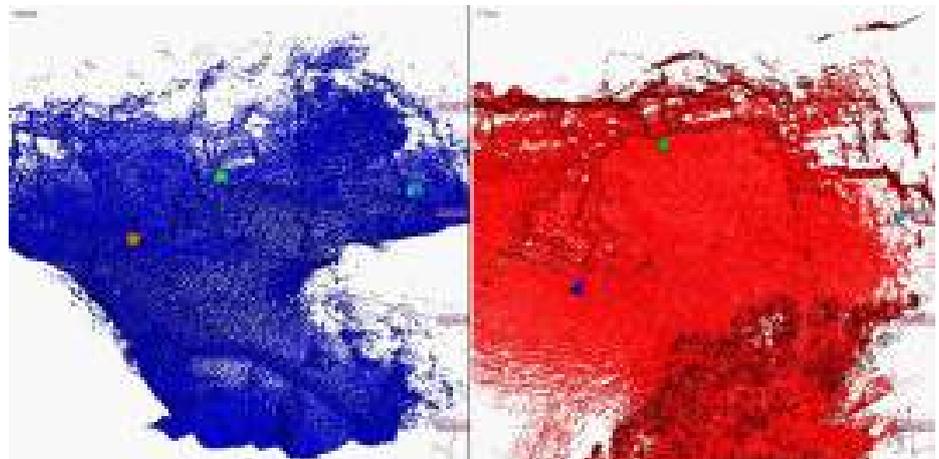
Tentativo di allineamento delle scansioni tramite il software Scene.



Abbandonato il tentativo di allineamento tramite il software Scene, si è utilizzato unicamente il software 3DReshaper. Anche in questo caso le strategie adottate sono state molteplici, prima di arrivare a una soluzione soddisfacente. L'obiettivo è quello di georeferire la nuvola Zeb con le nuvole precedentemente georeferite, ossia la nuvola del volo complessivo e i dati Lidar. In particolar modo occorre "vincolare" la zona di partenza delle varie scansioni, ossia il Centro di Archeologia Sperimentale e la zona della Cava.

Il primo passo è quello di unire i due "blocchi" realizzati con lo scanner mobile, secondo un allineamento per punti, in questo caso non è importante scegliere quale dei due è da considerare una scansione fissa e l'altra mobile, poiché entrambe non contengono punti misurati in un sistema di riferimento.

Processo di allineamento per punti tra le due nuvole dello Zeb.



Unione delle due nuvole tramite il processo di best-fit.

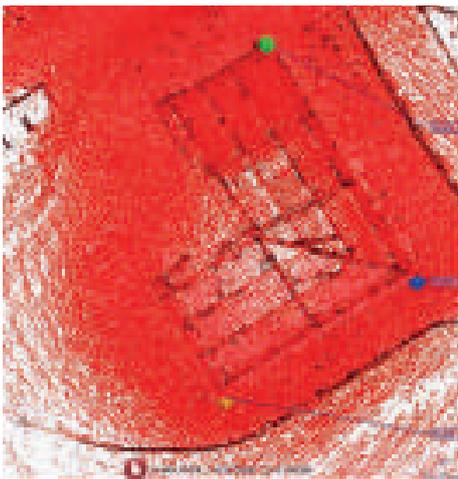


Test 1

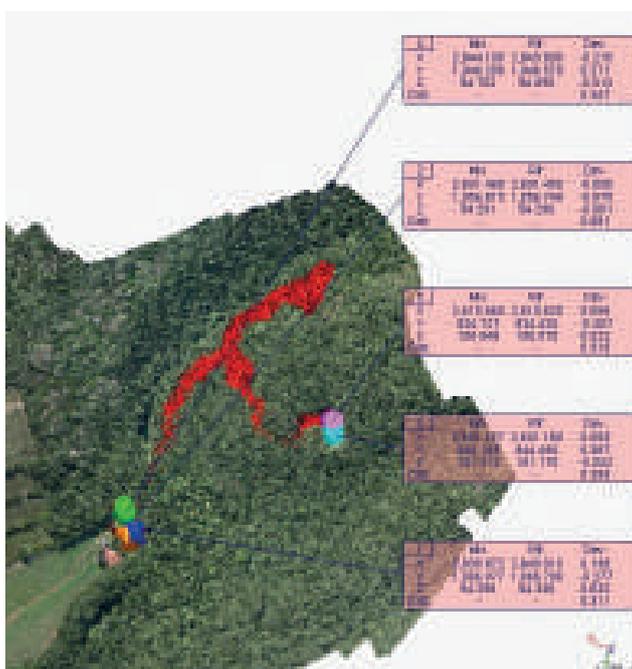
Unione tra la nuvola zeb unita e la nuvola del volo, eseguito con il drone ad ala fissa, tramite la collimazione di 5 punti. Come mostra l'ultima immagine, l'allineamento non è avvenuto correttamente, poiché mostra il posizionamento della nuvola Zeb sopra il volo, quando invece il sentiero è all'interno del bosco.



Collocazione mobile e fissa delle due nuvole, processo di allineamento per punti.



3 dei 5 punti di riferimento, processo di allineamento per punti.



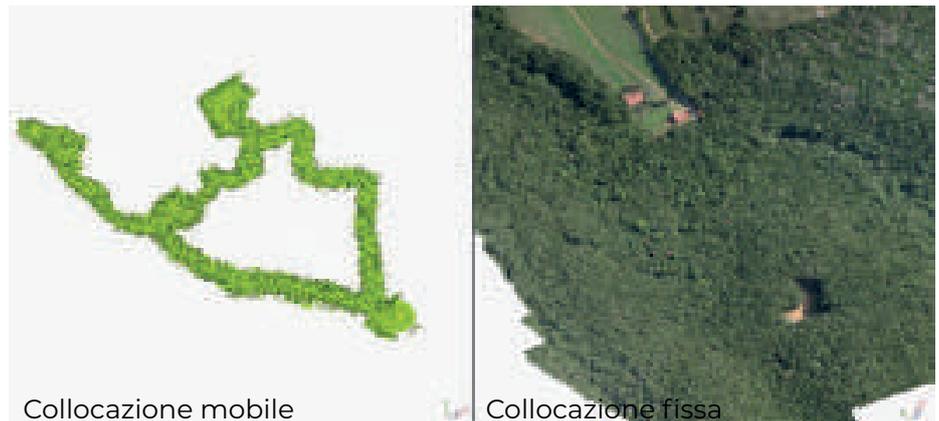
Vista d'unione a seguito del processo di best-fit.

Test 2

Unione tra la nuvola zeb unita e la nuvola del volo, eseguito con il drone ad ala fissa.

In questo caso l'attenzione è posta al posizionamento sottostante della nuvola zeb rispetto al volo, verificato lungo il primo tratto del sentiero, ma non mantenuto costante.

Collocazione mobile e fissa delle due nuvole, processo di allineamento per punti.



Posizionamento della nuvola zeb rispetto al volo.

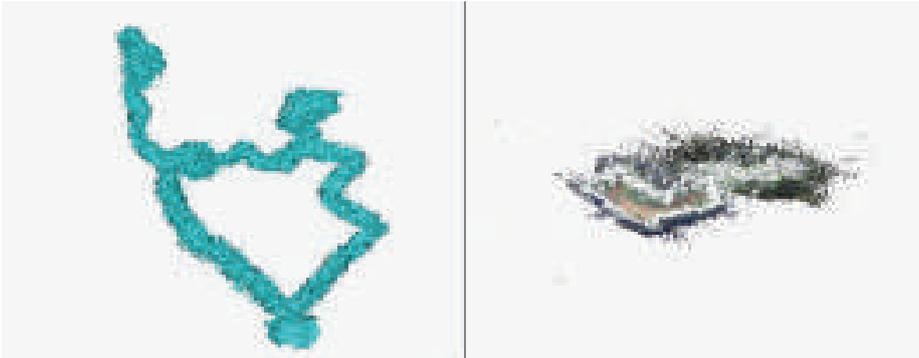


Risultato non soddisfacente, a seguito dell'allineamento.



Test 3

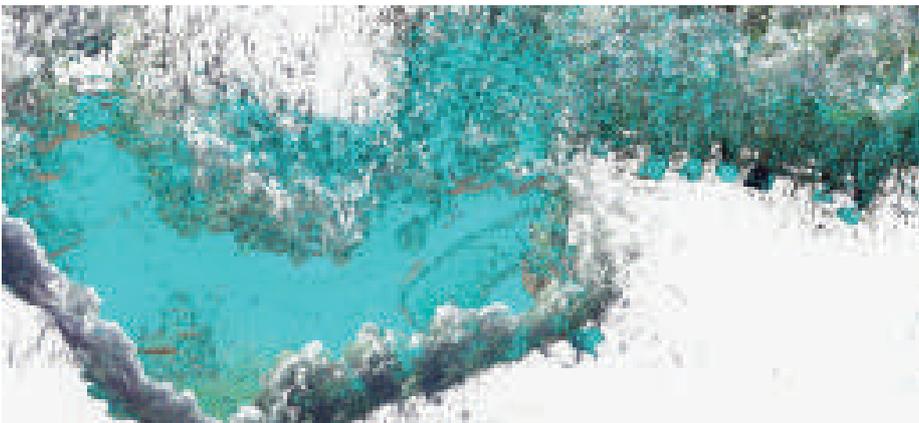
Unione tra la nuvola zeb unita e le nuvole del laser scanner. Se in una prima fase di allineamento sembrerebbero coincidere la posizione dei punti nelle aree selezionate manualmente, nel momento in cui si inserisce la nuvola eseguita con la fotogrammetria aerea l'allineamento viene meno. Questo è dato dall'elevato vincolo imposto a una delle due estremità della nuvola zeb, in corrispondenza del Lidar.



Collocazione mobile

Collocazione fissa

Collocazione mobile e fissa delle due nuvole, processo di allineamento per punti



Allineamento tra la nuvola zeb e le nuvole Lidar.



Disallineamento in corrispondenza del Centro di Archeologia Sperimentale

Test 4

Unione tra la nuvola zeb unita e il gruppo di nuvole del volo e Lidar.

La collimazione dei punti è avvenuta ponendo l'attenzione all'inizio e alla fine del percorso dello Zeb. Come possono mostrare le immagini sembrerebbe essere effettuato correttamente l'allineamento, dato un numero elevato di punti omologhi forniti dalle scansioni fisse.

Collocazione mobile e fissa delle due nuvole, processo di allineamento per punti.



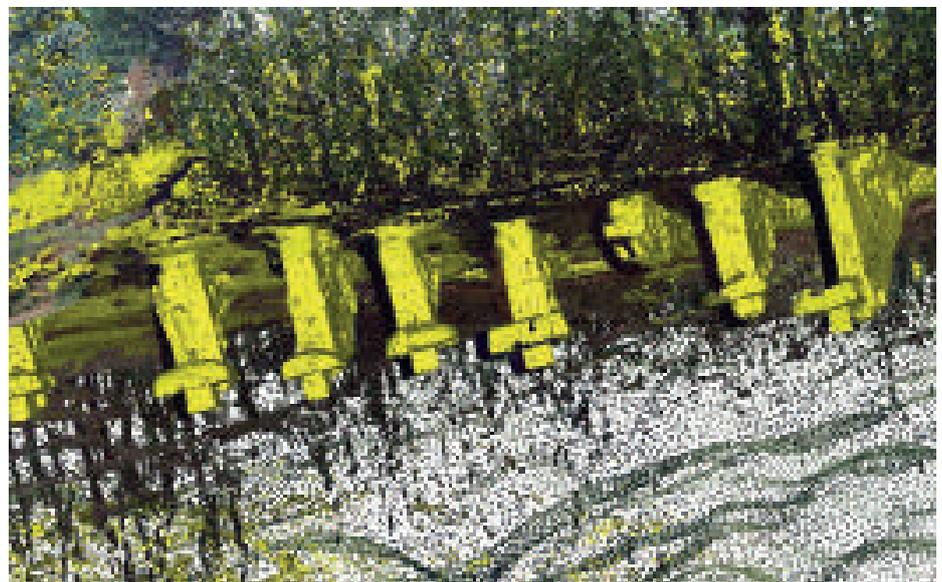
Collocazione mobile

Collocazione fissa

Posizionamento della nuvola zeb rispetto al volo.



Risultato non soddisfacente, a seguito del best-fit.

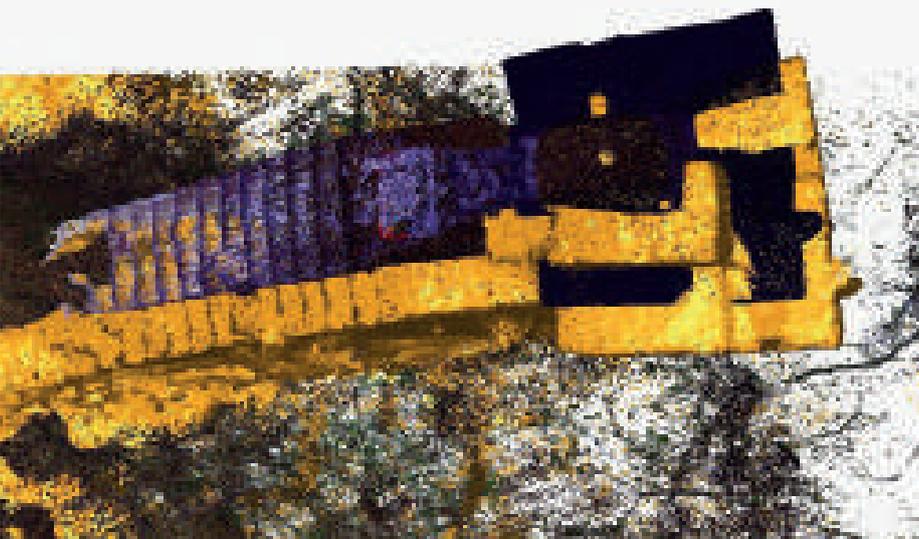


Analisi _ test 4

Visto il buon risultato, apparentemente, ottenuto dal "tentativo D", si è deciso di effettuare delle sezioni per verificare la corretta corrispondenza in prossimità della Cava, del Centro di Archeologia Sperimentale e delle tombe limitrofe... senza ottenere i risultati sperati.



Disallineamento in corrispondenza del sentiero, visione nuvola Zeb e nuvola Lidar.



Disallineamento della Tomba 4, tombe limitrofe.



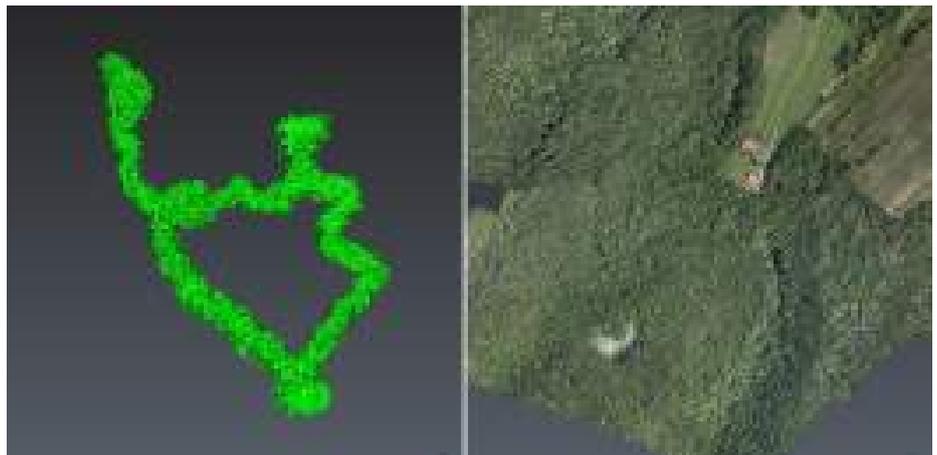
Centro di Archeologia Sperimentale, disallineamento di circa 40 centimetri

Necropoli delle Grotte, disallineamento di circa 1 metro.

Test 5

Visto gli scarsi risultati ottenuti fin ad ora, proseguono i tentativi di allineamento. Da questo momento si prova a inserire le singole scansioni zeb, prima del processo di *merge*, allineandole alle scansioni Lidar. L'allineamento procede su piccole porzioni, in un primo momento si allinea la porzione delle tre nuvole *merged* della cava con i dati Lidar e della fotogrammetria aerea, per poi allineare il tutto con la nuvola complessiva del laser mobile. In questo modo ci sarà un riconoscimento automatico della posizione dei punti nella cava, che saranno praticamente duplicati, così da aver maggior vincoli di movimento alla nuvola da collimare. Attraverso questa strategia è stato possibile georeferire la nuvola dello zeb nel sistema congruente con il resto del rilievo.

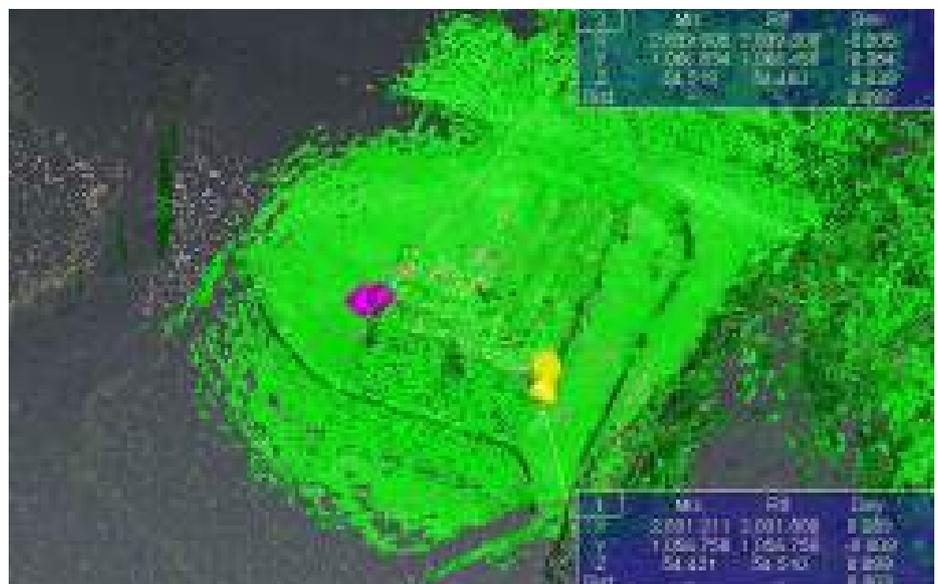
Collocazione mobile e fissa dei due gruppi, processo di allineamento per punti.



Collocazione mobile

Collocazione fissa

Punti di riferimento, tettoia del Centro di Archeologia Sperimentale.



5 ESITI DEL PROGETTO DI RILIEVO

Conoscenza dei luoghi tramite una lettura comparata

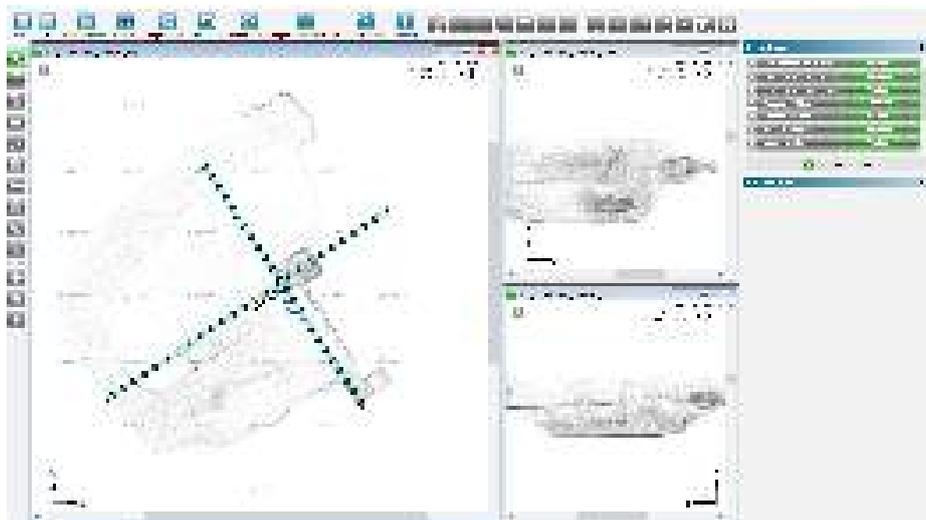


5.1.1 Estrazione modelli Bidimensionali

Attraverso l'uso dei software Pointcab 3.6 e Autocad è stata resa possibile la restituzione in forma bidimensionale dei principali oggetti di studio e analisi di questa tesi.

Nonostante la complessità delle forme da rilevare e da ricostruire in forma bidimensionale, una volta in possesso della nuvola di punti, il passaggio verso la vettorializzazione viene eseguito dall'interpretazione dell'operatore senza troppe difficoltà, poiché i dati di base presentano tutte le informazioni opportune in un sistema di riferimento definito. Si è adoperato un processo analogo sia per quanto riguarda i dati delle scansioni Lidar che quelli della nuvola Zeb, entrambe georeferenziate in precedenza. A seguito dell'importazione della nuvola nel programma Pointcab 3.6 si creano in anteprima tre viste, *Standard Top*, *Standard Left* e *Standard Front*, permettendo di visionare nell'insieme la nuvola.

Per quanto riguarda le scansioni Lidar la proiezione ortogonale della nuvola è associata alle corrispettive immagini Raster, generando così delle ortofoto georeferenziate colorate, che una volta importate su Autocad potranno essere vettorializzate, fin a giungere a disegni in scala 1:100, a seconda del grado di dettaglio che si vuole raggiungere con quelle informazioni. Mentre i dati derivanti dalla nuvola del laser mobile non contengono l'informazione del colore, in quanto non è presente una fotocamera all'interno dello strumento, restituendo così immagini in bianco e nero.



PointCab

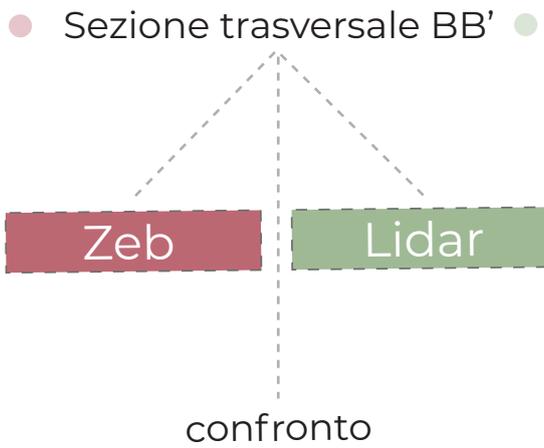
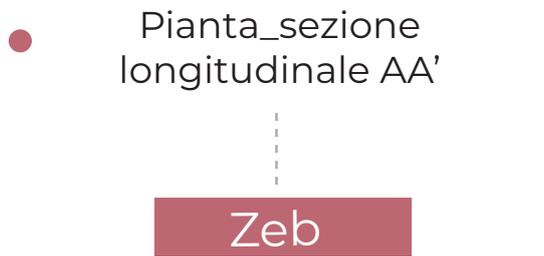
Schermata del software Pointcab, versione 3.6.

All'interno del programma, per estrarre le immagini "mosaicate" da vettorializzare, è possibile creare delle sezioni parallele o perpendicolari alle singole nuvole importate. Per ottenere un disegno completo, una sezione architettonica vera a propria dell'oggetto, è necessario compiere diverse sezioni parallele tra loro con un'area di proiezione della nuvola variabile. La scomposizione dell'oggetto in diversi piani permette di poter poi presentare un disegno con diversi spessori di linea in base alla distanza o profondità dalla sezione richiesta, anche se, il più delle volte, questa operazione permette di comprendere gli oggetti più complessi.

Le immagini che seguono hanno l'intento di raccontare il procedimento eseguito fino al raggiungimento degli elaborati bidimensionali in scala 1:100. Al fine di poter poi confrontare, in un secondo momento, i disegni con le due tecniche di rilievo, le sezioni sono state eseguite con le medesime coordinate x, y e z. L'unica differenza apportata è la risoluzione dell'immagine estratta, per la nuvola Zeb si sono utilizzati valori superiori ai 5 millimetri, mentre per i dati Lidar, più numerosi, un valore di 1 millimetro, oltre che la presenza dell'immagine a colori.

L'elaborazione di modelli bidimensionali è avvenuta in due aree circoscritte all'interno del Parco Archeologico di Baratti e Populonia. Ci troviamo a restituire porzioni della Necropoli delle Grotte, in particolare le tombe Limitrofe e la Cava delle Grotte. La prima zona è caratterizzata dalla presenza di nove tombe ipogee a camera, un'ottima sfida da rappresentare, mentre la cava di estrazione della pietra panchina mostra due tombe intagliate al suo interno. Due zone molto suggestive e curiose, allo stesso tempo con molte difficoltà, date anche dalla mancata esperienza nella raffigurazione di questo tipo di oggetti archeologici e architettonici, allo stesso tempo, inseriti in un contesto naturalistico.

TOMBE LIMITROFE



Scala di rappresentazione 1 : 100

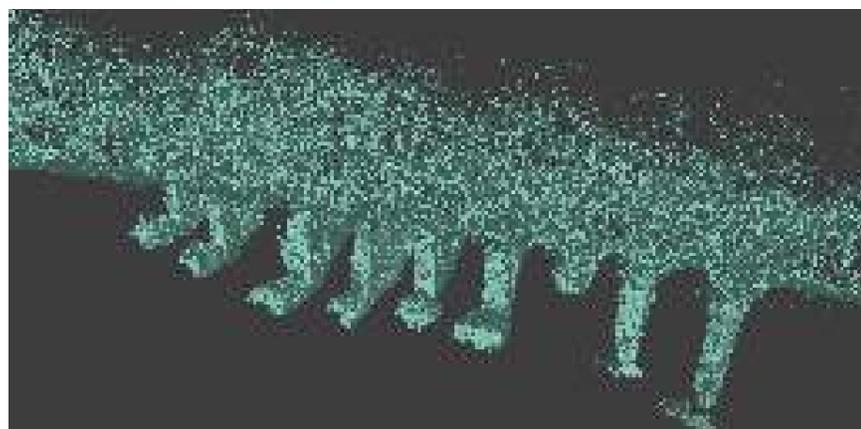


5.1.1.1 Tombe Limitrofe

Quest'area portata alla luce dagli scavi compiuti tra il 1967 e il 1979, violata dai tombaroli già in epoca romana, presenta lungo un allineamento Nord-Est nove tombe a camera ipogee scavate nella roccia. Come mostrano i disegni realizzati, le prime due tombe non presentano una restituzione completa, poiché inaccessibili data la presenza degli unici resti di affresco in tutta la Populonia etrusca. La terza tomba non venne completata, sono intagliati nella roccia solo i primi gradini, realizzati per accedere alla tomba. Questa zona della necropoli, sulla base degli studi compiuti dall'Università di Siena, è stata utilizzata fra il IV e il II secolo a.C, dunque nell'epoca compresa tra la massima espansione del mondo etrusco a Populonia e l'avvento di quello romano.

I punti di partenza sono le nuvole di punti complessive georeferite, acquisite attraverso lo strumento Lidar e il Laser *mapper mobile*, in questo modo è possibile restituire in forma bidimensionale il patrimonio indagato.

Nuvola di punti ottenuta con lo strumento Zeb-Revo delle Tombe Limitrofe.



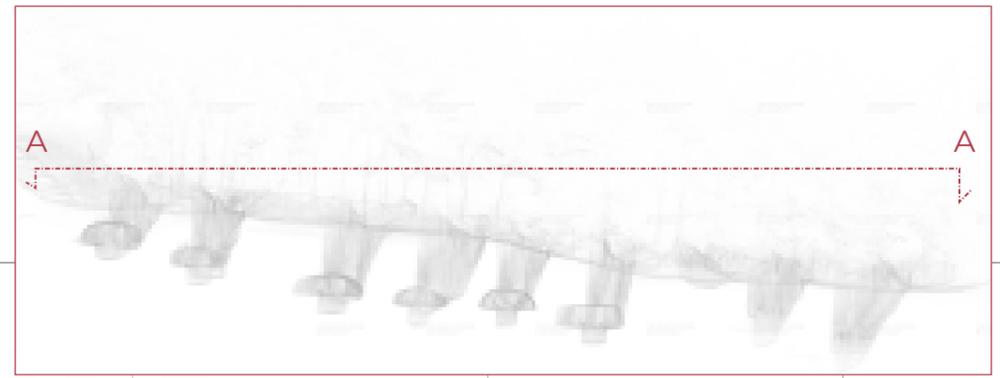
Nuvola di punti ottenuta con lo strumento Lidar delle Tombe Limitrofe.



Tombe limitrofe

SEZIONE AA

Rilievo dati scanner mobile _ Zeb
Scala 1:100



Tombe limitrofe

SEZIONE AA

Rilievo dati scanner mobile _ Zeb
Scala 1:100



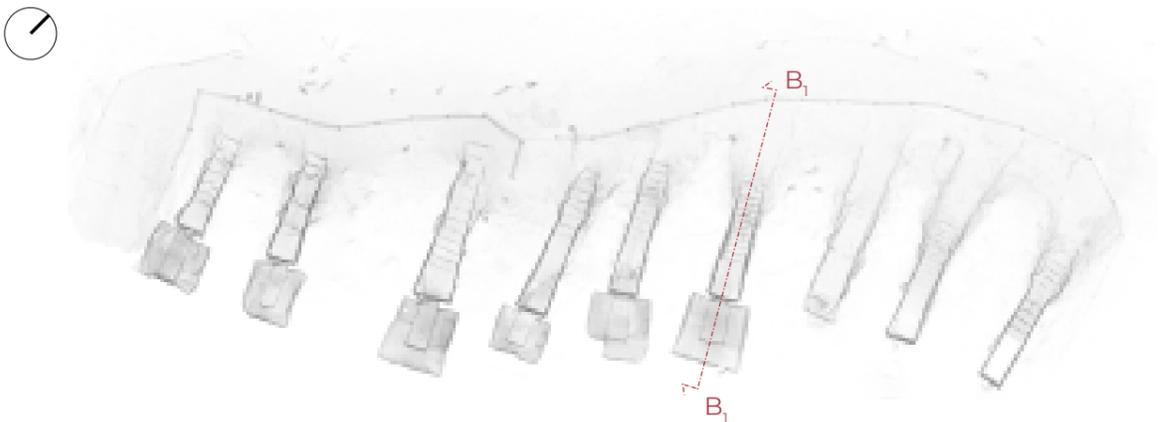
- Dato non rilevato
- Terreno
- Curve di livello
- Quota altimetrica
- Quota longimetrica

Tombe limitrofe

SEZIONE BB

Rilievo dati scanner mobile _ Zeb

Processo eseguito per l'estrazione dei diversi piani di sezione per la conoscenza dell'oggetto architettonico.

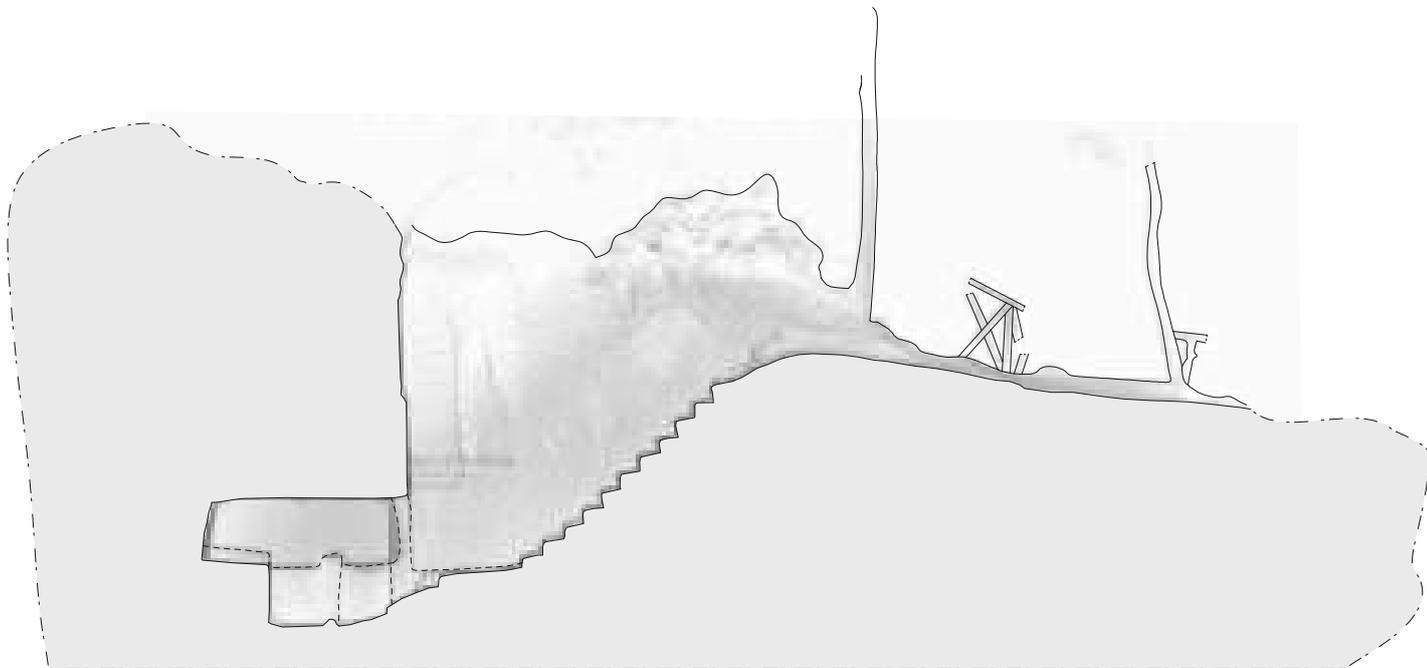


Sezione B₁B₁

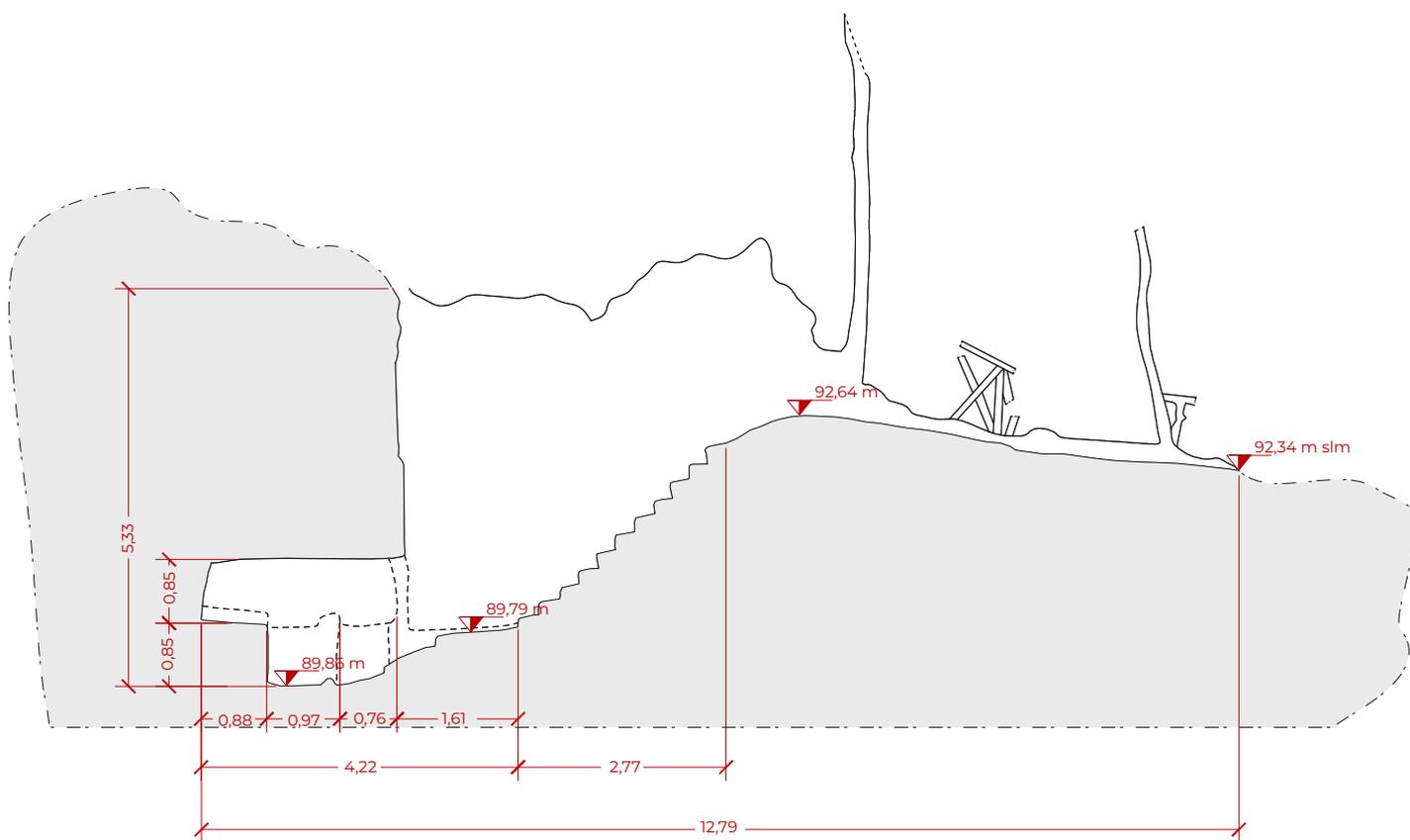


Sezione B₂B₂





TOMBA 4, restituzione bidimensionale a partire dalla nuvola di punti realizzata con lo strumento ZEB, con ortomosaico realizzato tramite il software Pointcab 3.6, scala 1:100.



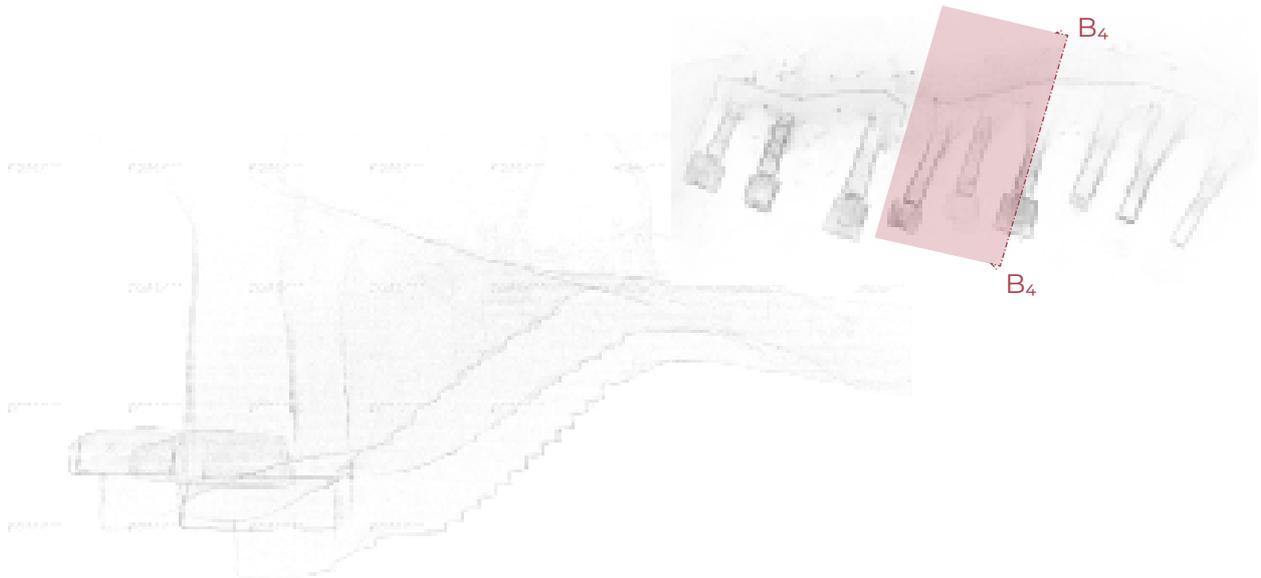
TOMBA 4, restituzione bidimensionale a partire dalla nuvola di punti realizzata con lo strumento ZEB, scala 1:100.

----	Dato non rilevato
- - -	Profilo ipotizzato
■	Terreno
▼	Quota altimetrica
$\overline{\overline{\overline{^n}}}$	Quota longimetrica

Sezione B₃B₃



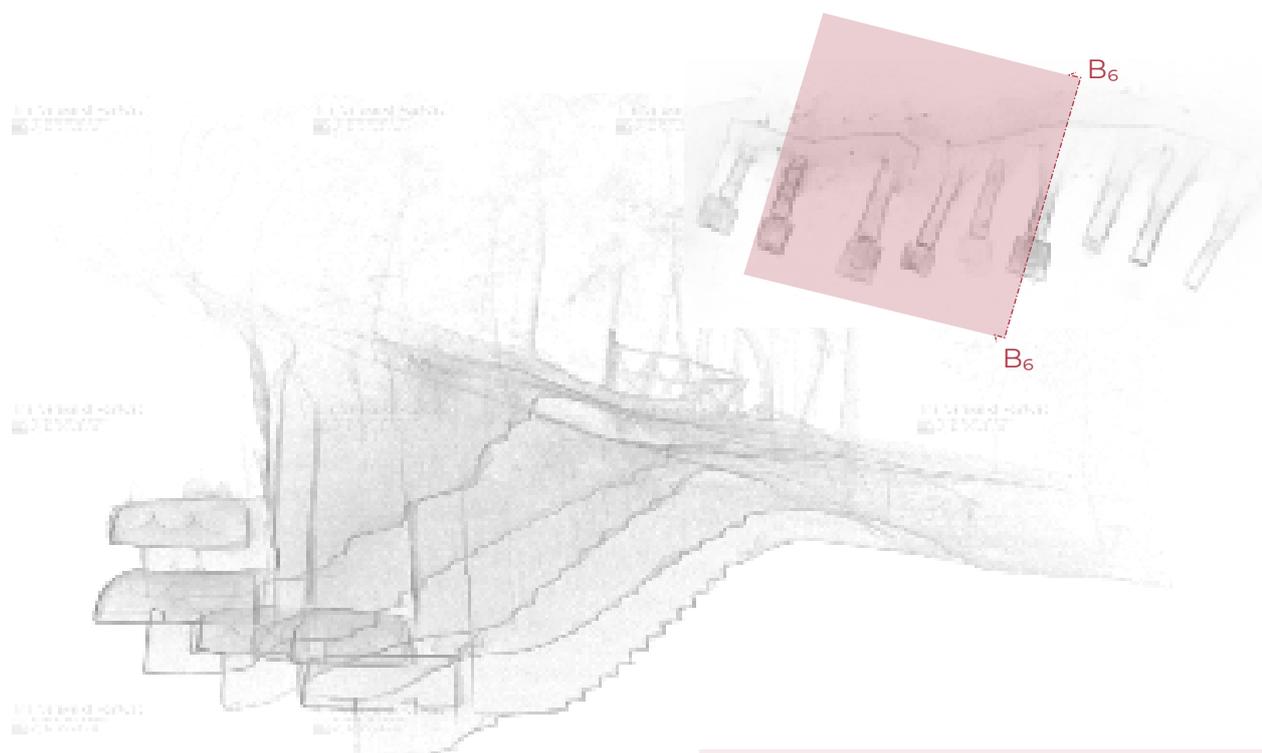
Sezione B₄B₄



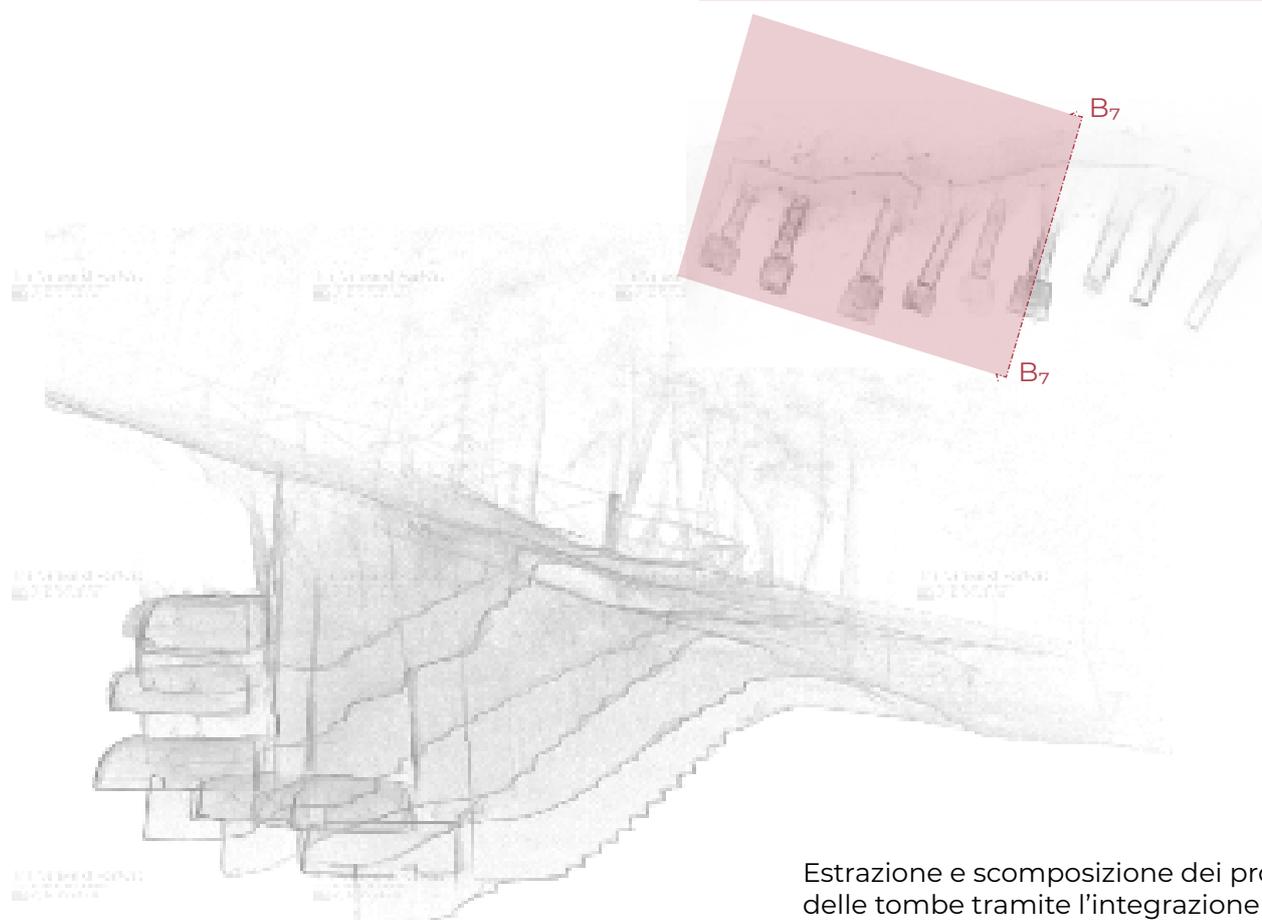
Sezione B₅B₅



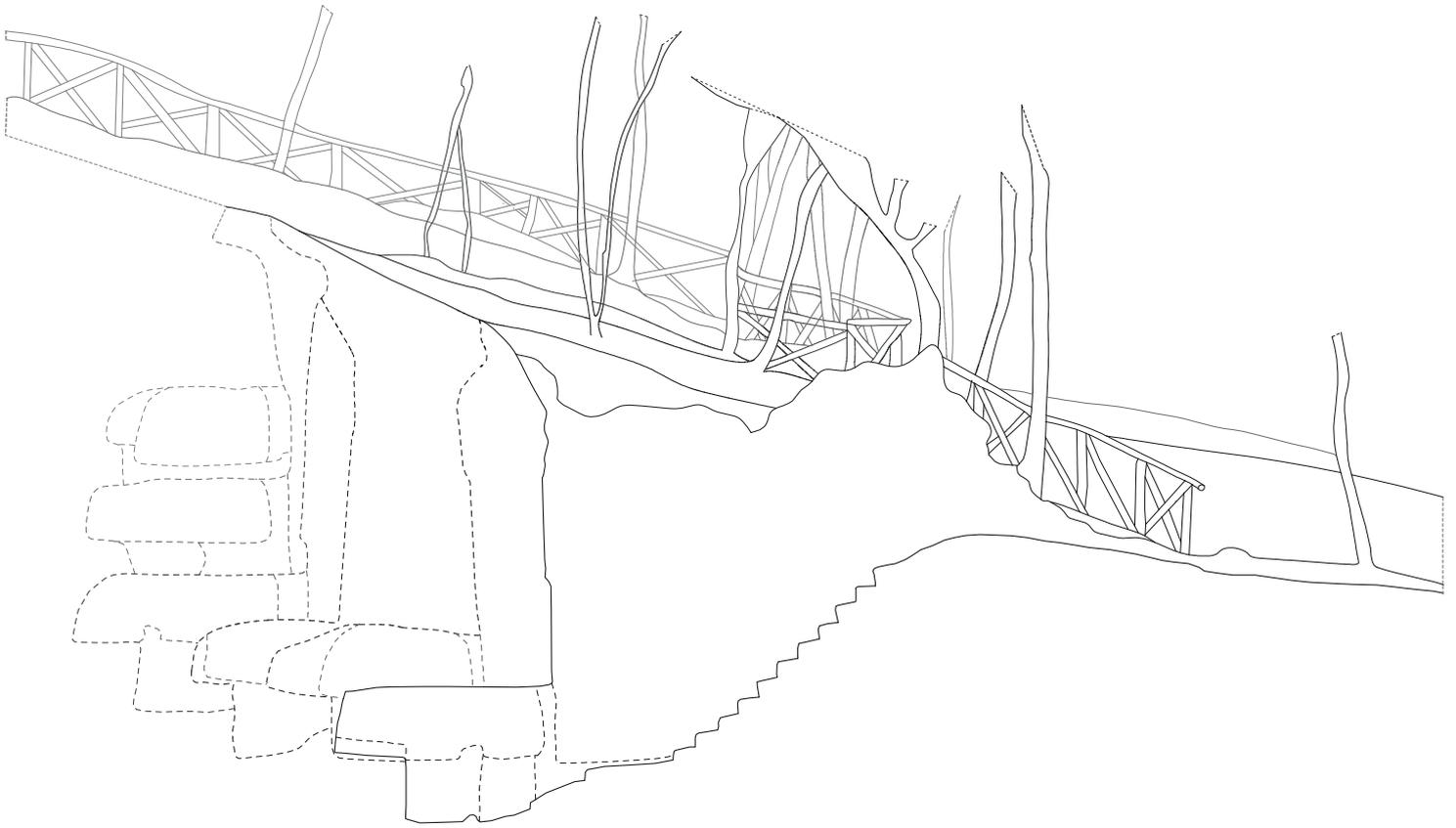
Sezione B₆B₆



Sezione B₇B₇



Estrazione e scomposizione dei profili delle tombe tramite l'integrazione di diverse sezioni parallele alla principale, posta in corrispondenza della tomba 4, per la conoscenza del rapporto spaziale tra i diversi elementi rilevati.

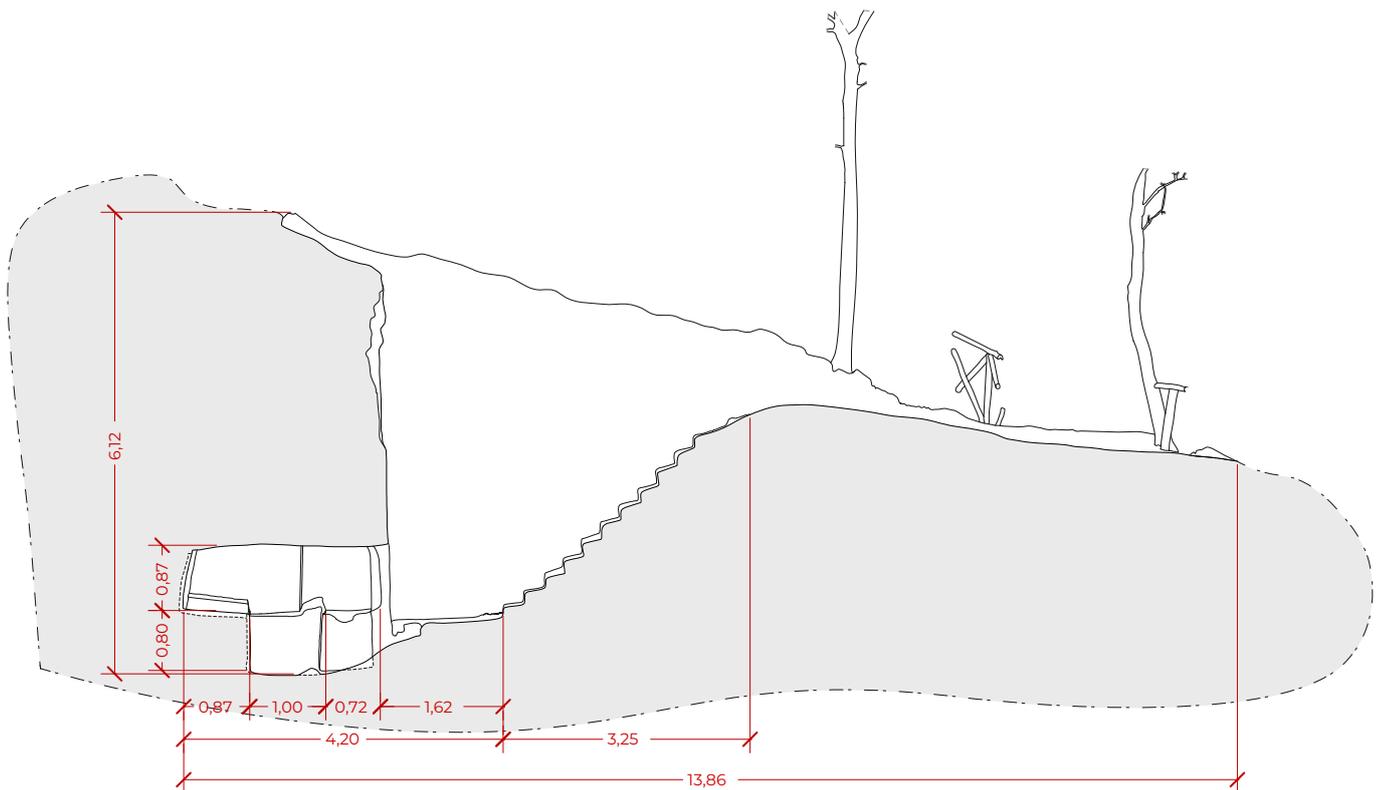
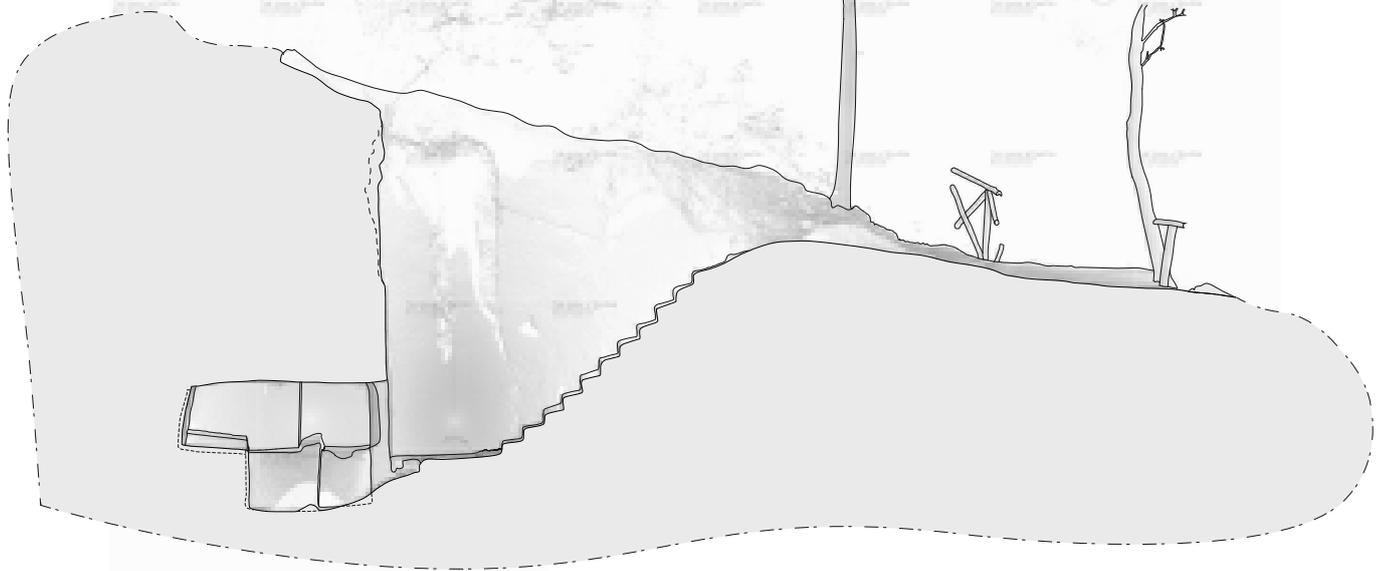


TOMBA 4 in relazione con le altre tombe ipogee a camera, restituzione bidimensionale a partire dalla nuvola di punti realizzata con lo strumento ZEB, scala 1:100.

SEZIONE BB

Scala 1:100

- Dato non rilevato
- - - Profilo ipotizzato
- Terreno
- ▼ Quota altimetrica
- ↗ Quota longimetrica



Confronto modelli

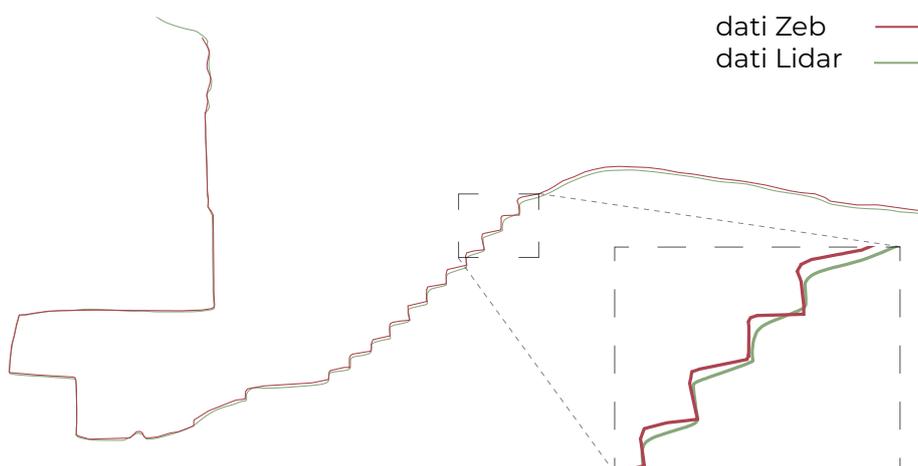
Le indagini sulla Tomba 4 sono state effettuate sia con il laser scanner che con il mapping mobile Zeb_Revo, con l'obiettivo di analizzare le due diverse restituzioni sia in campo bidimensionale che tridimensionale.

Le sezioni sono state eseguite con le medesime coordinate X, Y e Z in un sistema di riferimento troncato, in questo modo è possibile confrontare i modelli.

X		2675,48 m	2679,514 m
Y		862,464 m	876,672 m
Z		0 m	220 m
Ritaglio		0,091 m	0,123
Angolo		74,177°	

Coordinate della sezione BB, utilizzare sul software PointCab 3.6.

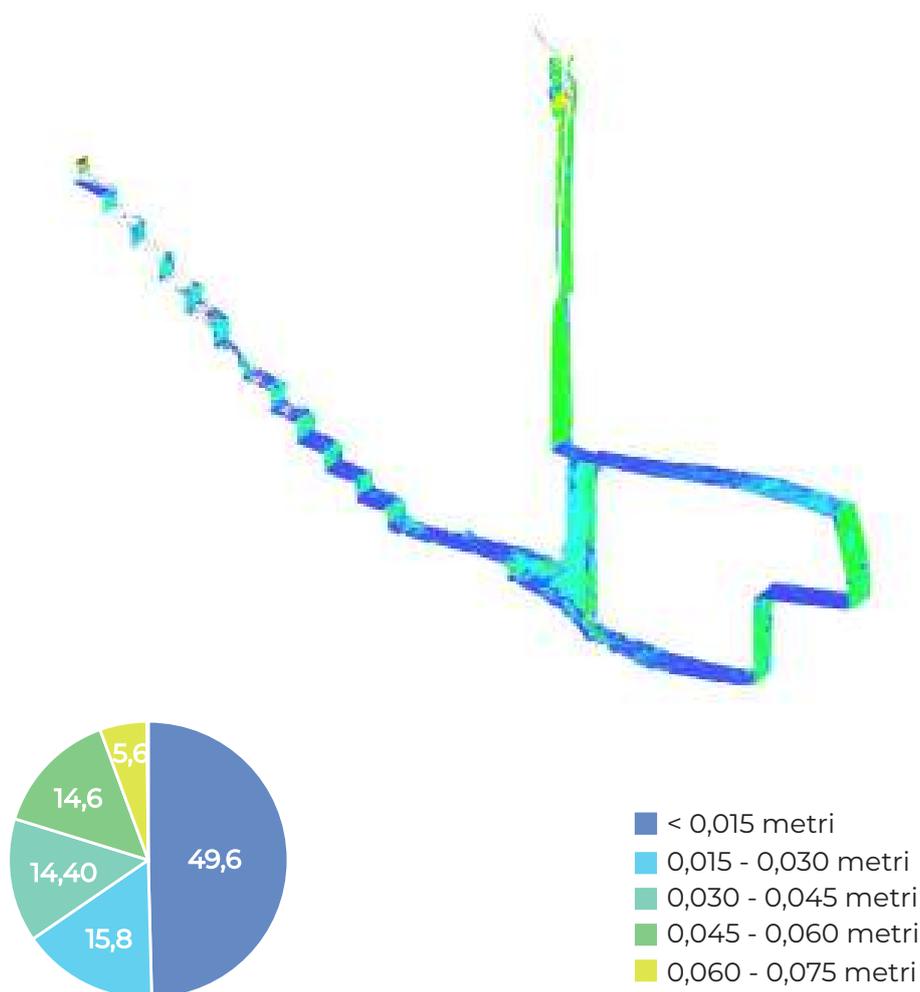
Il modello bidimensionale non è da considerarsi attendibile al 100%, poiché può contenere degli errori di vettorializzazione da parte dell'operatore, mentre per ottenere un confronto veritiero è necessario svolgere questo tipo di analisi direttamente sulla nuvola di punti. In seguito verranno mostrati entrambi i risultati ottenuti. L'immagine, che segue, mostra il tratto rosso, ossia la sezione dello Zeb, rialzata di pochi centimetri rispetto al dato derivante dal laser scanner, scelto come *ground truth* in quanto nominalmente più preciso. Il distacco è quantificato in pochi centimetri, giustificabile dall'accuratezza relativa dello strumento mobile. Lo strumento Zeb dunque arriva a rilevare l'oggetto con informazioni e precisioni molto simili al metodo Lidar, con il vantaggio di impiegarci meno tempo.



Sezione BB della Tomba 4, sovrapposizione dati laser scanner e laser mobile.

Per ottenere dei dati quantitativi veritieri e il più possibile affidabili lungo tutta la sezione in esame, si è utilizzato il software 3DReshaper, attraverso l'uso del comando "confronta e ispeziona". In primo momento dal confronto delle due sezioni vettorializzate manualmente, si è riscontrato che per il 66% la distanza tra i due tratti è inferiore agli 0,023 metri. Un risultato eccellente, se si considerano i vari errori che si sono propagati durante i processi eseguiti: dall'allineamento dei dati Zeb, alla vettorializzazione su Autocad.

Il secondo confronto è stato eseguito direttamente su un tratto della nuvola, proprio per limitare gli errori provenienti dalla "mano". In questo caso la distribuzione degli errori è risultata con il 65,5% dei punti lontani meno di 3 centimetri tra le due porzioni di nuvole. L'immagine seguente mostra la proiezione dei dati Lidar sulla nuvola prodotta con lo strumento Zeb. Una delle prime caratteristiche che emergono è lo scostamento lungo gli elementi verticali, piuttosto che quelli orizzontali, in particolar modo in corrispondenza delle alzate dalla scalinata in pietra.



CAVA DELLE GROTTE

- Pianta_sezione longitudinale AA'

Lidar

- Prospetto_sezione trasversale BB'

Fotogrammetria

- Sezione trasversale CC'

Zeb

Scala di rappresentazione 1:100



5.1.2 Cava delle Grotte

La Cava delle Grotte può essere considerato il cuore della grande Necropoli delle Grotte, la più estesa tra le necropoli di età ellenistica presenti a Populonia tra il IV e gli inizi del III secolo a.C.

Andrea SEMPLICI, Parco Archeologico di Baratti e Populonia, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino, pag. 87.

Il principale protagonista dell'area è la grande parete di roccia scolpita dai cavatori nel VII e VI secolo a.C., si mostra al visitatore del Parco come un "castelletto fortificato con mura dai riflessi ambrati", per usare le parole di Andrea Semplici. Essa si trova immersa nel bosco ed è l'unica porzione della necropoli non sovrastata completamente da una fitta vegetazione. Data la facilità di intaglio nella panchina, nei secoli che non venne più utilizzata come cava, il mondo etrusco, ormai agli sgoccioli, realizzò al suo interno delle camere sepolcrali. L'area fu oggetto di scavo già a partire dal 1979, ma i primi risultati concreti e gli studi più approfonditi fanno riferimento alla campagna di scavo del 1997-1998.

Come raccontato nel capitolo precedente, la porzione della necropoli è stata interessata dall'utilizzo di diversi strumenti per il rilievo. L'obiettivo principale è quello di raggiungere un modello bidimensionale e tridimensionale completo ed esaustivo attraverso l'utilizzo di diversi metodi avanzati per il rilievo.



Nuvola di punti della cava delle Grotte, ottenuta tramite l'integrazione della fotogrammetria terrestre e quella aerea da drone.

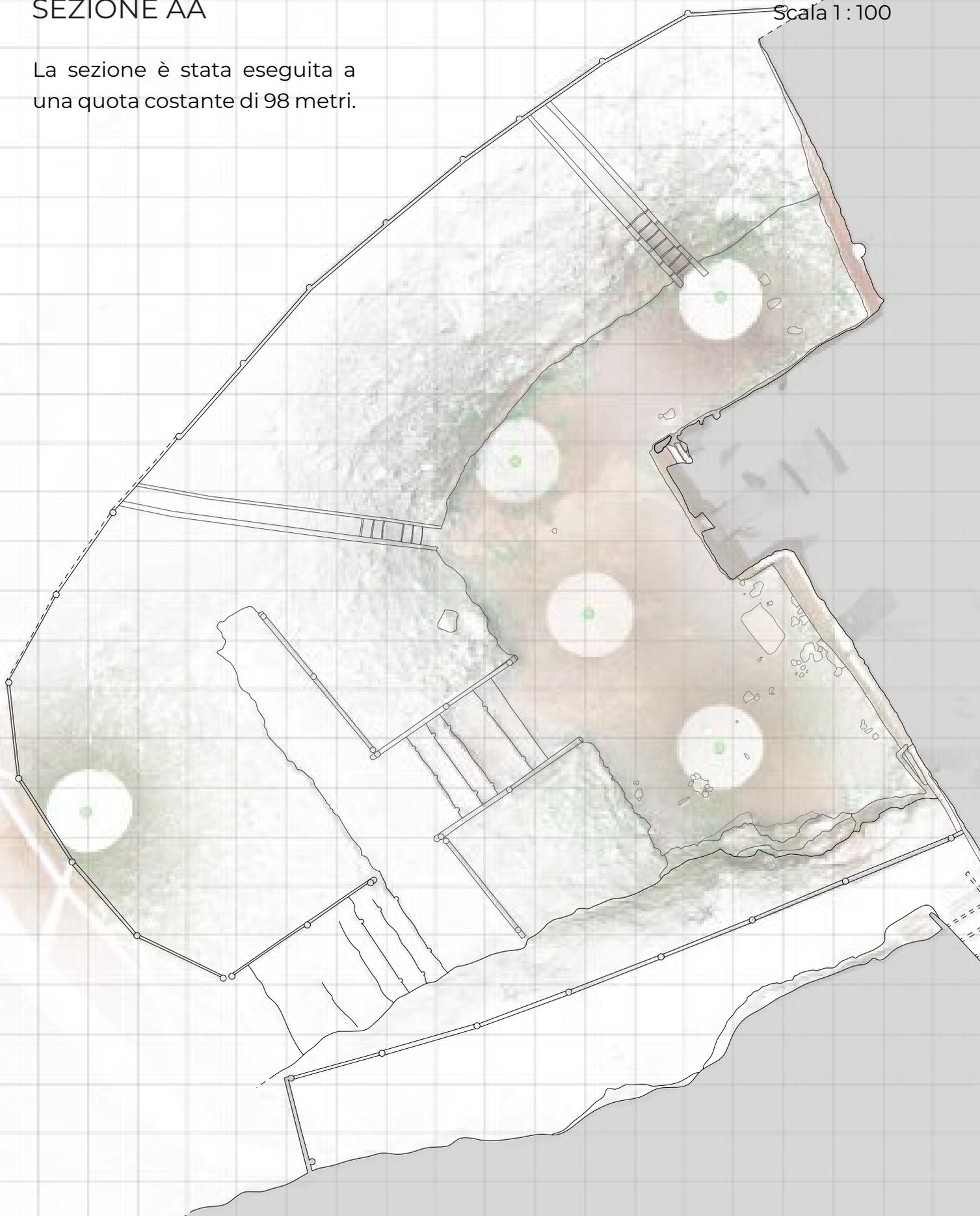
Cava delle Grotte

Rilievo dati scanner laser

SEZIONE AA

Scala 1:100

La sezione è stata eseguita a una quota costante di 98 metri.



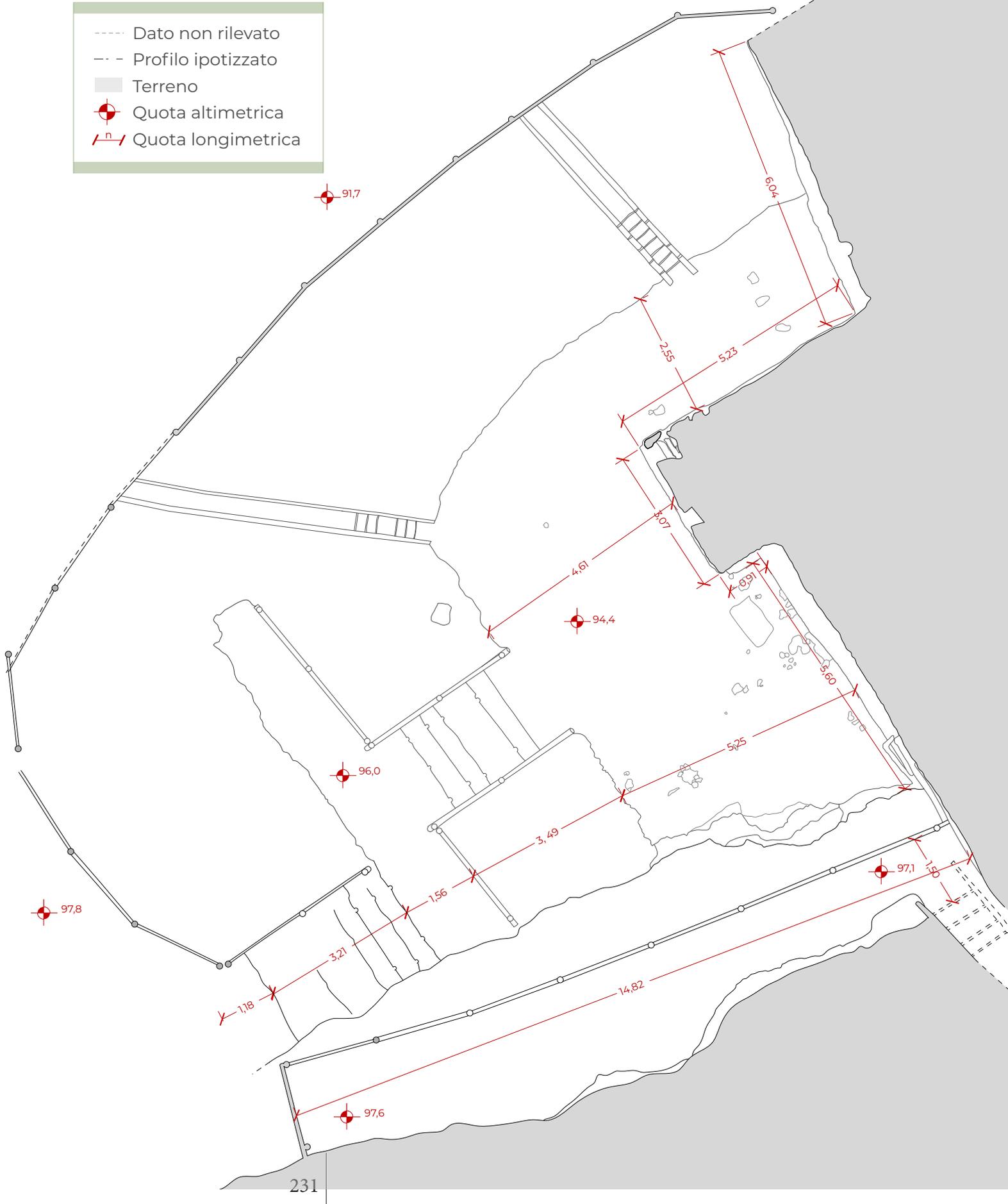
Cava delle Grotte

Rilievo dati scanner laser

SEZIONE AA

Scala 1:100

- Dato non rilevato
- - - Profilo ipotizzato
- Terreno
- ⊕ Quota altimetrica
- ↔ Quota longimetrica



231

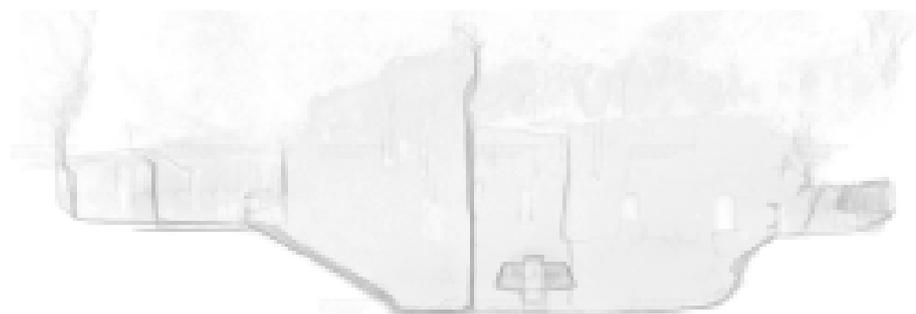
Cava delle Grotte

SEZIONE BB

E' possibile visionare il prospetto della Cava delle Grotte tramite i dati del Laser portatile, del laser e della fotogrammetria aerea integrata a quella terrestre, come mostrano le orto-immagini ricavate dalle corrispettive nuvole di punti. Il disegno della pagina accanto, invece, mostra il modello bidimensionale completo della facciata, con la visione dell'immagine ottenuta tramite la nuvola fotogrammetrica.



Prospetto dati fotogrammetrici terrestri e da drone.



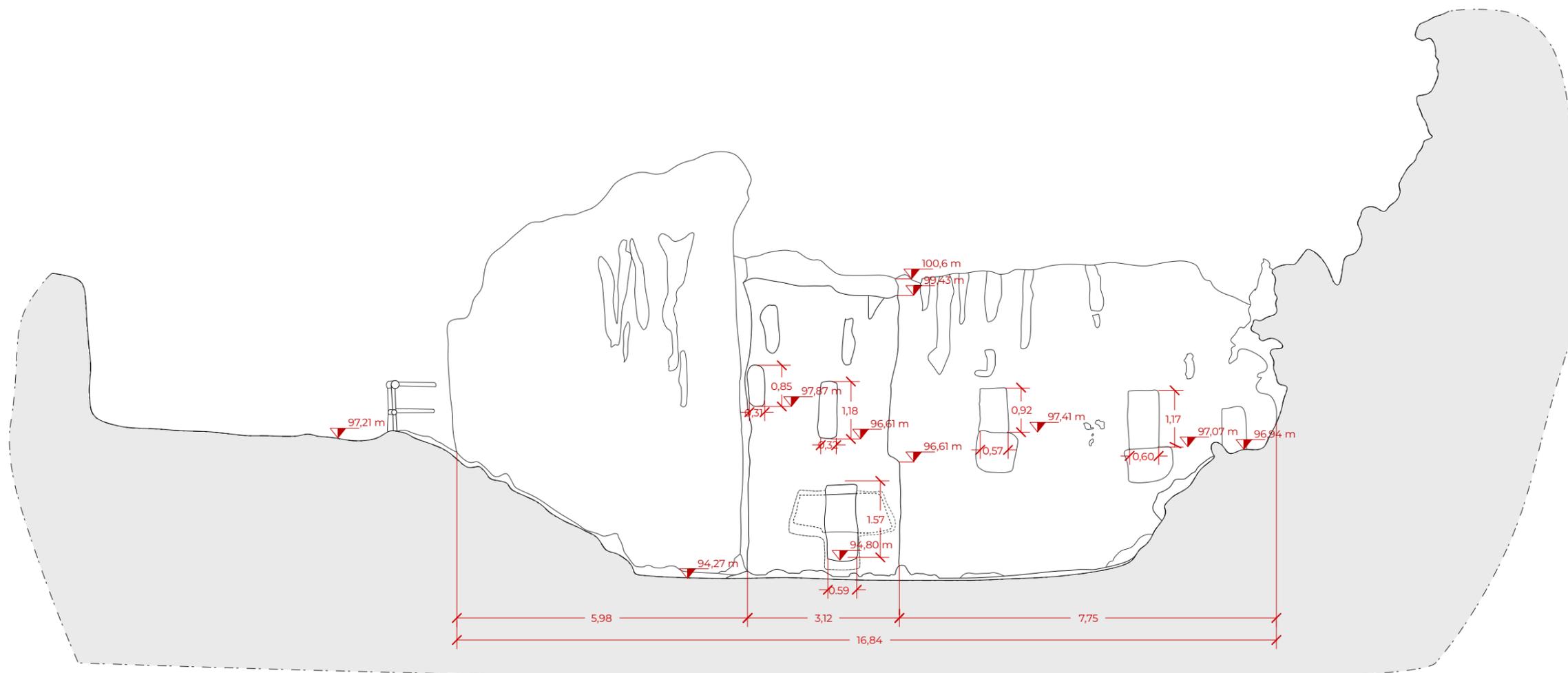
Prospetto dati laser mobile



Prospetto dati laser scanner e posizione delle scansioni utilizzate.

Rilievo dati fotogrammetria
terrestre e da drone

Scala 1:100

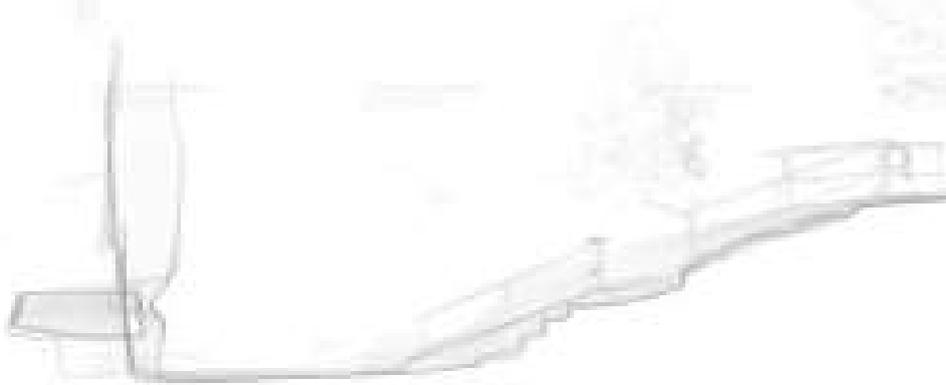


Cava delle Grotte

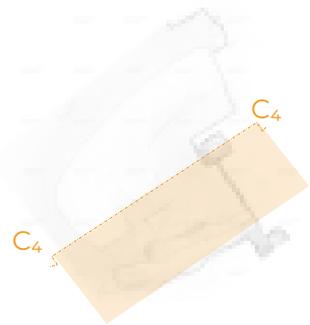
SEZIONE CC



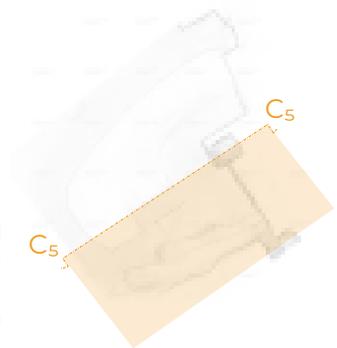
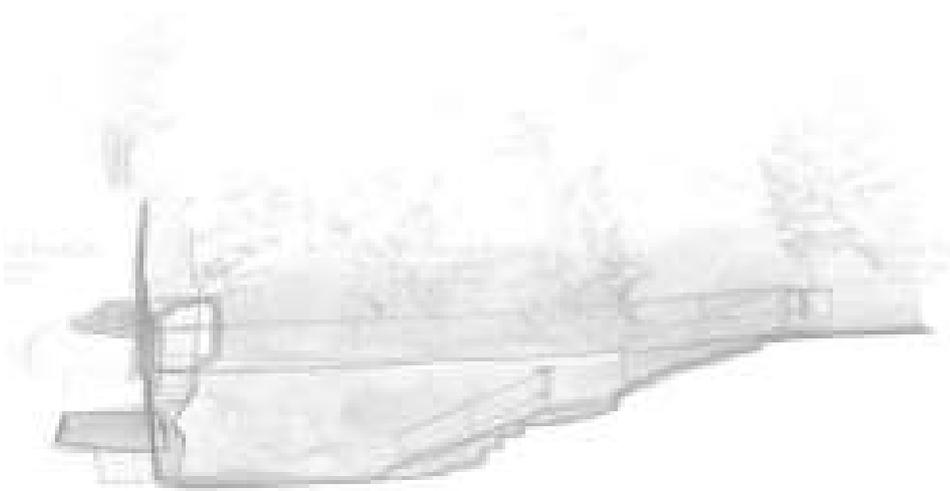
Sezione C₃C₃



Sezione C₄C₄

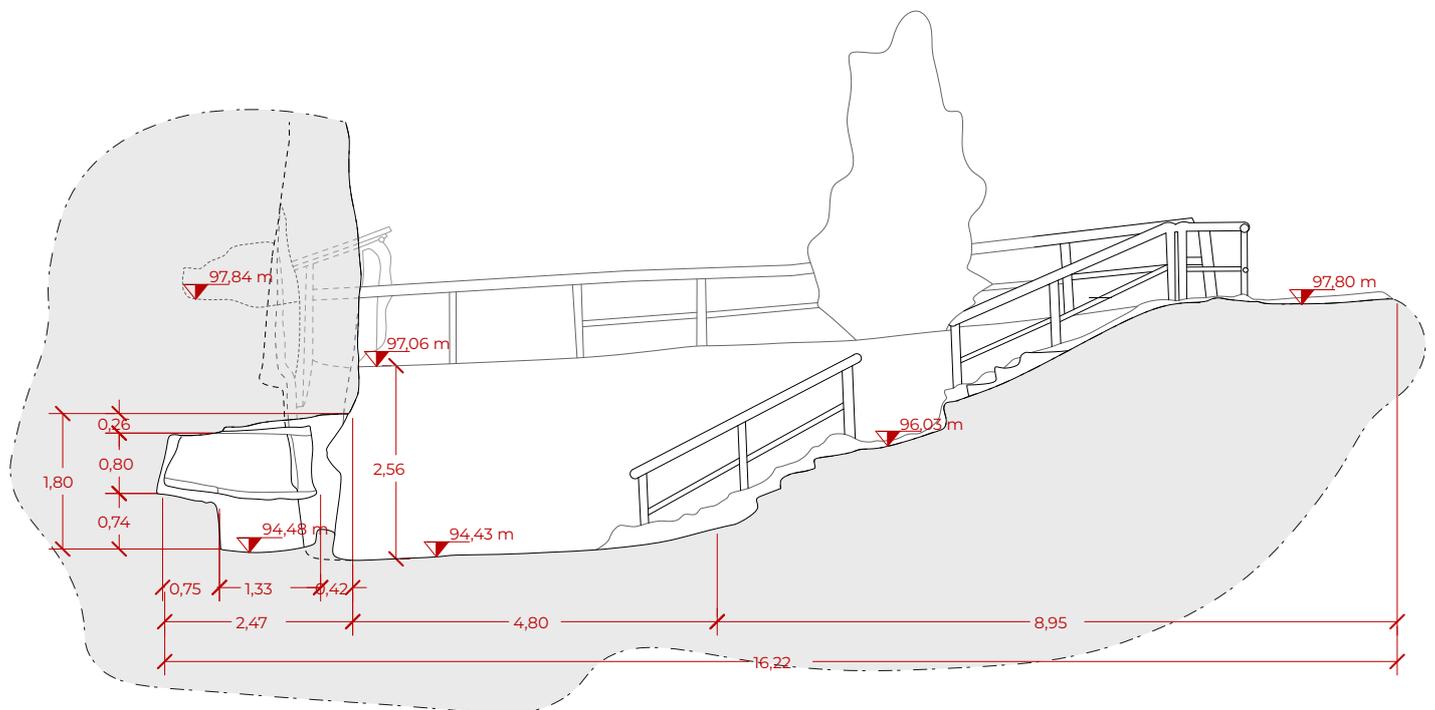
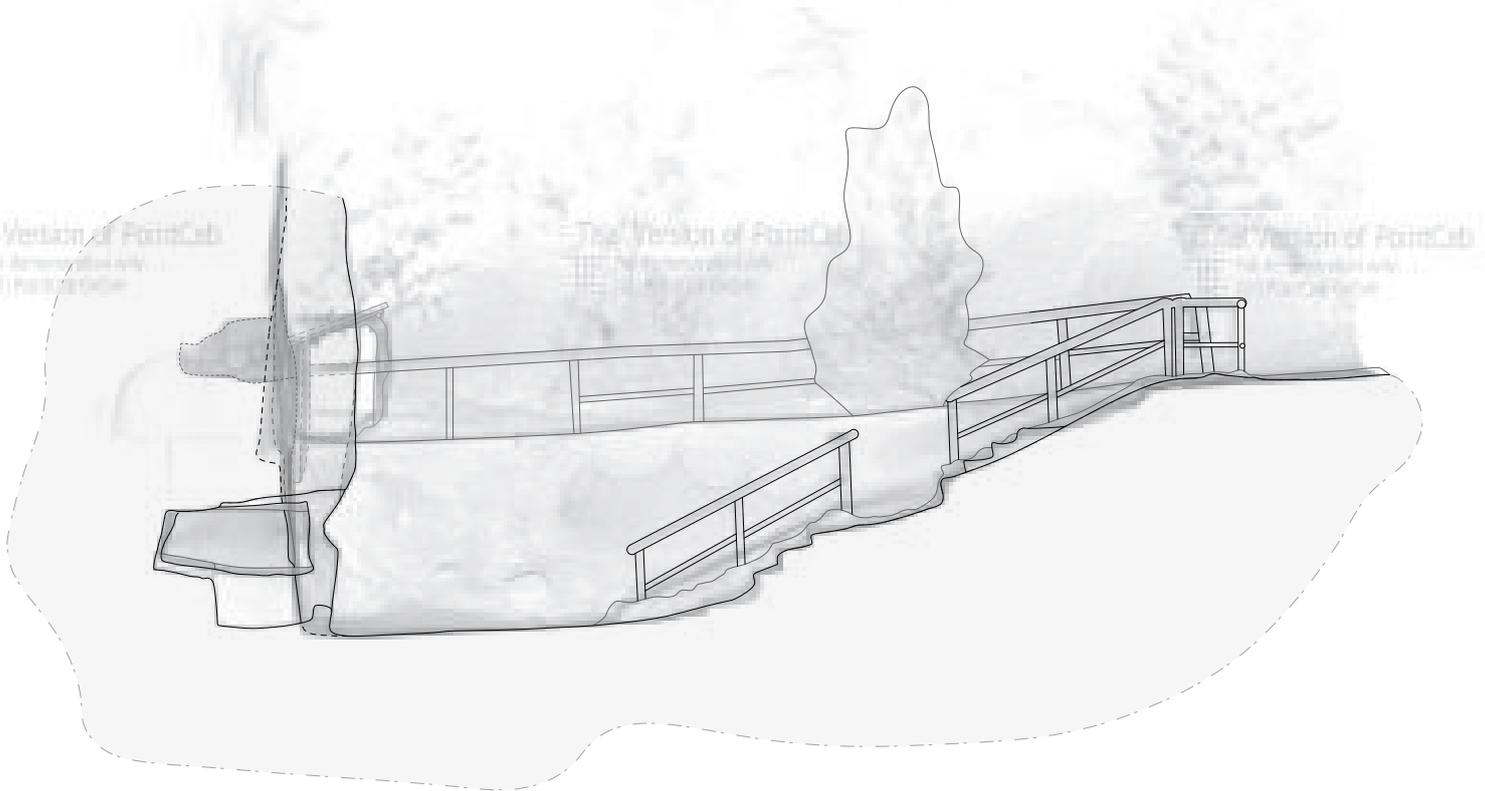


Sezione C₅C₅



SEZIONE CC

Scala 1:100



---	Profilo ipotizzato
■	Terreno
▼	Quota altimetrica
— ⁿ —	Quota longimetrica

Estrazione modelli tridimensionali



Per la modellazione tridimensionale si è utilizzato il software 3DReshaper. In seguito verranno narrati i processi realizzati per ottenere il modello complessivo della Cava delle Grotte, generato dall'integrazione dei diversi metodi di rilievo applicati all'interno della Necropoli delle Grotte, quali la tecnologia del laser scanner, del laser portatile e della fotogrammetria terrestre e aerea da drone.



Ritaglio nuvola laser scanner.



Nuvola laser portatile.



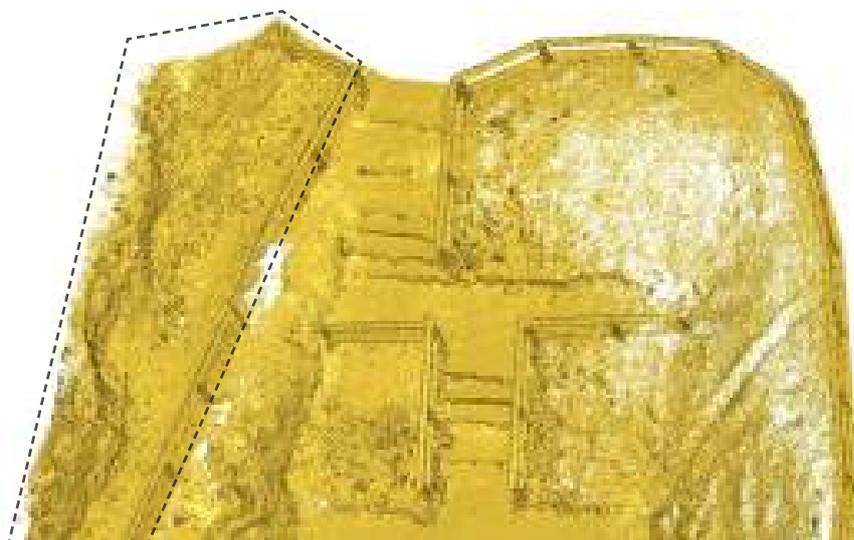
Nuvola fotogrammetria terrestre e aerea, generata con 131 immagini.

Nuvola laser portatile

Dai numerosi dati rilevati con lo strumento Zeb_Revo, per questo tipo di modello si è scelto di utilizzare le porzione della nuvola di punti in corrispondenza della Tomba 14 e una porzione di terreno presente a sud-est rispetto alla facciata della cava, quest'ultimo per poter integrare al meglio l'oggetto della cava con il paesaggio. Vengono riportati i ritagli eseguiti, da notare l'abbondanza di dettaglio presente nell'ambiente chiuso della tomba, proprio per la caratteristica principale dello strumento e l'ottima funzionalità in ambienti ben circoscritti. La nuvola di punti, riportata, è composta da 656.323 punti.



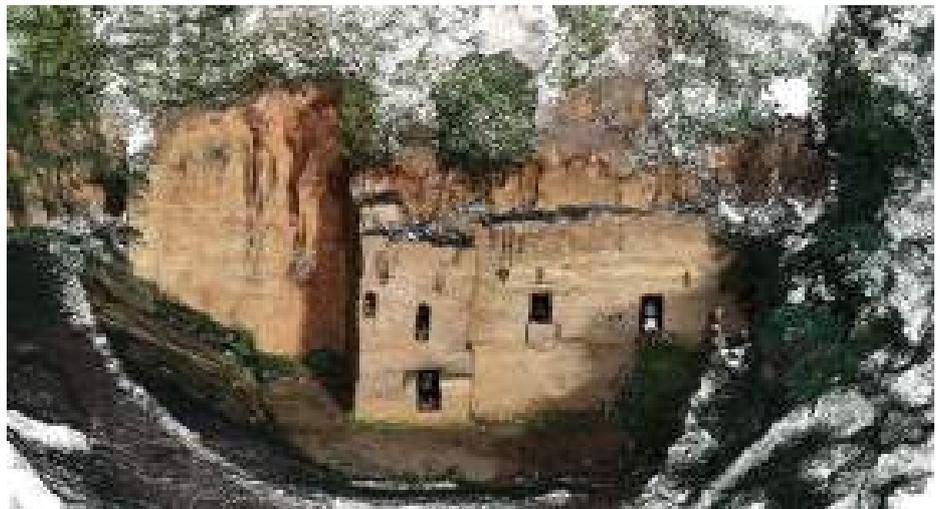
Nuvola di punti della tomba 4, cava delle Grotte.



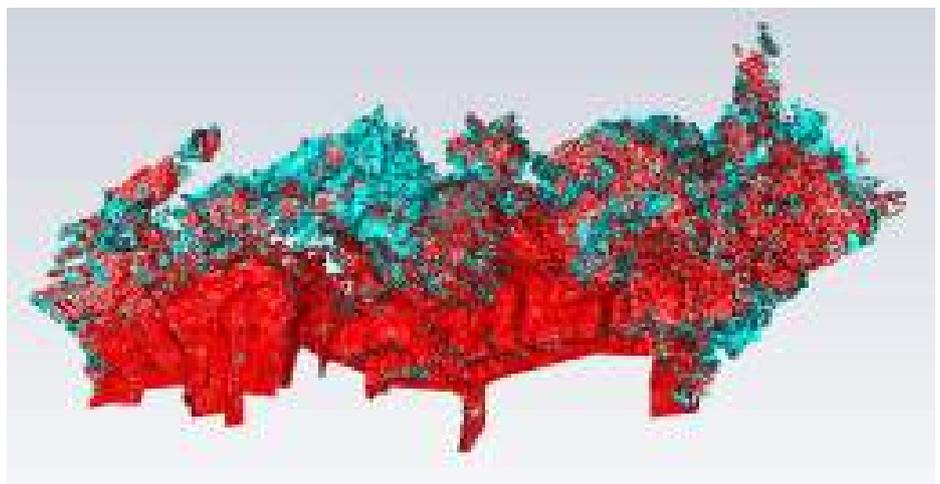
Nuvola di punti laser portatile, contesto area evidenziata.

Nuvola fotogrammetrica

Come si può evincere dalla nuvola riportata, i dati fotogrammetrici, da drone integrati a quelli terrestri, permettono di ottenere quelle informazioni poste nella parte sommitale della cava, non rilevabili dagli strumenti laser. Questo “progetto” fotogrammetrico sviluppato attraverso il software Agisoft Photoscan ha permesso non solo la creazione di questa nuvola di punti, ma anche la possibilità di utilizzare un set di immagini georeferenziate per una successiva colorazione nel modello ottenuto. Le difficoltà riscontrate maggiormente sono dovute, per la realizzazione di quest’ultima fase, alle immagini realizzate con la camera digitale e il drone quadricottero in due momenti differenti della giornata, generando così colori e ombre assai fastidiose da rimuovere con la post produzione. Per la realizzazione del modello si è ritagliata la parte alta della cava, cercando di mantenere però una zona di sovrapposizione con il ritaglio dei dati del laser scanner, per facilitare la successiva connessione tra i dati.



Nuvola di punti
fotogrammetrica della
cava delle Grotte.



Porzione alta della
nuvola fotogrammetrica
utilizzata nella
creazione del modello
tridimensionale.

Nell'ultima versione del software è possibile pulire la nuvola attraverso l'ispezione del colore selezionato, molto utile in situazioni come il contesto del paesaggio attorno alla grande cava, dove oltre al terreno sono presenti numerosi elementi di vegetazione. Questi se lasciati vanno a implementare la rumorosità della nuvola, arrecando successive difficoltà nella gestione della mesh. Le immagini mostrano come si presenta in una vista dall'alto la nuvola complessiva dei dati Lidar prima e dopo la campionatura e la pulitura delle tonalità verdi.



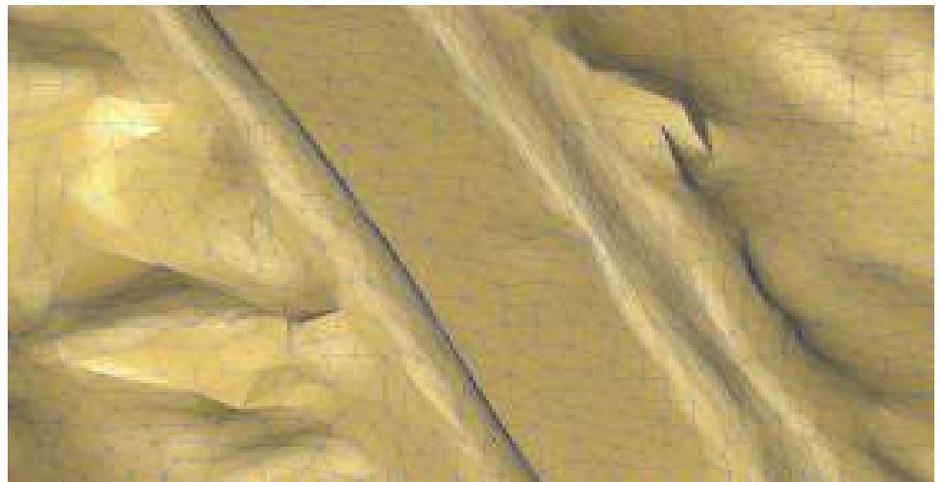
Nuvola Lidar prima della pulitura.



Porzione di nuvola rimossa a seguito del campionamento delle tonalità di colore verde.

Creazione della **Mesh**

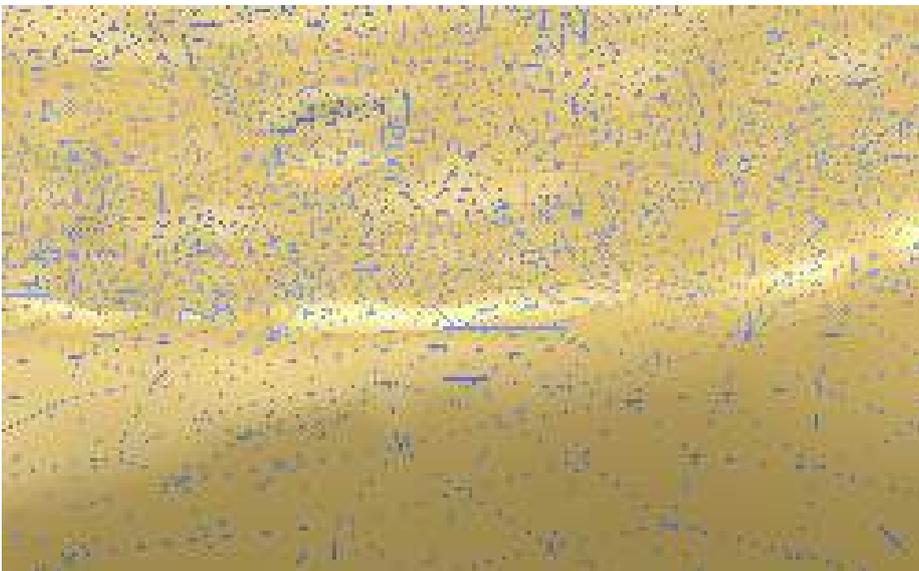
Una mesh poligonale è un reticolo che definisce un oggetto nello spazio, nel nostro caso l'oggetto è spazialmente georiferito, composto da vertici, spigoli e facce. I vertici sono identificati dai punti della nuvola, dotati di coordinate spaziali X, Y e Z, che determinano la posizione, lo spigolo è il segmento di unione di vertici nello spazio e, infine, la faccia a maglia triangolare è definita dalla chiusura con tre spigoli e presenta due lati. Nel campo di cui ci stiamo occupando occorre controllare quale lato della mesh si modella in base all'orientazione, ossia su quale lato della faccia è presente il vettore tridimensionale perpendicolare alla superficie piana in esame, denominato vettore normale. Nelle rappresentazioni, per convenzione del software, si utilizza il colore oro per definire la faccia frontale, mentre per il retro il colore blu. Può succedere che durante la creazione della mesh il programma non sia in grado di riconoscere correttamente questa orientazione, in quel caso si agisce manualmente per l'inversione del lato della faccia.



Modello poligonale e wireframe, porzione del terreno.

A partire dunque dai dati della nuvola di punti si crea una mesh "grezza", il primo campionamento crea una maglia dove la distanza media tra i punti è di 0,05 metri. Successivamente si prelevano i parametri della nuvola e si proiettano sulla mesh creata in due passaggi. Nel primo metodo di generazione della mesh si imposta l'errore di deviazione con i punti migliori a 0,001 ed una distanza dei punti anomali di 0,1. Nel secondo metodo si

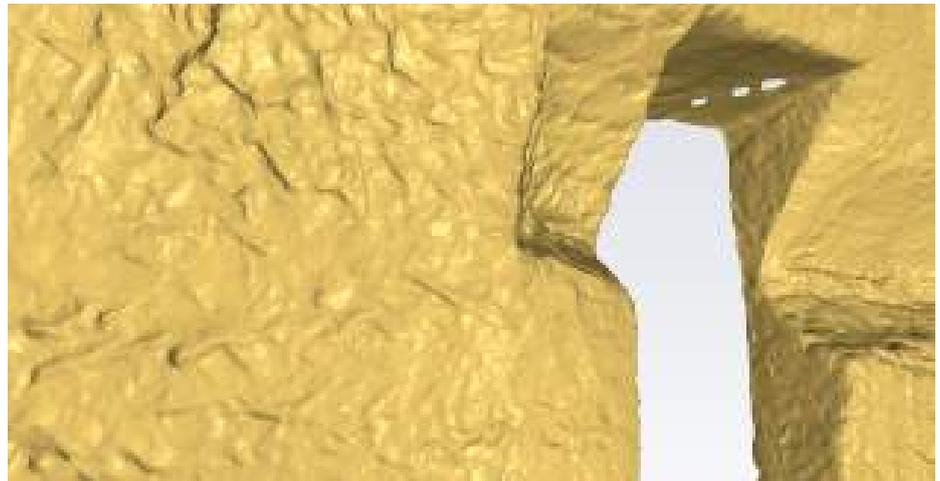
interpolano punti nuovi, dove la raffinazione con un errore di deviazione è pari a 1 millimetro, il numero massimo di triangoli da generare 10.000.000 con triangoli di lato non inferiore a 1 millimetro. Questa operazione, in tutte le nuvole applicate, ha subito un processo abbastanza duraturo nel tempo, come è normale che sia. Come mostra l'immagine seguente, la scelta dei valori è arbitraria, in base al grado di dettaglio che vuole ottenere dalla mesh. In questo caso la trama più fitta è in corrispondenza della facciata, con triangoli non superiori ai 5 centimetri, mentre la porzione del contesto presenta una maglia più ampia.



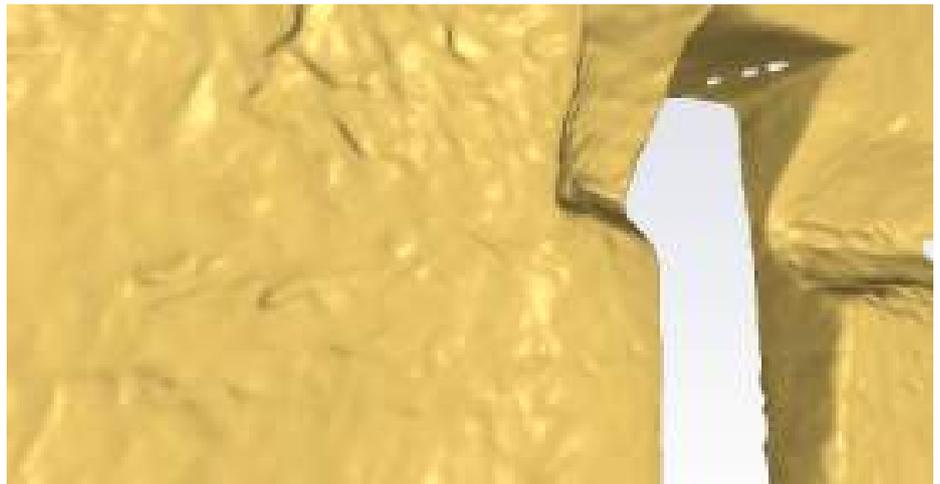
Densità differenti delle due mesh Lidar.

Le operazioni successive da svolgere sulla mesh creata sono quelle di ridurre il rumore, attraverso una levigazione complessiva sul ritaglio o in zone localizzate manualmente, e chiudere eventuali lacune in zone dove non erano sufficienti i dati. In seguito verranno presentati dei cattura schermo delle diverse creazioni delle mesh, dove sono state riscontrate anomalie e difficoltà di realizzazione. In realtà non esiste un vero e proprio manuale da seguire per la creazione di questo tipo di modello tridimensionale si è proceduto per tentativi, alla ricerca di una strategia comune per le diverse zone analizzate. Anche solo i dati riportati precedentemente per la realizzazione delle mesh, riferiti a dati del laser scanner, non sono stati gli stessi parametri utilizzati per la nuvola fotogrammetrica, proprio perchè la natura delle informazioni è assai differente.

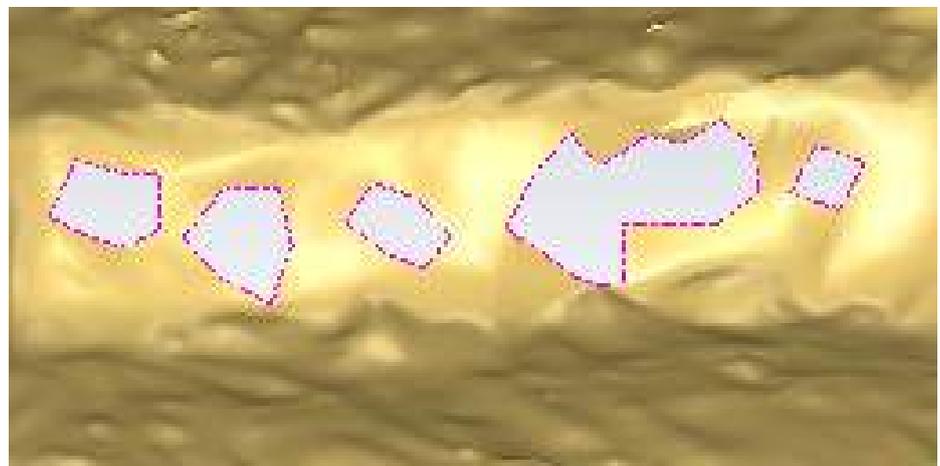
Porzione di facciata
prima del processo
di levigatura.



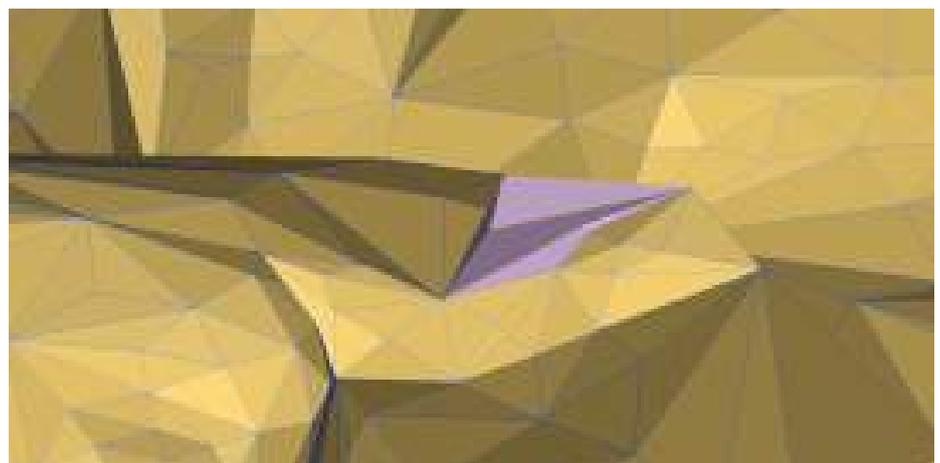
Porzione di facciata
dopo il processo
di levigatura.



Lacune presenti nel
modello poligonale.



Inversione dei triangoli
della mesh in modo
da aver i medesimi
vettori normali.



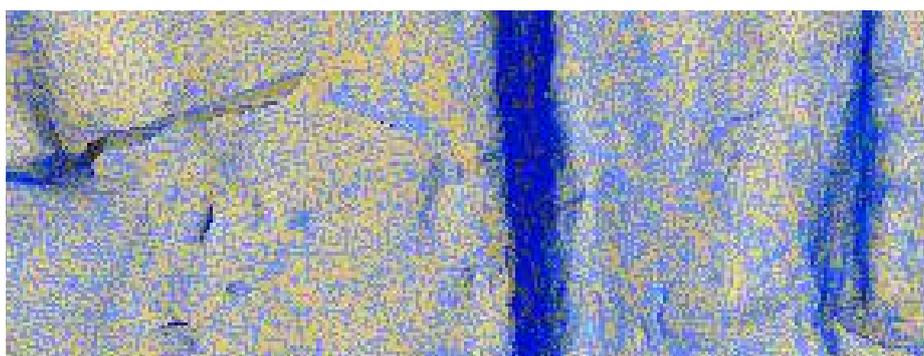
Dopo aver corretto ed editato le diverse mesh, si procede con l'unione delle diverse porzioni in modo tale da ottenere il modello completo. Per poter connettere le mesh occorre far in modo che lungo la linea di bordo non ci siano porzioni in sovrapposizione, in modo da creare *ad hoc* dei ponti di congiunzione tra le parti. Per permettere una corretta esecuzione occorre ritagliare le mesh come mostra l'immagine che segue.



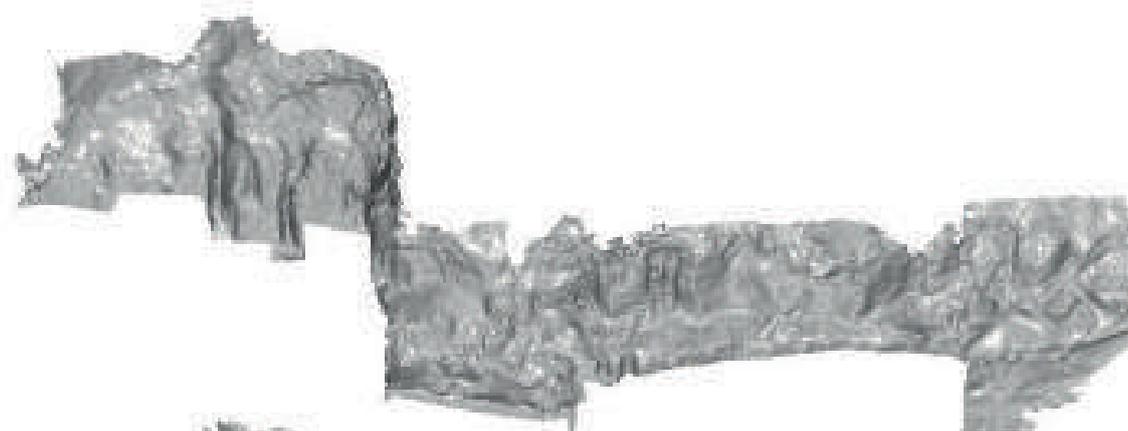
Due modelli poligonali realizzati con i dati del laser scanner.



Preparazione dei due modelli poligonali per la congiunzione, facciata della cava.



Unione tra i due modelli poligonali, parte alza della facciata della cava.



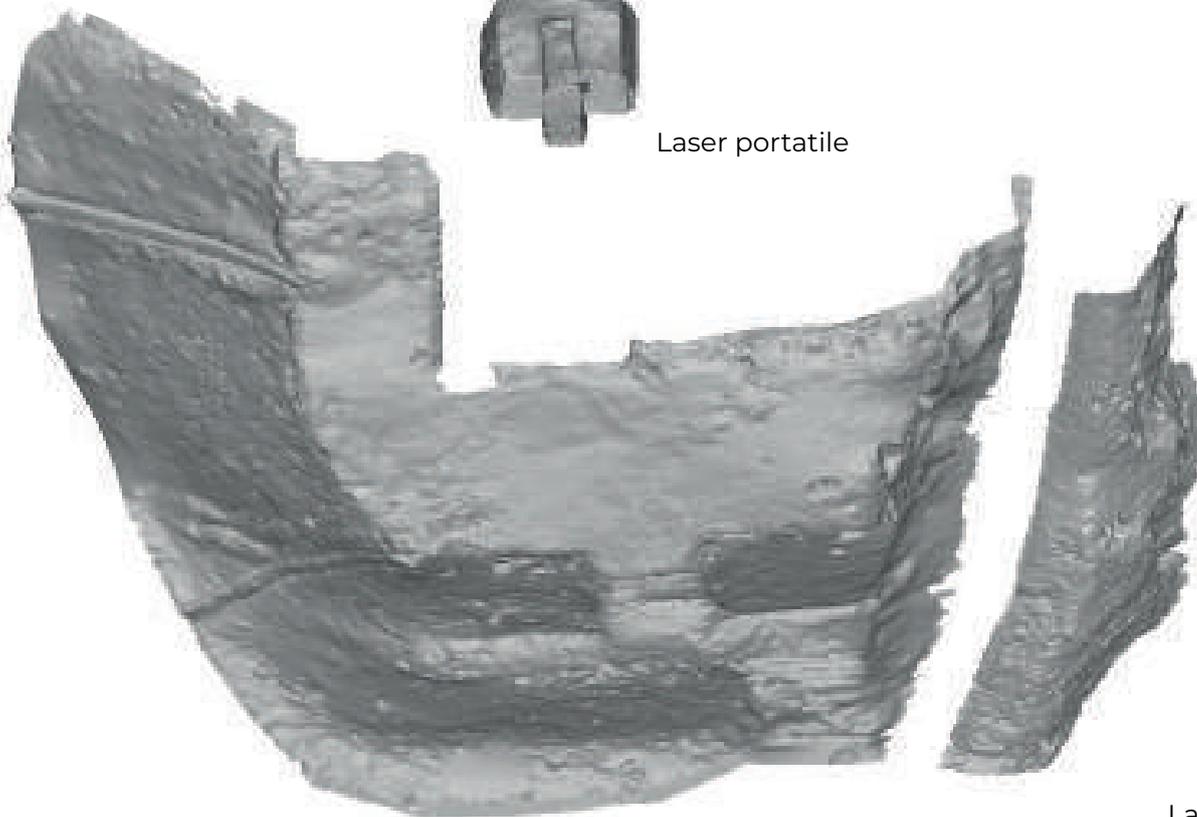
Fotogrammetria



Laser Scanner



Laser portatile

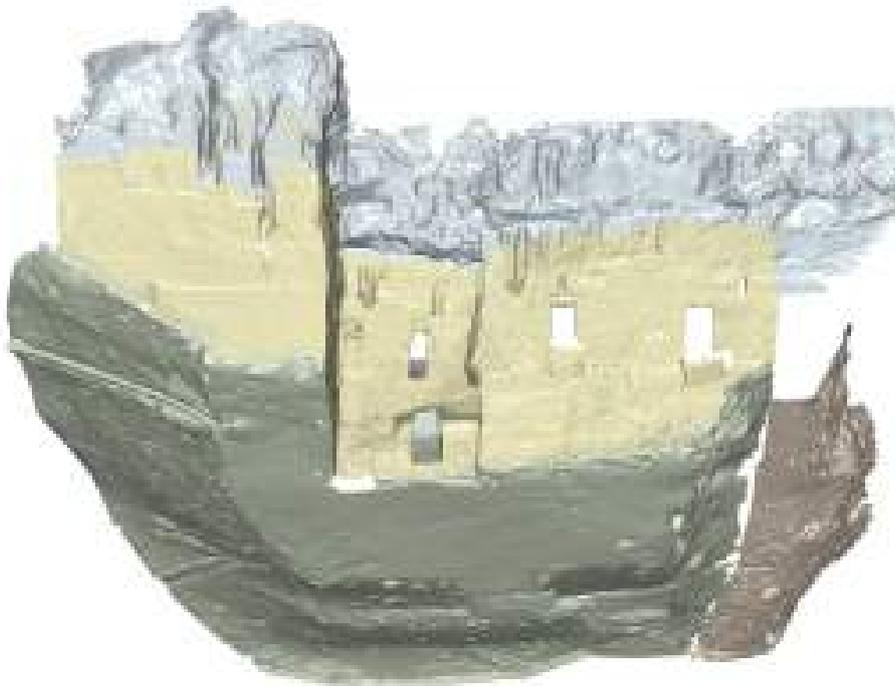


Laser scanner

Esploso del modello poligonale della Cava delle Grotte.



- Laser portatile
- Laser Scanner
- Laser Scanner
- Fotogrammetria
- Laser portatile



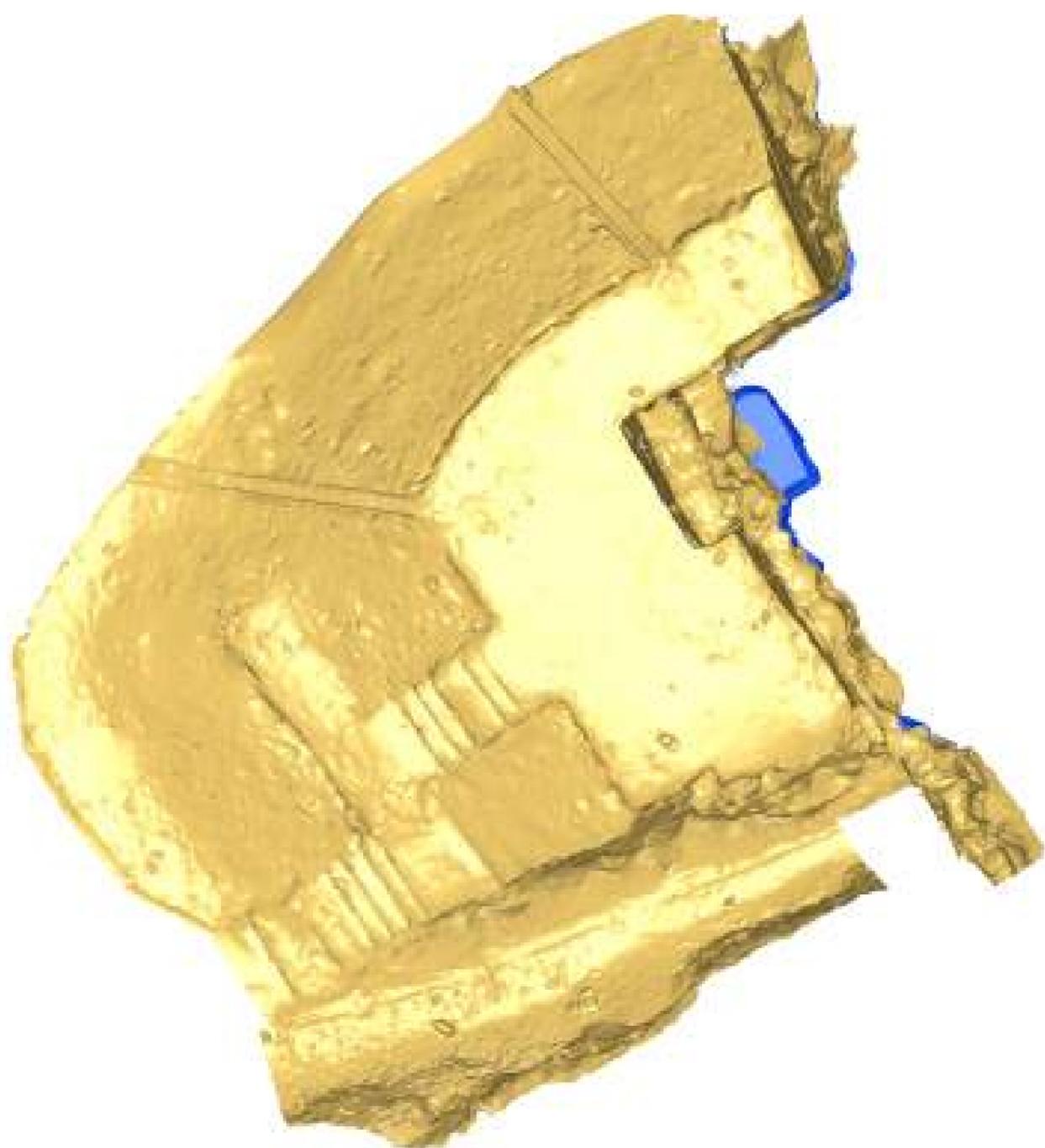
Numero di triangoli ottenuti:

- 245.881
- 1.835.574
- 245.706
- 416.173
- 292.758

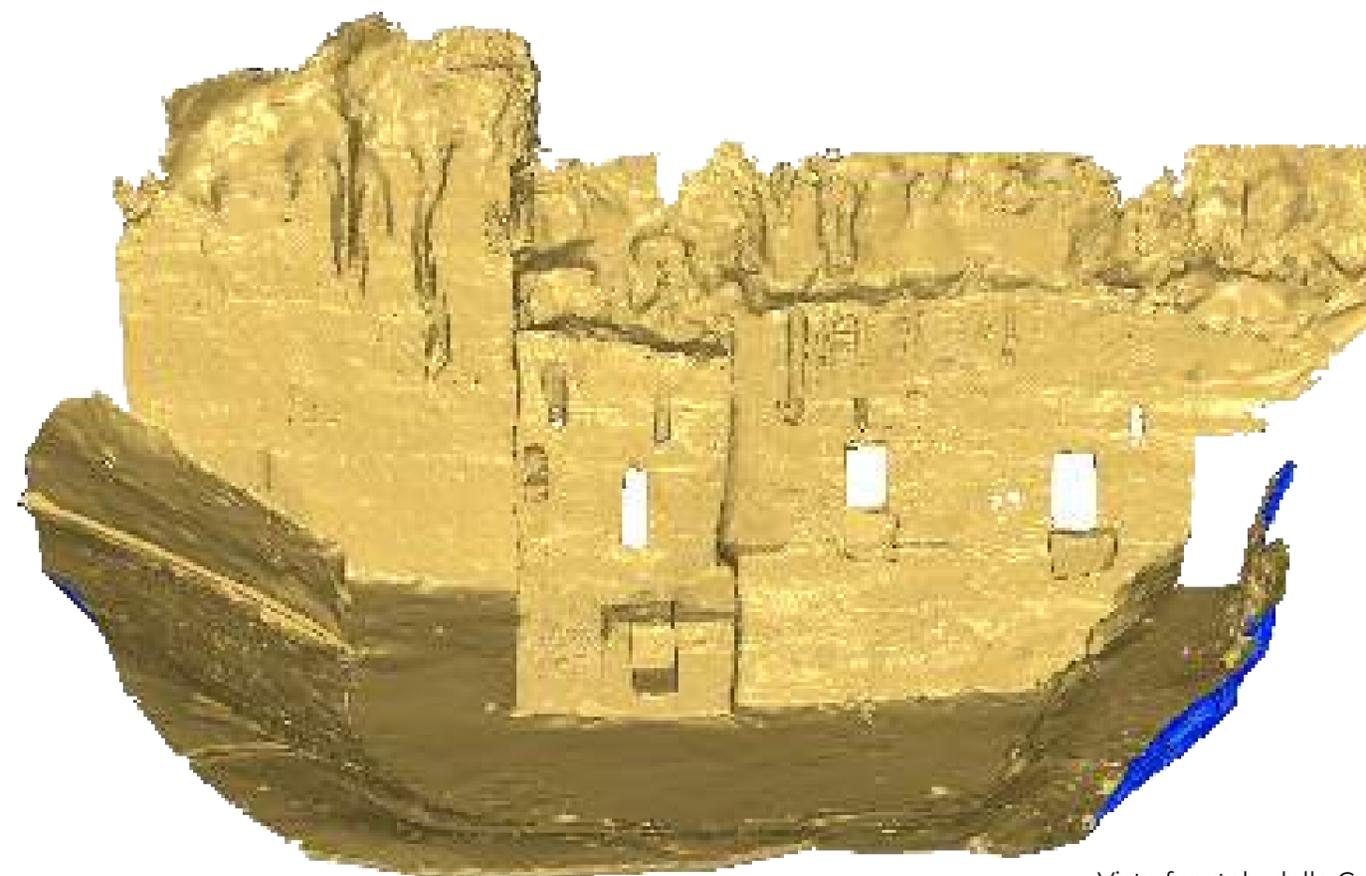
Composizione del modello poligonale della Cava delle Grotte prima dell'unione degli elementi, a partire dalle nuvole di punti ottenuta con i strumenti di rilievo.

CAVA DELLE GROTTE

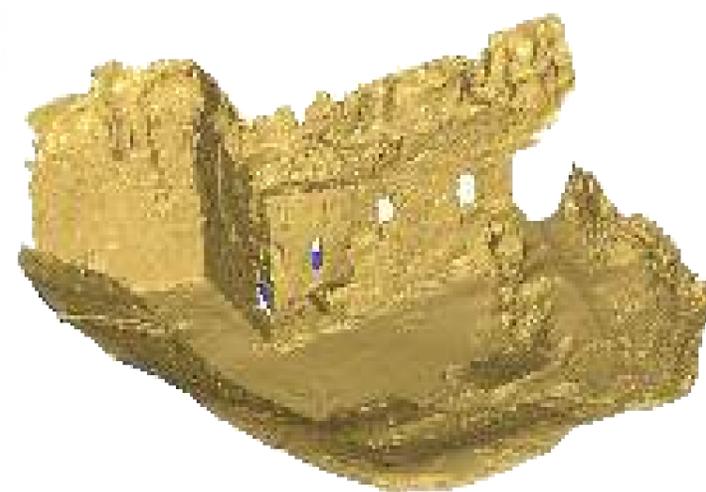
Modello 3d



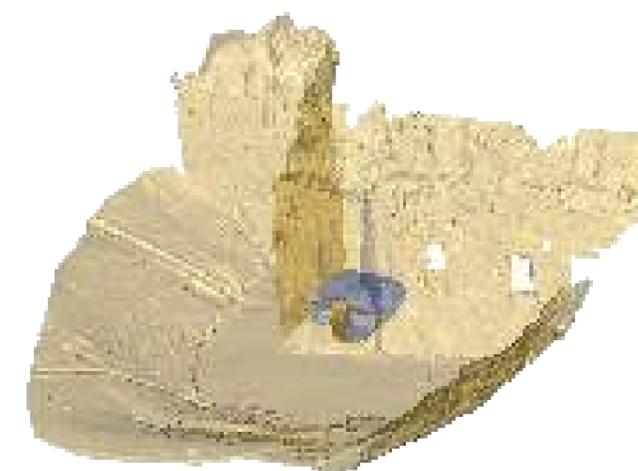
Vista dall'alto della Cava delle Grotte



Vista frontale della Cava delle Grotte



Vista laterale della Cava delle Grotte



Dettaglio della tomba 14

Testurizzazione del Modello

Una volta realizzato il modello complessivo della Cava delle Grotte è possibile texturizzare l'oggetto tridimensionale, associando dei fotogrammi alla mesh tramite il metodo fotogrammetrico.

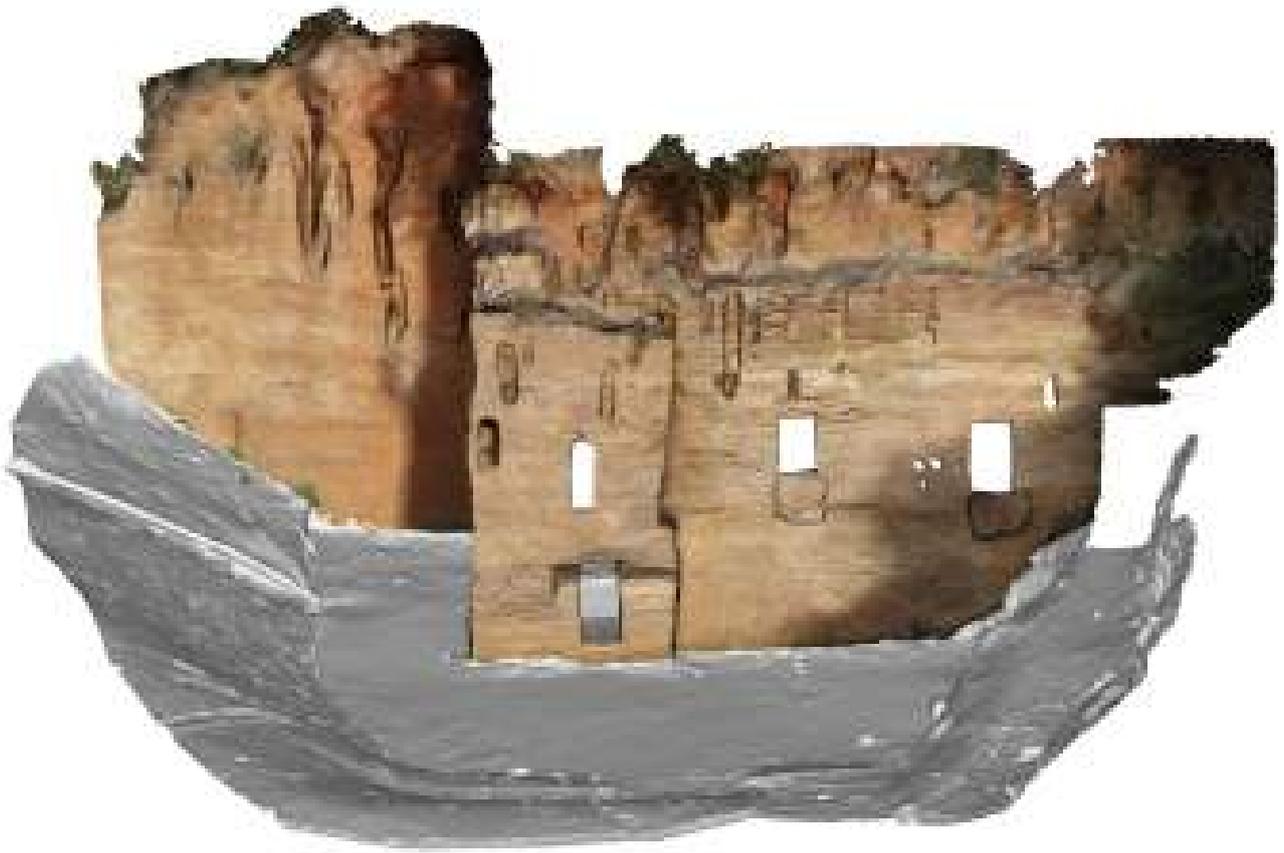
Per ottenerlo è stato creato un progetto fotogrammetrico con l'uso del software Agisoft Photoscan al cui interno sono stati elaborati i fotogrammi realizzati da terra, tramite la Canon EOS 5DS R, e in volo, con il drone DJI Phantom4, com'è riportato più in dettaglio nel capitolo IV, cfr. 4.2.3., data la capacità radiometrica del dato fotogrammetrico, rispetto al maggior dettaglio geometrico proveniente dal rilievo Lidar. I fotogrammi utilizzati e georiferiti nel medesimo sistema di riferimento del modello realizzato, tra l'altro anche con una parte di questa nuvola di punti posizionata nella parte alta del modello poiché i dati scarseggiavano tramite gli altri strumenti, ha permesso di importare il modello 3D in una cartella dove sono posizionati solamente i fotogrammi con il corretto orientamento. L'unico accorgimento per il passaggio e l'esportazione della mesh da 3DReashaper a Photoscan è quello di avere il modello con i vettori normali corretti, le facce della mesh non devono essere invertite per non avere poi problemi di proiezione delle diverse immagini.

Tra tutte le immagini utilizzate per realizzare la nuvola di punti tramite il metodo fotogrammetrico, per la texture alcune sono state "cancellate" per evitare una scorretta cromia sul modello, questo perché le immagini sono state acquisite in momenti diversi della giornata. In totale sono stati utilizzati 98 fotogrammi per ottenere la texture sul modello complessivo, come riportano le immagini che seguono nella pagina accanto.

Si è scelto di mantenere il modello colorato solo in corrispondenza della facciata della cava, la vera protagonista della Necropoli delle Grotte.

Numero di Triangoli MESH	2.619.207
Numero di Fotogrammi TEXTURE	98

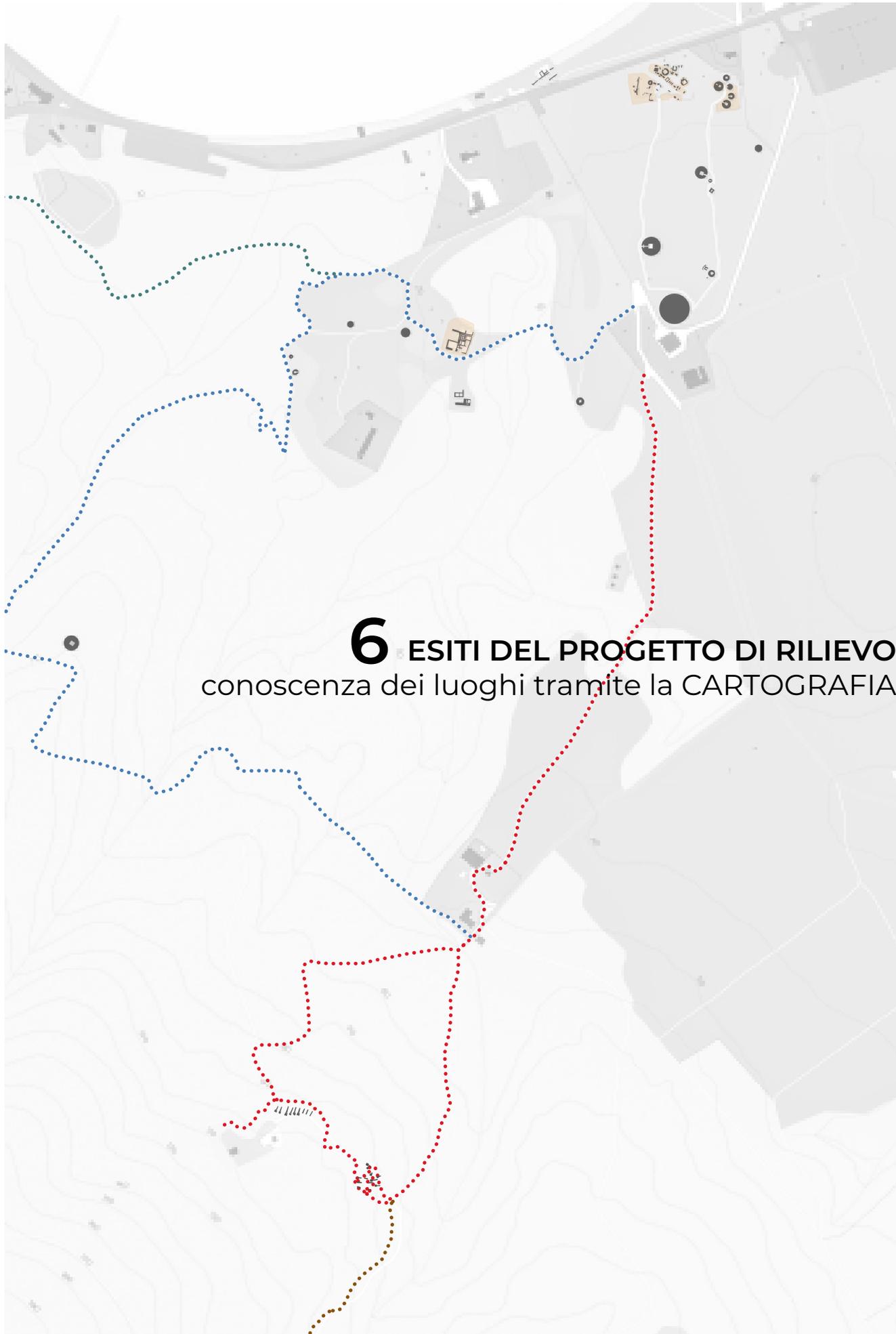
Modello tridimensionale della Cava delle Grotte, realizzato tramite 3DReshaper e Photoscan.



Vista frontale della texture in corrispondenza della parete della cava delle Grotte.



Vista laterale della texture in corrispondenza della parete della cava delle Grotte.



6 ESITI DEL PROGETTO DI RILIEVO

conoscenza dei luoghi tramite la CARTOGRAFIA

6.1 Gestione dei dati spaziali e georiferiti in un ambiente GIS

La geomatica si occupa inoltre della rappresentazione, gestione e condivisione dei dati cartografici. Fino ad ora in qualche modo è stato raccontato l'utilizzo di diverse tecnologie ai fini di un rilievo geometrico del Parco Archeologico di Baratti e Populonia. Il passo successivo da svolgere è quello di restituire attraverso l'utilizzo di sistemi informativi geografici le aree studiate, creando un sistema in grado di visualizzare interrogare, analizzare e interpretare i dati, aggiornando quelli già presenti.

Secondo la definizione di Burrough, 1986, il Sistema Informativo Geografico, GIS è :

“Un potente strumento per archiviare ed elaborare a piacere, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale per particolari finalità”.

Tutte le mappe presentate in questa tesi, sin a partire dal capitolo uno, sono realizzate tramite i GIS, con la redazione di carte in grado di visualizzare fenomeni spazialmente georeferenziati.

Il sostituto della cartografia tradizionale è la cartografia numerica che ha eliminato le componenti oggettive creando un dato qualitativo e metrico in forma di coordinate e di dati alfanumerici. Il risultato di questo tipo di cartografia sono carte visibili e interrogabili attraverso strumenti informativi, oltre che su supporto cartaceo, fornendo informazioni planimetriche, plano-altimetriche e tridimensionali. Le tecnologie informatiche hanno mosso un forte contributo per la trasformazione degli strumenti cartografici tradizionali in sistemi in grado di elaborare analisi spaziali e tematiche, stimolati dall'esigenza di documentare le continue trasformazioni del territorio a scala urbana, attraverso l'integrazione delle funzioni di rappresentazione e analisi di dati spaziali nei GIS. I dati spaziali sono trasformati in informazione e attraverso un'opportuna strutturazione dei dati e dei processi ai quali sono sottoposti si raggiungono gli obiettivi prefissati. Spesso lo scopo della carta da rappresentare è l'elemento

P. A. BURROIGH,
Principles of Geographic
Information Systems
for Land Resource
Assessment.
Monographs on Soil and
Resources Survey No. 12,
Oxford Science
Publications, New
York, 1986.

di classificazione dei dati, le principali funzionalità del GIS sono quelle di visualizzare dei dati, creare nuove mappe, risolvere, valutare e infine presentare quanto realizzato. Nel tempo il significato del termine GIS ha assunto diversi significati, è passato dall'identificazione dell'intero sistema dell'hardware, del software e degli specialisti che lavorano con il dato spaziale, all'identificazione del

“campo di studio che si occupa dei metodi, algoritmi e procedure per il trattamento dei dati geografici e territoriali”.

A. SPANO', Dispense del corso di Geomatica, Politecnico di Torino, 2017.

A seguito delle diverse elaborazioni svolte all'interno del Parco, l'obiettivo è quello di restituire e di aggiornare la cartografia presente all'interno di un GIS a partire dai dati forniti dalla Regione Toscana, attraverso l'utilizzo di modelli come le Ortofoto, raccontando come si presenta il territorio di Populonia nel settembre del 2017.

Strutture dei dati GIS

6.1.1

Le **componenti principali** di un Sistema Informativo sono: l'hardware, programmi che svolgono le azioni del sistema informativo all'interno della macchina; il software, strumenti elettronici che raccolgono fisicamente le informazioni di input e output; le procedure applicative, le banche dati, informazioni geografiche contenute nel *database* e le persone.

Tesi di laurea, Elisabetta Colucci, 2017, pag. 220.

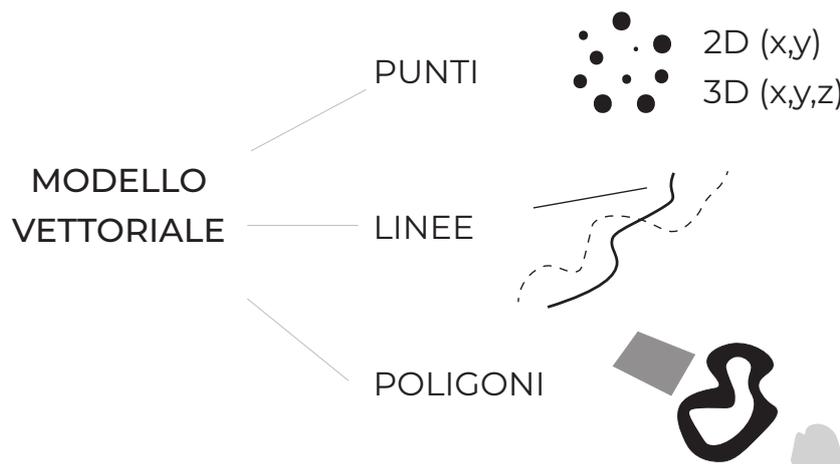
I dati che vengono acquisiti vengono inseriti nei software GIS per essere georiferiti, possono essere dati che riguardano aspetti idrici, geografici, culturali, sociali, economici e tanti altri. I dati rilevati o scaricati dai Geoportali delle Regioni di riferimento sono di due tipi i **dati geometrici** e i **dati alfanumerici**. I dati geometrici descrivono le caratteristiche e la forma delle entità che possono essere dei dati vettoriali o raster; mentre i dati alfanumerici sono gli attributi di ogni entità.

I dati del **modello vettoriale** sono rappresentati attraverso l'utilizzo di punti, linee e poligoni, insieme vengono memorizzati come coordinate definendo una forma. Questo tipo di modello è più adatto a supportare gli output

grafici simili alla cartografia tradizionale, ossia disegnata, ma allo stesso tempo presenta degli svantaggio come la complessità della struttura dei dati e nella rappresentazione delle operazioni di *overlay*, ossia la sovrapposizione dei diversi *layer*, livelli. A ogni elemento geometrico è associato un attributo, che ne descrive le caratteristiche principali, sotto forma di testi o di descrittori numerici. In base a questo tipo di codifica degli elementi geometrici è possibile realizzare ricerche di dati o isolamento da altri elementi. Ad esempio si possono interrogare gli attributi, sia di testo che numerici, e utilizzare operatori logici, come *and* o *not*.

Questo processo è possibile per il concetto di topologia, ossia quell'insieme di regole che definisce "in maniera esplicita le relazioni, i rapporti di connessione e di continuità tra gli elementi spaziali per collegare tali elementi alle relative descrizioni".

A. SPANO', Dispense del corso di Geomatica, Politecnico di Torino, 2017.

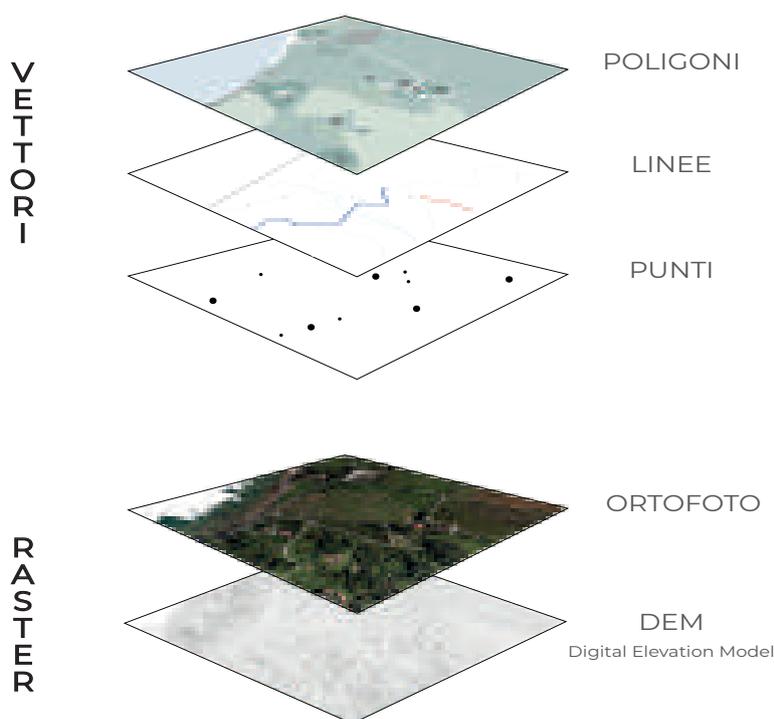


Schema riassuntivo dei componenti di un modello vettoriale.

I dati del **modello raster** sono descritti da una superficie divisa in una maglia regolare di celle. Ogni cella contiene un valore che può rappresentare l'appartenenza a una certa classe, misura o valore interpretato, tanto più piccola è la dimensione della cella, maggiore sarà la risoluzione e il dettaglio visibile nella mappa. Un esempio di modello raster può essere un ortofoto, dove l'immagine fotografica è suddivisa in elementi di dimensione finite, ossia i pixel com'è descritto nel capitolo tre nella sezione dedicata ai metodi fotogrammetrici, dove a ciascuno di essi è associato un numero per indicare la radiometria della posizione di ciascuna immagine. Se l'immagine è in bianco e nero la radiometria dell'immagine è espressa solo attraverso due numeri interi: 0 per il bianco e 1 per il nero. Se è in toni di

grigio i valori variano dal nero, lo 0, fino al 255, il bianco. Mentre se ci troviamo a trattare immagini a colore si ha una rappresentazione per *true color image*, ossia RGB, dove ogni colore è determinato dalla somma di tre bande di colore, rosso, verde e blu, dove ogni banda è rappresentata da 256 colori che variano in base alla saturazione del colore. In questo caso, la radiometria è rappresentata da tre numeri interi in rappresentanza delle saturazioni delle bande principali. I modelli raster presentano dunque una struttura dei dati semplici, ma la difficoltà di maneggiare con questo tipo di dati è dettata dalla pesantezza del dato, provocando rallentamenti durante le elaborazioni. Questo problema si è verificato più volte con le ortofoto prodotte, si è cercato di aggirare il problema con tecniche di compressione del dato, andando però ad abbassare la qualità dei pixel.

L'immagine seguente mostra una rivisitazione dell'illustrazione tradizionale dei principi fondativi dei GIS, utilizzando i dati prodotti per la cartografia del Parco Archeologico di Baratti e Populonia.



Composizione di un database GIS, dati Parco Archeologico, zona San Cerbone.

6.1.2 I dati utilizzati

Le informazioni spaziali dei Gis vengono gestite tramite l'inserimento del dato *shapefile*, *.shp*, che contiene al suo interno la geometria e la gestione degli attributi delle diverse entità spaziali. Ogni shapefile è composto da tre file: l'estensione *.dbf* gestisce la tabella degli attributi, l'estensione *.shp* contiene le informazioni geometriche e infine l'estensione *.shx* contiene i metadati. Il file che viene inserito all'interno del software per l'utilizzo e la navigazione dei dati è il secondo, ossia quello con estensione *.shp*.

QGIS è un GIS (*Open Source Geographic Information System*) concesso sotto licenza GNU General Public License. QGIS è un progetto ufficiale della *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), operativo per i sistemi Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android, supporta numerosi formati e funzionalità di vettori, raster e *database*.

Il software utilizzato è basato su un formato standard che mira all'interoperabilità del sistema. Il programma utilizzato per la redazione delle carte presenti in questo elaborato di tesi è Quantum Gis (QGIS) nell'ultima versione QGIS 3.2.0 Bonn.

I dati principali sono stati ricavati dal Geoportale della Regione Toscana noto con il nome di GEOscopio, uno strumento che permette di visionare e interrogare i principali dati geografici della Regione. Nel WebGis oltre alla visione è possibile lo scarico delle principali informazioni oltre che la possibilità di accedere ai dati WMS, ossia mappe interattive visibili sul proprio progetto di Gis tramite un connessione ad Internet.

I principali dati geografici utilizzati sono stati scaricati e convertiti nel sistema di riferimento WGS84/UTM Zone 32N (EPSG:32632) da Elisabetta Colucci durante la stesura della tesi sul Parco Archeominerario di San Silvestro. La conversione è stata effettuata tramite il software Convergo 1.01, poichè i dati presentavano coordinate nel sistema Gauss-Boaga, fuso Ovest, codice EPSG:30003. A partire da quei dati convertiti ho potuto analizzare il Parco Archeologico di Baratti e Populonia e il paesaggio in cui è

B. GUANDALINI, G. SALERNO, Manuale di Arch-GIS 10, pag.27.



www.qgis.org

www.regione.toscana.it/-geoscopio

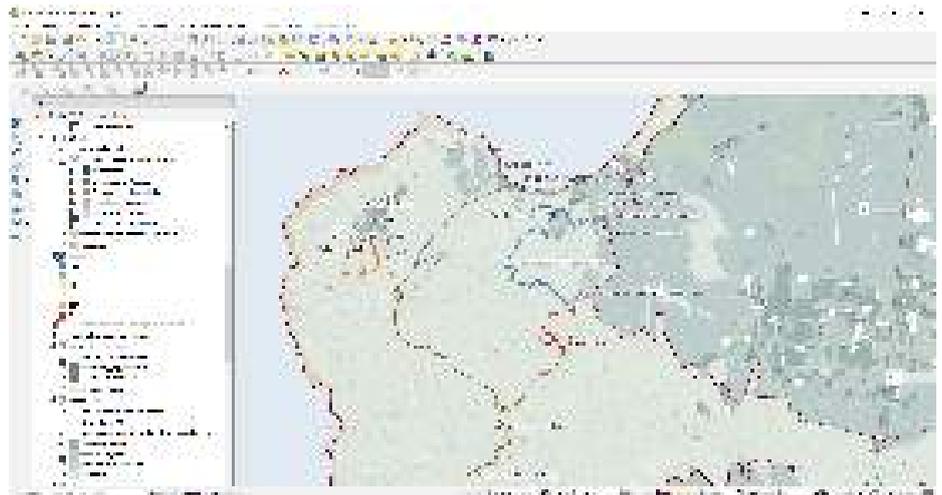
Tesi di laurea, Elisabetta Colucci, 2017, pag. 225.

inserito.

Le principali voci utilizzate sono:

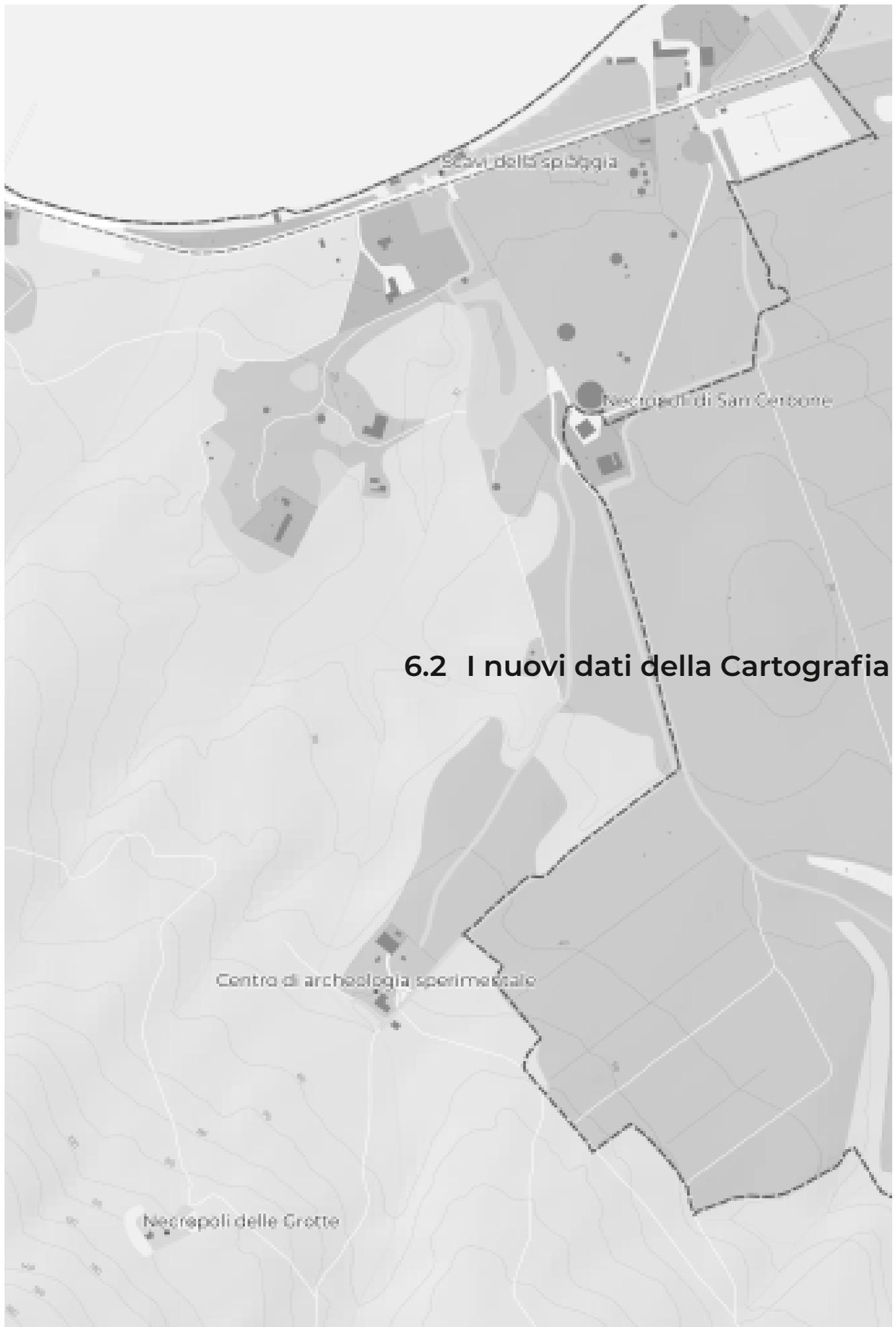
- la Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (CRT10K), anche nelle versioni 1:5.000 (CTR5K) ed 1:2.000 (CTR2K);
- Immagine aerea della Regione Toscana, dato raster WMS, Web Map Service: Ortofoto 20cm 2016 AGEA - Consorzio TeA;
- Database topografico 1:10.000 (10K), convertito nel sistema di riferimento WGS84-32N;
- il Grafo stradale in formato .shp;
- la Morfologia tramite il DTM Lidar 2K, risoluzione 1 metro;
- gli Ambiti amministrativi e le Aree Protette del Parco in esame;
- il PIT con valenza di Piano Paesaggistico.

Interfaccia grafica del software GIS 3.2.0.



Modello 3D prodotto tramite il plugin Qgis2threejs.





6.2 I nuovi dati della Cartografia

6.2.1 I modelli di elevazione e di superficie.

La superficie del terreno è rappresentabile in modi diversi in base alla tipologia di informazioni che si possiede, i formati utilizzabili sono:

- **DTM**, *Digital Terrain Model*, Modello Digitale del Terreno;
- **DSM**, *Digital Surface Model*, Modello Digitale della Superficie;
- **DEM**, *Digital Elevation Model*, Modello Digitale di Elevazione.

Questi tre tipi di modelli sono definiti delle superfici statistiche, ossia

“una rappresentazione della distribuzione dei valori di un determinato fenomeno definito, per ogni coppia di coordinate (X e Y), da un valore Z misurato e calcolato”.

ROBINSON et
Al., *Elements of
Cartography*, 6th ed.
New York: Wiley, 1995.

Il termine statistico vuole indicare che la rappresentazione deriva da una stima del valore di una variabile non misurata. La variabile è calcolata in punti della superficie in alcune posizioni, mentre gli altri punti, non misurati, vengono calcolati successivamente tramite algoritmi di interpolazione o di estrapolazione.

www.3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/

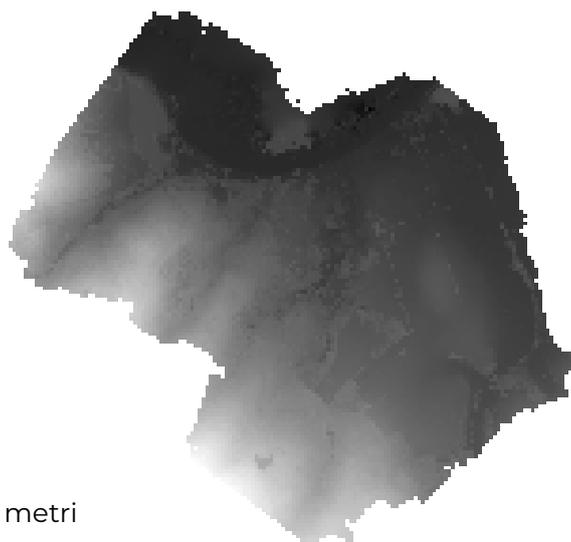
In questo elaborato di tesi ci siamo scontrati già a partire dal capitolo III in questi acronimi, ora verrà spiegata la differenza mostrando anche i risultati ottenuti dalle elaborazioni dei dati.

Il **Modello Digitale di Elevazione**, DEM, viene definito come una generica superficie statistica in cui ad un numero finito di coppie X e Y viene attribuito un valore di elevazione lungo le Z. Il risultato delle elaborazioni fotogrammetriche aeree eseguite tramite il drone ad ala fissa e quadricottero, nell'area del Parco in prossimità delle Necropoli, hanno permesso di elaborare questo tipo di superficie statistica. I dati ottenuti contengono oltre che le coordinate X e Y una precisa Z, data in seguito alla collimazione dei punti misurati a terra. Come mostra l'immagine dall'elaborazione della nuvola di punti, attraverso il corretto algoritmo del software Photoscan, è stato possibile ottenere il modello di elevazione del terreno. Una volta traslato nelle corrette

coordinate e salvato come un dato 'Geotiff' con l'estensione .tif, è stato possibile importarlo nel progetto cartografico del Parco per poter svolgere diverse analisi. Una tra tutte è quella di creare il modello ombreggiato, in questo modo si passa da un'immagine raster con i valori altimetrici a un modello a banda singola grigia.



Necropoli di San Cerbone, nuvola di punti.



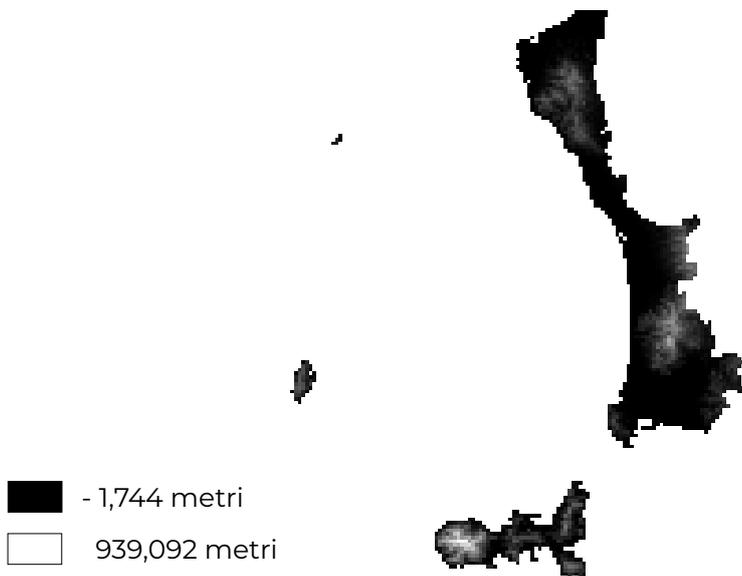
Modello di Elevazione del Terreno, Parco Archeologico di Baratti e Populonia.



Porzione del modello ombreggiato ricavato dal DTM, Necropoli di San Cerbone.

Il **Modello Digitale del Terreno**, DTM, rappresenta l'andamento della superficie del suolo senza gli elementi antropici e di vegetazione. Se il DEM si può definire come una superficie topografica modellata tramite *raster grid*, il DTM è modellato tramite una struttura vettoriale, creata da una rete di triangoli continui irregolari. Questo tipo di modello non è ricavabile direttamente e in maniera "automatica" dai processi svolti e narrati fino ad ora, ma deve subire diverse trasformazioni ed operazioni manuali da parte dell'operatore.

Nel caso studio del Parco Archeologico di Baratti e Populonia il DTM più utilizzato nelle carte deriva dal Geoportale della Regione Toscana ed è il modello del terreno della Provincia di Livorno, il quale mostra l'andamento del terreno dell'intero paesaggio, senza gli elementi antropici e la vegetazione, ed è posto in trasparenza sotto gli altri elementi vettoriali. Questo dato sarà maggiormente veritiero nelle aree spoglie dalla vasta vegetazione, rispetto alla zona boschiva.

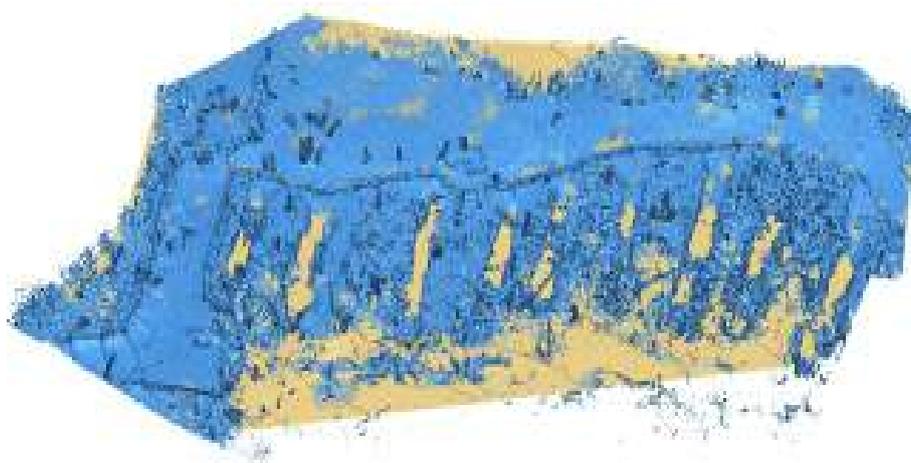


DTM Provincia di Livorno.

Per necessità di informazioni e di rappresentazione di curve di livello in corrispondenza delle tombe Limitrofe, all'interno della Necropoli delle Grotte, è stato creato in quella zona un Modello Digitale del Terreno per poter ricavare quei dati non reperibili né dal Modello di Elevazione del Terreno, né dal DTM della Regione Toscana, per quanto spiegato prima e per la scala di dettaglio ricercata.

Partendo dalla nuvola di punti realizzata con il laser portatile, Zeb_Revo, sono stati eliminati manualmente

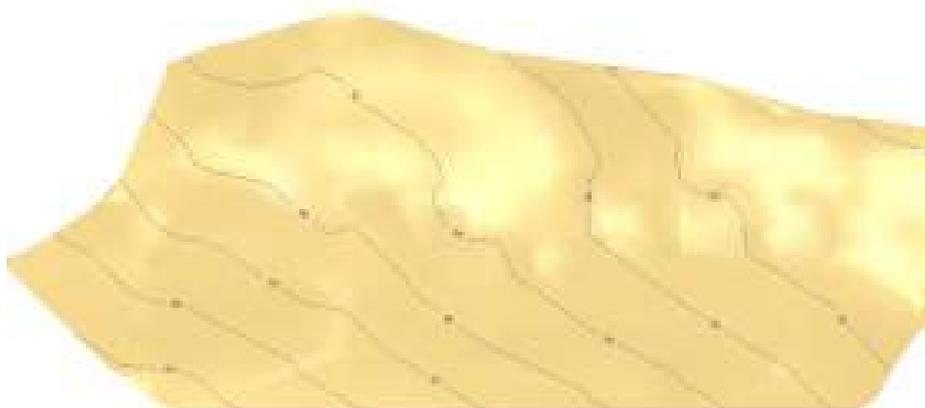
tutti quegli elementi che andavano a creare un errato DTM, ossia le tombe e gli alberi ad alto fusto, lasciando una nuvola composta dai punti che compongono il solo terreno e i primi elementi in elevato. Attraverso il comando 'estrattore del terreno' nel software 3DReshaper si è generata la superficie statistica richiesta e successivamente si sono create le sezioni, per poter determinare le curve di livello. Questo vuole rappresentare la possibilità di creazione di un Modello del Terreno in una posizione completamente boschiva, grazie all'utilizzo di strumento con il laser portatile, e ad una scala completamente diversa rispetto al modello fornito dalla Regione.



Nuvola di punti Tombe Limitrofe e superficie del terreno estratta.



Superficie statistica della porzione analizzata.

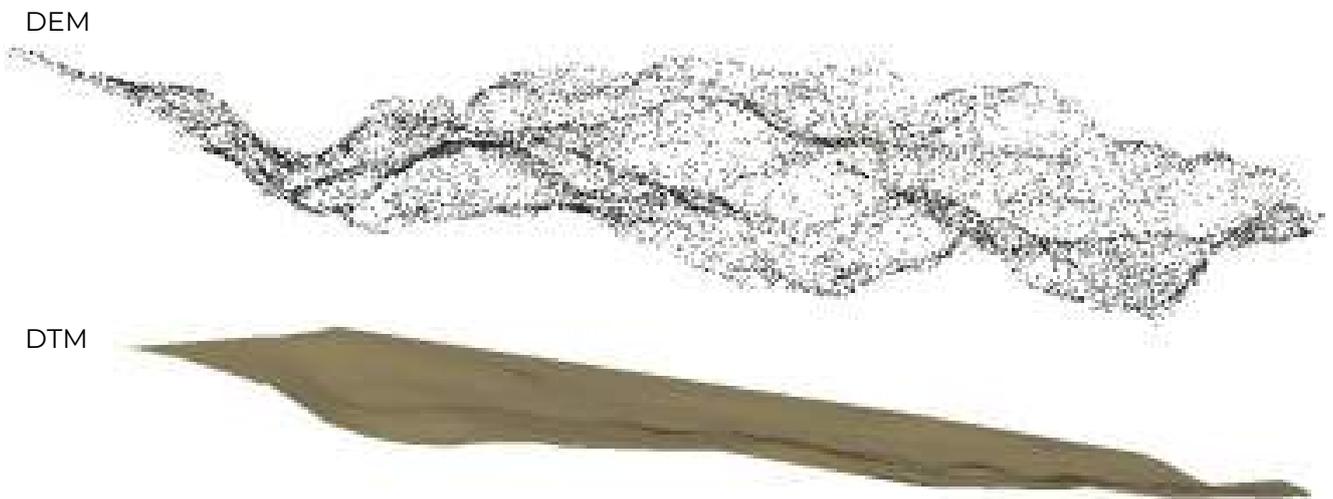


Superficie statistica della porzione analizzata e rappresentazione delle curve di livello.

- DTM _ Modello Digitale del Terreno
- DEM _ Modello di Elevazione del Terreno



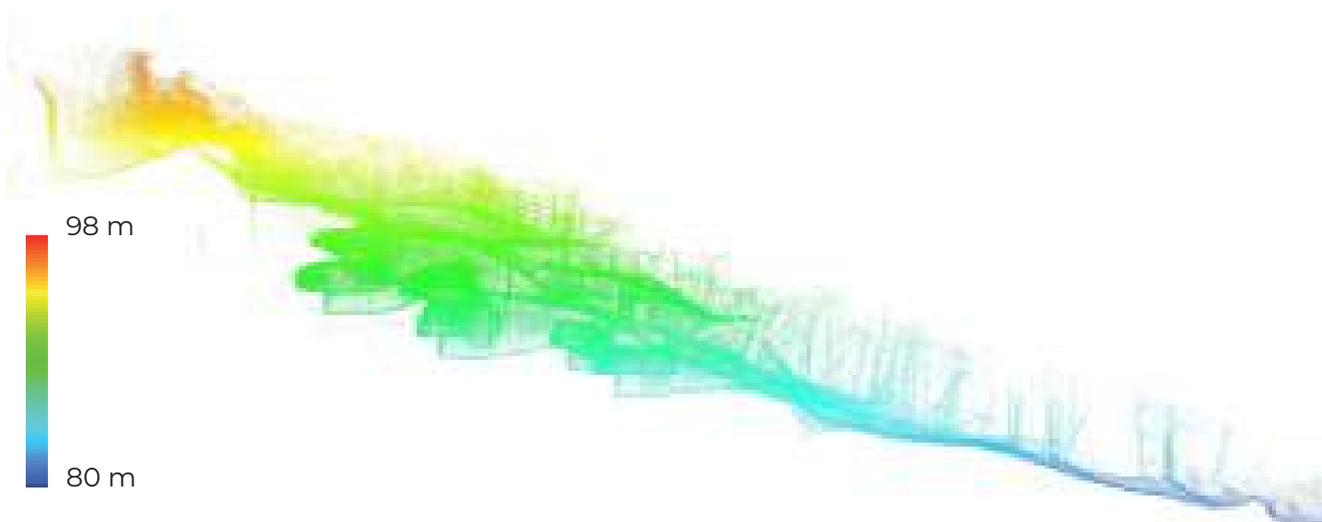
Necropoli di San Cerbone, ritaglio nuvola di punti in prossimità della Tomba del Bronzetto dell'Offerente. Schematizzazione delle due superfici statistiche: DEM e DTM.



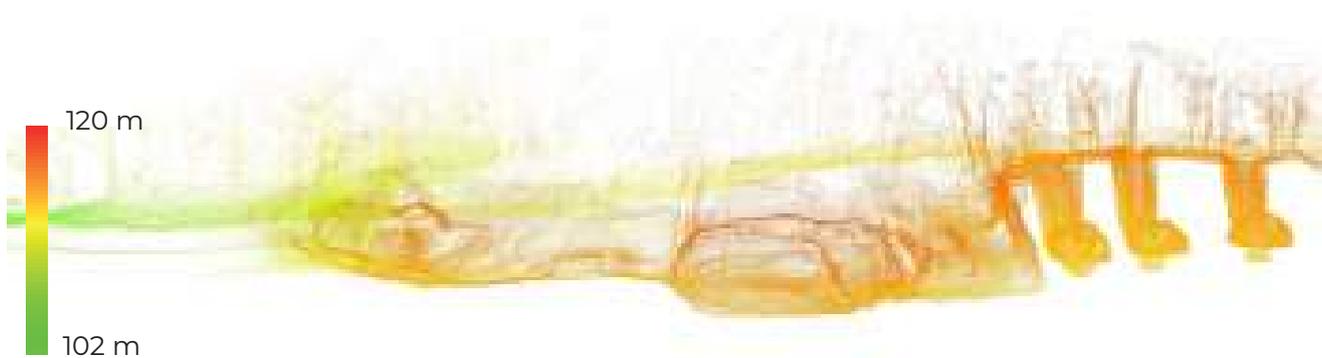
Necropoli delle Grotte. In alto: nuvola di punti fotogrammetrica, volo drone ad ala fissa a una foto di 160 metri; in basso: superficie statistica elaborata dalla nuvola di punti del laser portatile, Zeb_Revo.



Analisi altimetrica nuvola di punti Tombe Limitrofe, Necropoli delle Grotte.

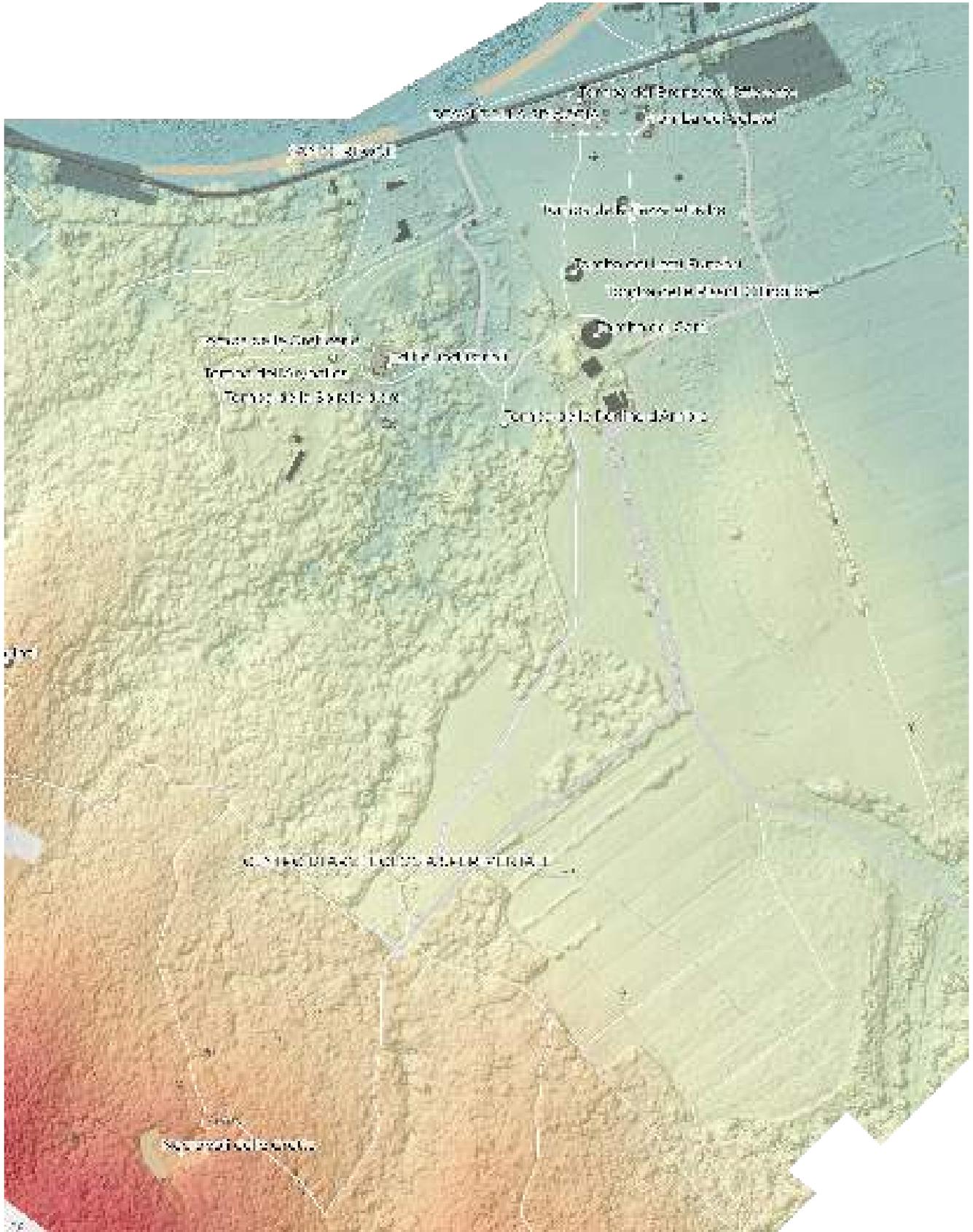


Analisi altimetrica nuvola di punti Gruppo Tombe, Necropoli delle Grotte.



Analisi altimetrica nuvola di punti Piccola Cava, Necropoli delle Grotte.

Analisi Altimetrica



Scala di rappresentazione

1: 6.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra un terreno principalmente pianeggiante, i primi dislivelli significativi iniziano in prossimità del Centro di Archeologia Sperimentale verso l'entroterra e la Necropoli delle Grotte.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 02_immobili_e_antropizzazioni
- 04idrografia
- 05_oroografia

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- edificato
- viabilità
- strada fondativa
- sentieri
- fiumi
- curve di livello

Shapefile creati a seguito del rilievo tramite l'utilizzo dello strumento Zeb_Revo, laser mapper portatile:

- Tombe San Cerbone
- Gruppo Tombe
- Tombe Limitrofe
- Piccola Cava

RASTER:

- Modello Ombreggiato_volo Ebee
- DEM Ebee_riclassificato

LEGENDA

- Extraurbana secondaria
- Strada locale
- Urbana di quartiere
- Strada fondativa
- Sentieri

- Edificato
- Area attrezzata
- Fiumi
- Coste
- ~ Curve di livello

- < -35
- 0
- 25
- 50
- 100
- > 150

■ Modello Ombreggiato

6.2.2 Traslazione dei modelli ed esiti dei dati georiferiti

Prima di poter inserire gli esiti delle elaborazioni all'interno del progetto cartografico del software qgis occorre di traslare i modelli del sistema di riferimento corretto.

Come è stato spiegato nel capitolo IV, cfr. 4.2.3 le coordinate dei punti misurati sulla base dei target, ovvero quegli elementi che determinano la georeferenziazione del dato in elaborazione, avevano subito la troncatura dei valori delle coordinate Est, X, e Nord ;Y, per poter maneggiare con più facilità le nuvole di punti create, ma non solo. In questo caso il processo da svolgere è quello di traslare le elaborazioni prodotte dalla fotogrammetria aerea per poter aggiornare la cartografia del parco al momento dei rilievi effettuati, ossia al settembre del 2017.

Il software utilizzato per la grande traslazione è ArcGis, prodotto e sviluppato da ESRI alla fine degli anni '90, si tratta di un Sistema Informativo Geografico. Tra i vari strumenti è presente il comando *sposta, shift*, permettendo la traslazione, alle coordinate presenti è stato addizionato un valore di 620.000 metri ad Est e di 4.759.000 metri a Nord.

Nella realtà i dati sottoposti a questo processo hanno creato diversi problemi, principalmente per la numerosità di informazioni contenute al loro interno, basti pensare che l'ortofoto generata tramite la fotogrammetria aerea, attraverso fotogrammi realizzati a una quota di 180 metri, ha prodotto un file di 8 giga. Per cercare di superare in parte questo problema l'ortofoto è stata sottoposta a un lungo processo di compressione, prima di procedere con la traslazione.

Per riassumere, hanno subito questo processo gli esiti delle elaborazioni fotogrammetriche, ortofoto e modelli del terreno, sia quelli realizzati con il volo del drone ad ala fissa che quelli con il drone quadricottero. Mentre gli altri dati elaborati sono stati traslati in software come Autocad o 3DReshaper in base alla tipologia del dato utilizzato, prima di essere importati su Qgis per l'aggiornamento cartografico del Parco.

Le immagini riportate nelle pagine seguenti mostrano gli esiti delle elaborazioni fotogrammetriche sotto forma di Ortofoto e Modelli Ombreggiati del Terreno, questi ultimi modelli elaborati tramite un algoritmo del software Qgis a partire dal Modello di Elevazione del Terreno.

Ortofoto

volo del drone ad ala fissa _ quota 180 metri



Scala di rappresentazione

1 : 6.000



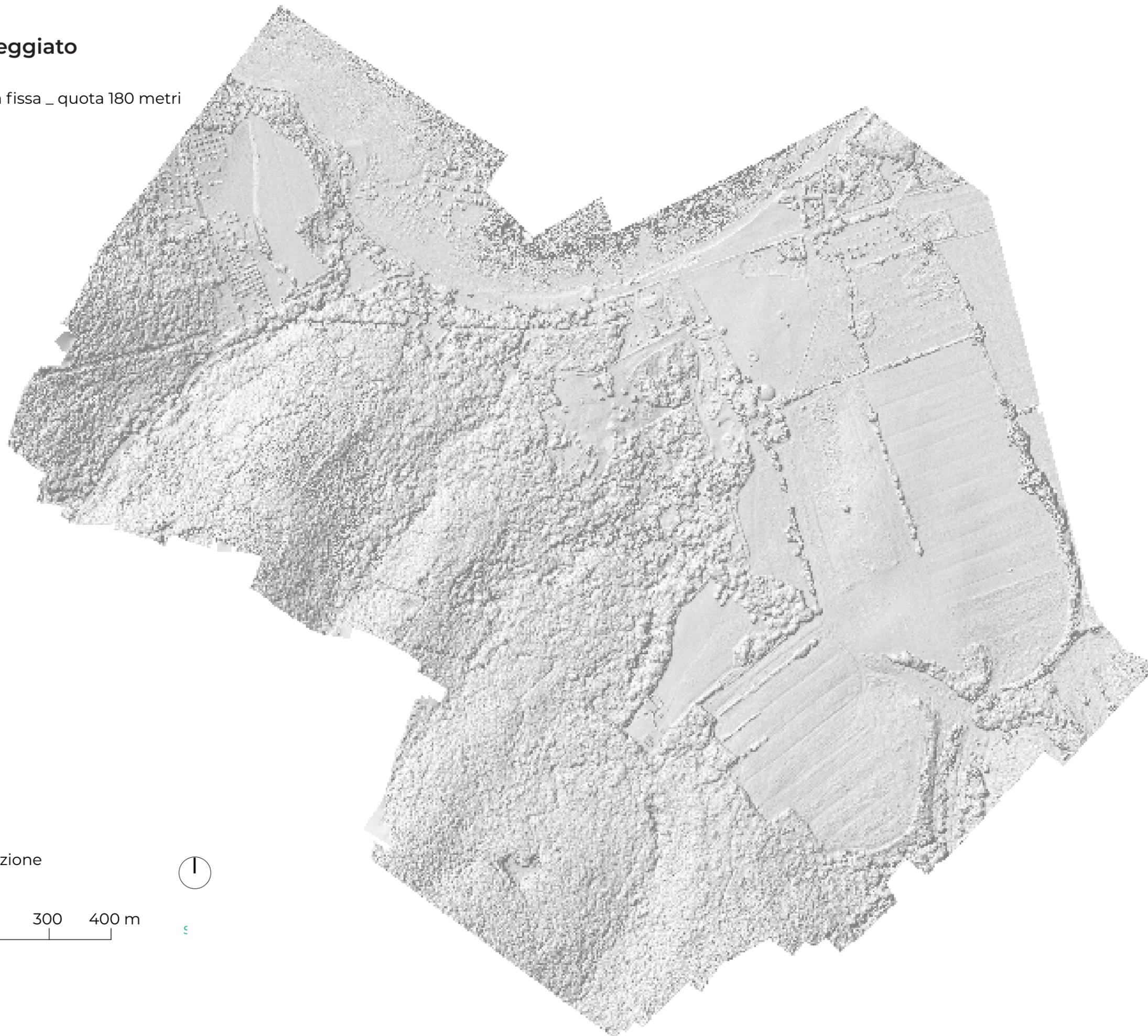
0 100 200 300 400 m

5

Modello Ombreggiato

dal DEM

volo del drone ad ala fissa _ quota 180 metri



Scala di rappresentazione

1: 6.000

0 100 200 300 400 m



Ⓢ

Ortofoto

voli dei droni quadricotteri _ quota di 45 e 60 metri



Scala di rappresentazione
1:2.000



0 20 40 m
└──┬──┬──┬──┘

Modello Ombreggiato dal DEM

voli dei droni quadricotteri _ quota di 45 e 60 metri



Scala di rappresentazione
1:2.000



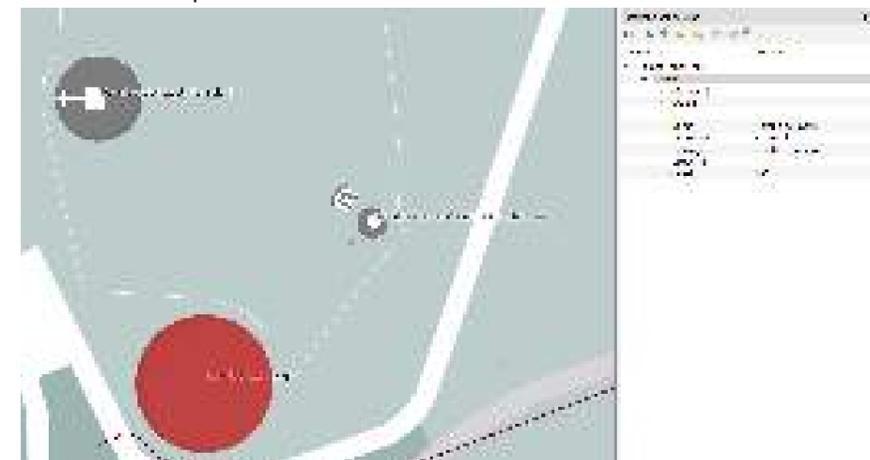
0 20 40 m
└───┬───┬───┘

E' stato eseguito un aggiornamento cartografico a grandissima scala restituendo le Necropoli, San Cerbone a partire dall'Ortofoto realizzata con il drone ad ala fissa, e la Necropoli delle Grotte a seguito del rilievo 3D realizzato con il laser portatile.

www.docs.qgis.org

Ogni oggetto rappresentato presenta una geometria, principalmente determinata da poligoni, e degli attributi che descrivono l'elemento. Gli **attributi** di un dato vettoriale sono memorizzati in una tabella strutturata come un foglio di calcolo, dove le colonne prendono il nome di **campo** e le righe **record**. Ad ogni record corrisponde un elemento geometrico, mentre i campi possono variare in base alla scelta e alla classificazione dell'operatore, possono contenere dei testi o dei valori numerici. Prima di creare questo tipo di foglio di calcolo occorre avere prima una buona pianificazione, anche sulla base del tipo di analisi che si vuole svolgere.

Nel caso studio del Parco Archeologico di Baratti e Populonia, nella zona della Necropoli di San Cerbone, il *database* di informazioni da collegare alle diverse geometrie è stato realizzato secondo il *database* riportato nella pagina seguente. Le informazioni sono state ricavate principalmente dal testo di Paola PUMA, *Contributi per il rilievo archeologico di Populonia. Le necropoli documentate*, Firenze, Edifir Edizioni Firenze, 2014. In questo modo interrogando le diverse geometrie direttamente sul file di Qgis è possibile ottenere in modo rapido queste informazioni, oppure creare specifiche carte in base a determinati campi. Una delle analisi che verranno riportate è sulla base della datazione delle tombe presenti nella Necropoli di San Cerbone.



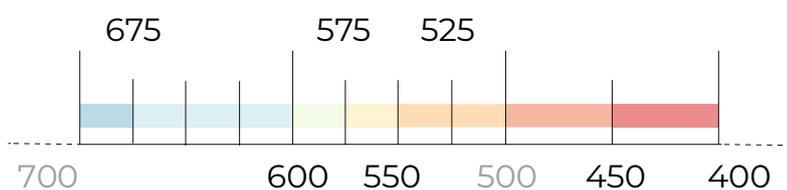
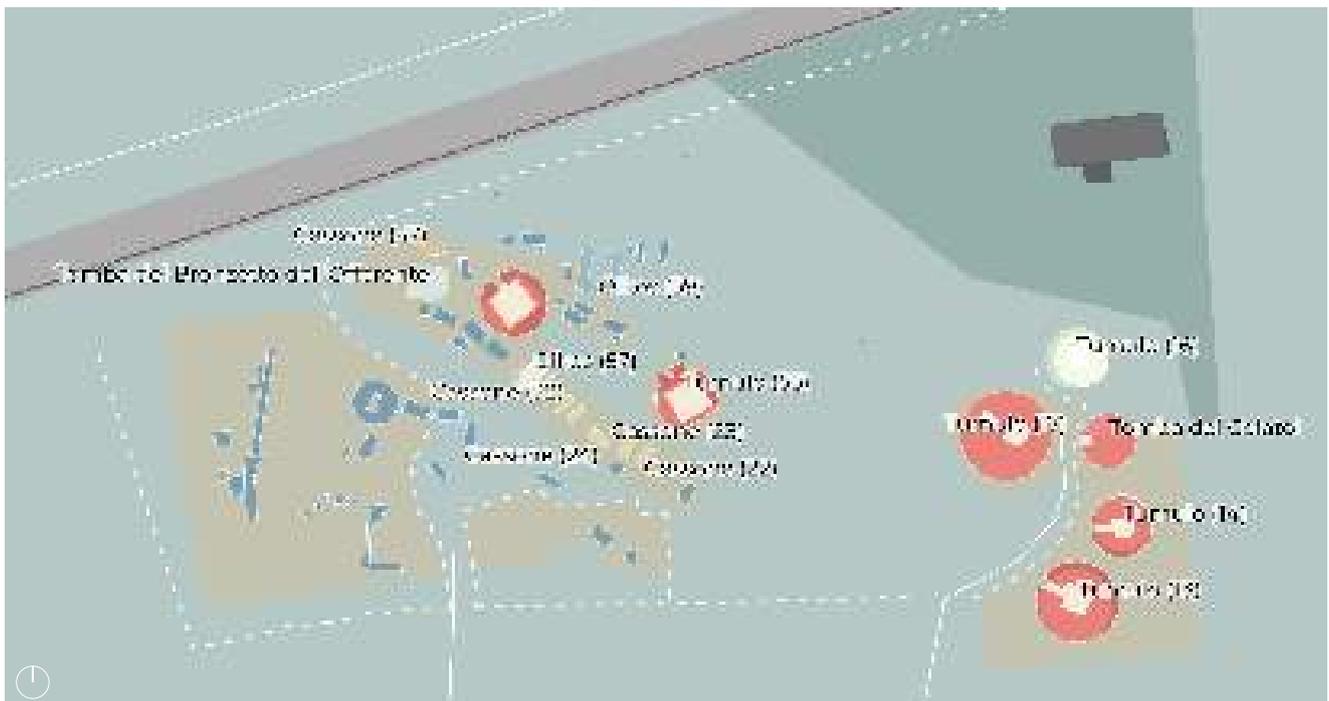
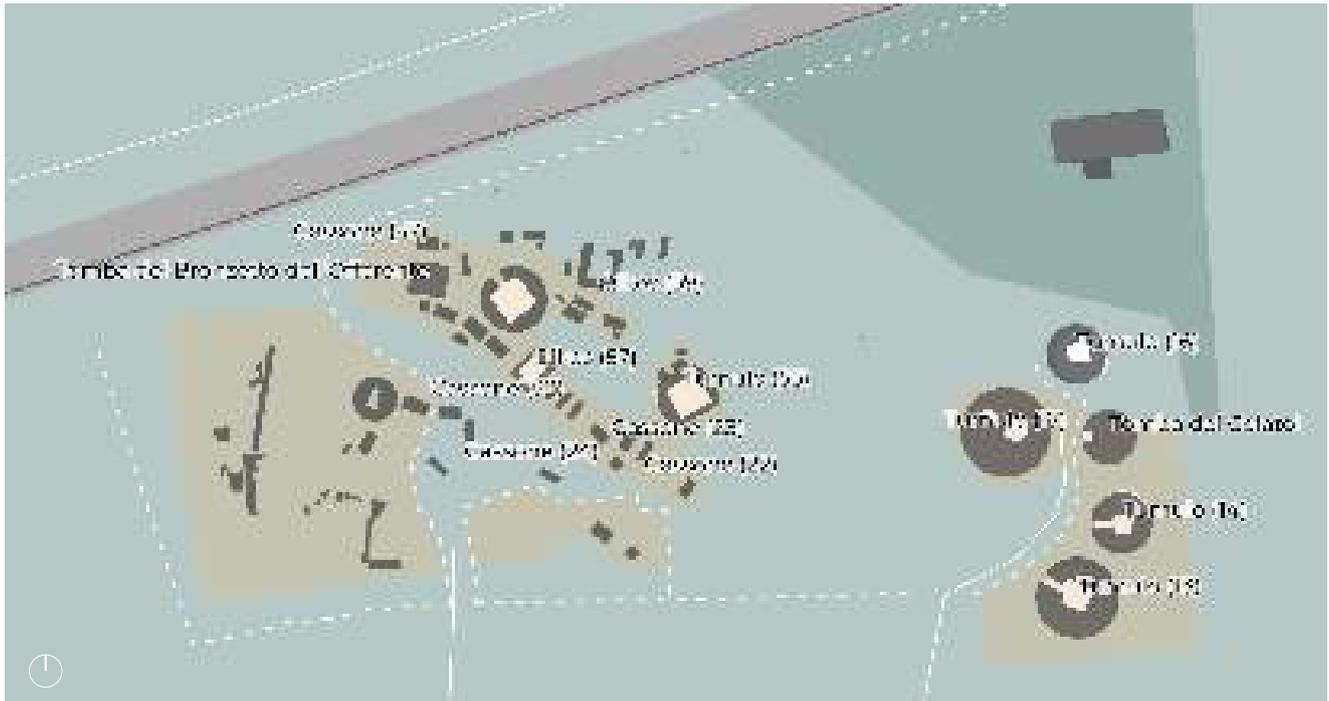
Schermata di Qgis, tabella attributi Tomba dei Carri, Necropoli di San Cerbone.

NOME TOMBA	DATAZIONE	TIPOLOGIA	SCOPERTA/ INFO	
Tomba dei Letti funebri	prima metà VII secolo	Tomba a camera		tumuli
Tomba delle Pissidi cilindriche	prima metà VII secolo	Tomba a camera		
Tomba del Balsamario a testa di guerriero	prima metà VII secolo	Tomba a camera	utilizzo fin al 570 a.C.	
Tumulo (12)	fine VII secolo	tomba a pseudo-cupola con crepidine a tamburo cilindrico		
Tumulo (13)	fine VII secolo	Tomba a camera, ad alto tumulo		
Tumulo (14)	ultimo quarto VII secolo - primo quarto VI secolo	Tomba a camera, ad alto tumulo		
Tomba dei Colatoi	ultimo quarto VII secolo - metà VI secolo - inizio III secolo	Tomba a camera, ad alto tumulo	1960	
Tumulo (16)	primo quarto VI secolo	Tomba a camera con crepidine a tamburo cilindrico		
Tumulo (17)	ultimo quarto VII secolo- terzo quarto VI secolo	Tomba a camera, ad alto tumulo	1970	
Tumulo (55)	ultimo quarto VII secolo- terzo quarto VI secolo	Tomba a camera con crepidine a tamburo cilindrico		
Tumulo (56)	fine VII - inizio VI secolo	rudere di tomba a camera con crepidine a tamburo cilindrico		
Tomba delle Perline d'ambra	VII secolo	Tomba a camera con crepidine a tamburo cilindrico	1924-1925	
Tomba delle Oreficerie	terzo quarto VII secolo	tomba a camera quadrata con tumulo sopra crepidine a tamburo cilindrico		
Tomba della Spirale d'oro per capelli	ultimo quarto VII secolo - primo quarto VI secolo	tomba ad alto tumulo		
Tomba degli Aryballoi	ultimo quarto VII secolo	tomba ad alto tumulo		

Tomba delle Tazze attiche	V secolo- tardo IV secolo	tomba ad edicola	1925	oikoi
Oikos (57)	V secolo- tardo IV secolo	tomba ad edicola con basamento aggettante	1965	
Tomba del Bronzetto dell'Offerente	metà V secolo	tomba ad edicola	1957	
Oikos (59)	V secolo	rudere		

Cassone (22)	metà VI secolo - primo quarto IV secolo	Tomba di inumato a sarcofago		cassoni
Cassone (23)	metà VI secolo - primo quarto IV secolo	Tomba di inumato a sarcofago		
Cassone (24)	metà VI secolo - primo quarto IV secolo	Tomba di inumato a sarcofago		
Cassone (31)	metà VI secolo - primo quarto IV secolo	Tomba di inumato a sarcofago		
Cassone (32)	metà VI secolo - primo quarto IV secolo	Tomba di inumato a sarcofago		
Cassone (33)	metà VI secolo - primo quarto IV secolo	Tomba di inumato a sarcofago		
Cassone (47)	fine VI secolo - primo quarto IV secolo	sarcofago		

Necropoli di San Cerbone



Datazione delle tombe etrusche tra il VII e il V secolo a.C. realizzate nell'area della Necropoli di San Cerbone. Scoperte con le prime campagne di scavo: 1924.

6.2.3 Dalla Nuvola di punti al tracciato del sentiero nella Necropoli delle Grotte

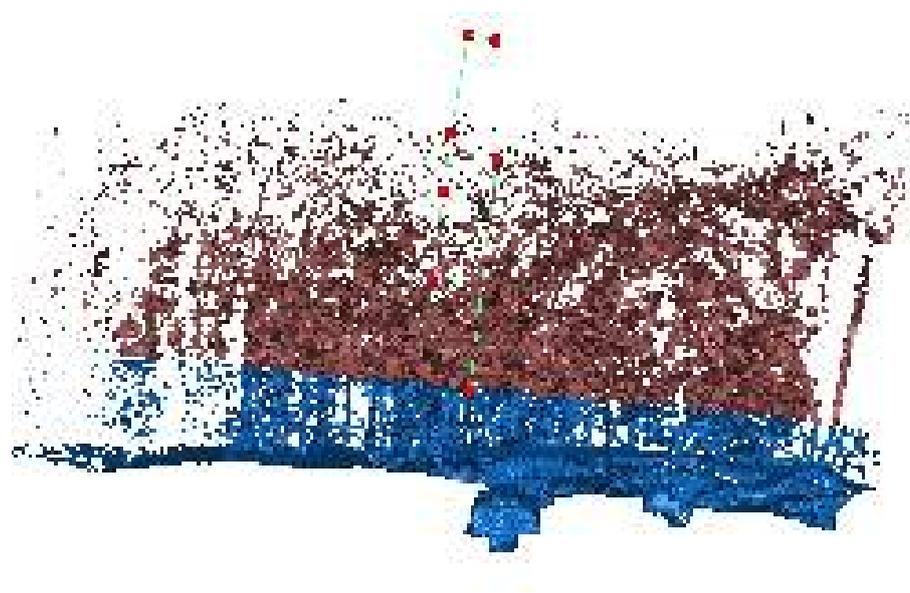
Per poter navigare al meglio all'interno della grande nuvola di punti realizzata con il laser mapping portatile, è stato necessario ridurre la dimensione della nuvola attraverso l'eliminazione dei dati superflui, rilevati dallo strumento. In un primo momento si è deciso di suddividere la nuvola in 7 segmenti in base all'area e ai dettagli presenti al suo interno, come mostra l'immagine sottostante.



- A Centro di Archeologia Sperimentale
- B Sentiero
- C Sentiero - Piccola Cava
- D Gruppo Tombe
- E Tombe Limitrofe
- F Cava delle Grotte
- G Sentiero

Nuvola di punti georiferita della Necropoli delle Grotte, suddivisione per la pulizia e riduzione del rumore.

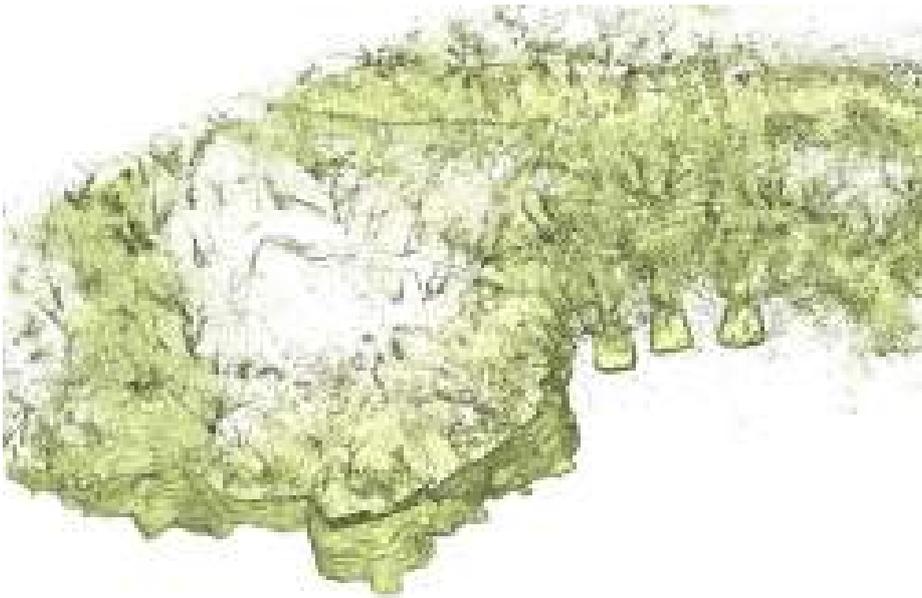
I passi compiuti all'interno delle singole sezioni sono stati due. Con il primo si è cercato di eliminare i dati presenti sopra una quota di un metro e mezzo da terra, appena sopra la staccionata che delimita in percorso rilevato con lo strumento. Questo perché i dati relativi alla conformazione degli alberi, presenti in questo caso studio, non risultano rilevanti e per poter mantenere solo una porzione del tronco in modo da migliorare la visibilità in corrispondenza delle tombe ipogee. In un secondo momento si è eliminato il rumore della nuvola, ossia quei punti rilevati, localizzati sparsi nello spazio, sovrabbondanti con densità costante approssimata, attraverso il software 3DReshaper è stata impostata l'intensità del 20%. Le immagini riportate mostrano quanto narrato riguardo la "pulizia" della nuvola.



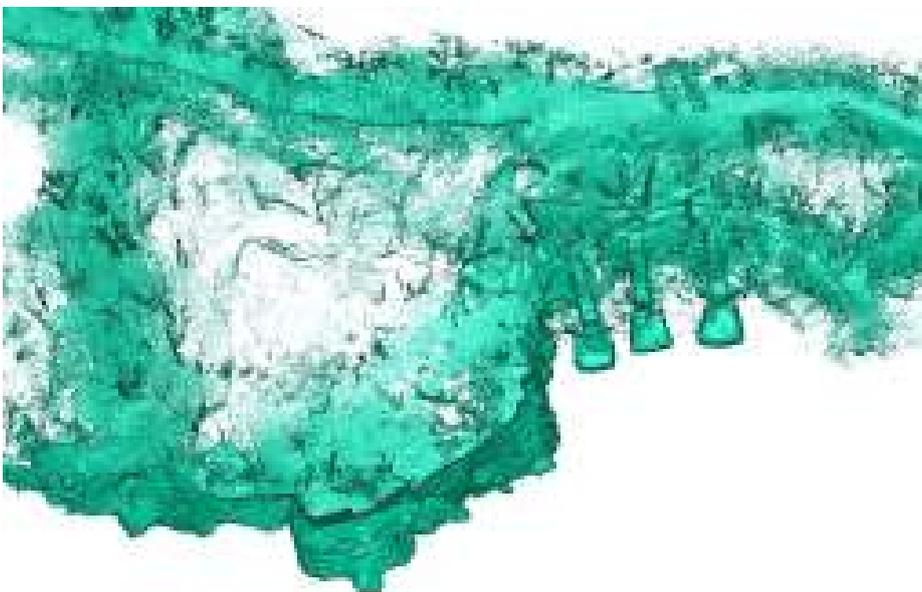
Riduzione del rumore a un quota di 1 metro e mezzo sopra il livello di calpestio, sezione D. Elaborazione ottenuta tramite 3DReshaper.



A confronto il prima e il dopo la pulizia delle nuvole lungo il sentiero delle Cave.



Piccola Cava, nuvola georiferita prima della fase di riduzione del rumore.



Piccola Cava, nuvola georiferita dopo la riduzione del rumore.

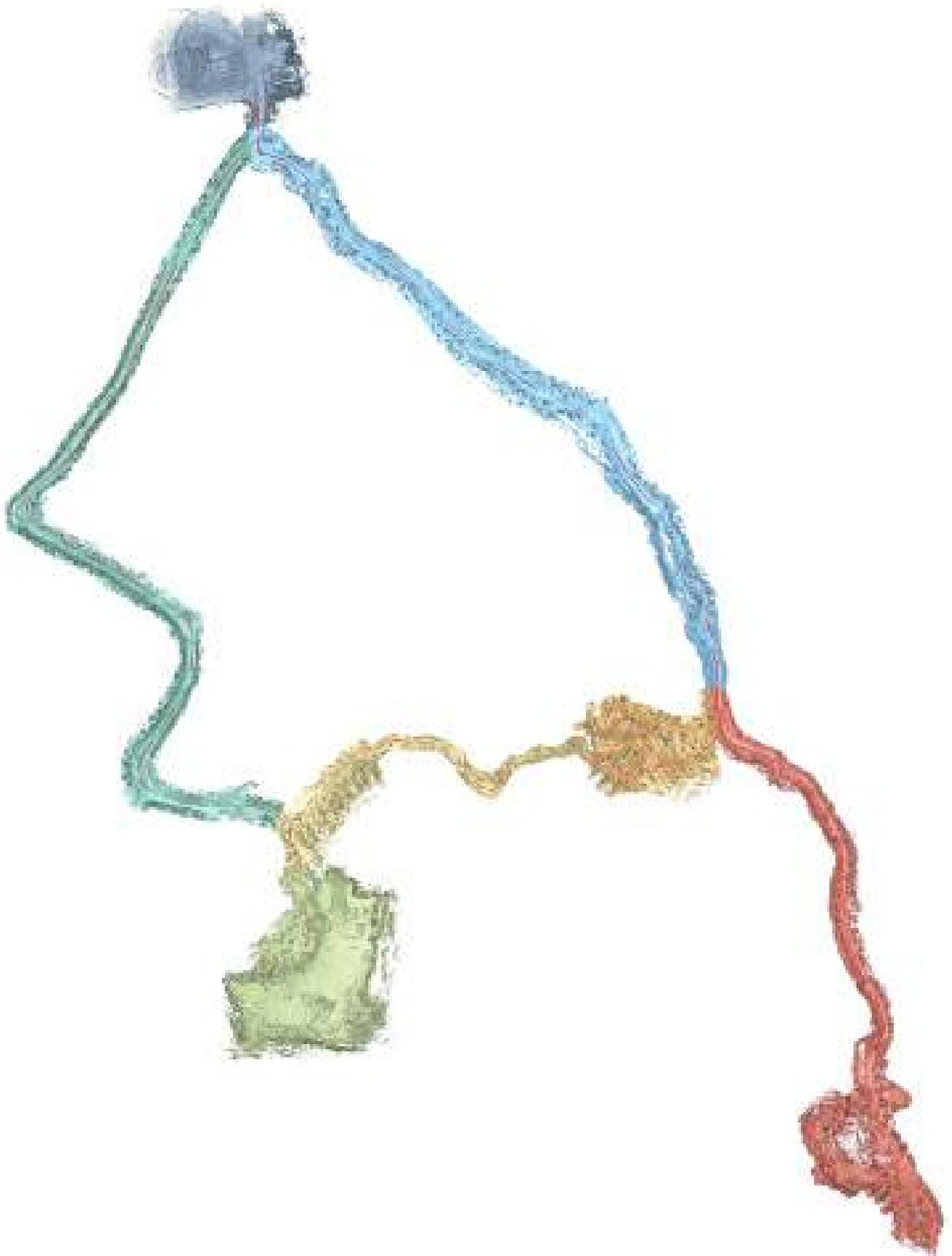


Complessità del gruppo di Tombe, sezione D.

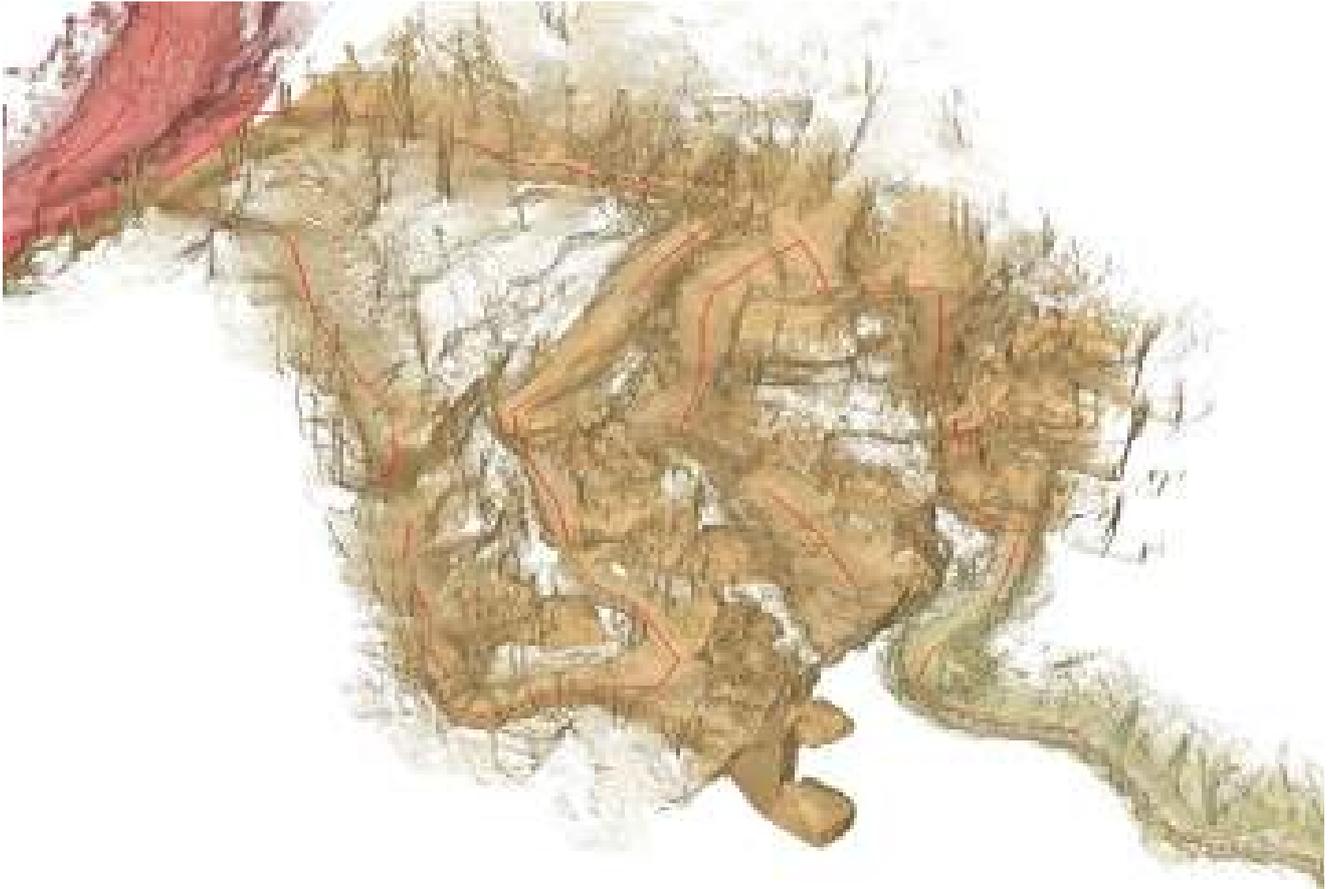
La tabella invece riporta il numero di punti che presentavano le singole sezioni prima e dopo la riduzione del rumore. Più che leggere la quantità di numeri presenti prima o dopo, è significativo comprendere che nelle aree dove sono localizzate le tombe ipogee il numero di punti presenti è maggiore, poiché l'operatore nel compiere il rilievo ha percorso quel tragitto più lentamente, permettendo così allo strumento di acquisire un numero maggiore di punti, soprattutto all'interno di spazi chiusi, ben circoscritti. Al contrario, come accade nel tragitto riportato nella sezione G, in quel tratto "l'obiettivo" non era di rilevare con un dettaglio significativo l'ambiente, ma acquisire dati necessari per realizzare e documentare il percorso e "chiudere" la traiettoria dello strumento lungo la Via delle Cave.

Tratto	Numero di punti iniziali	Numero di punti dopo pulizia	Riduzione dei punti della nuvola (%)
A	8.116.349	7.780.242	4,14%
B	20.687.924	18.064.127	12,68%
C	17.525.476	16.143.745	7,88%
D	12.737.058	11.047.307	13,27%
E	18.579.706	16.769.843	9,74%
F	32.107.557	31.232.693	2,72%
G	5.960.125	5.040.122	15,44%

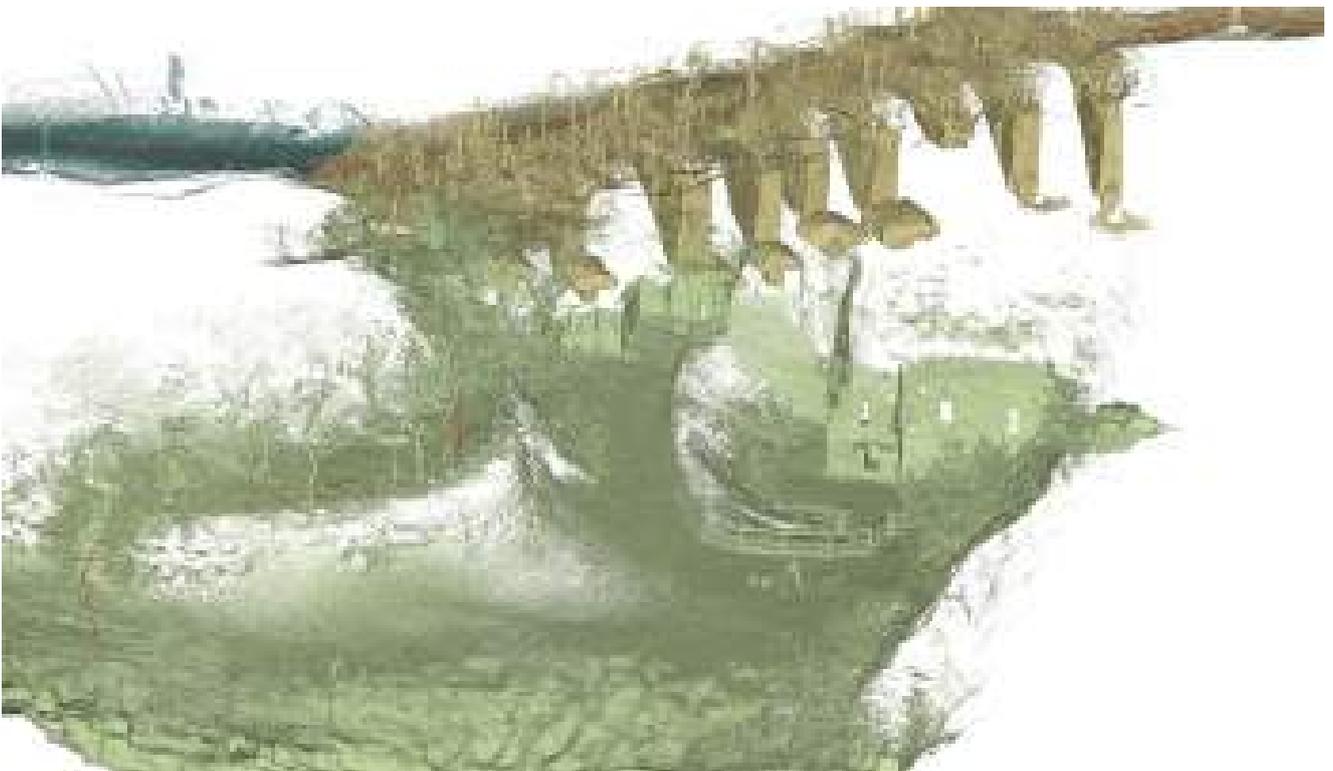
Analisi riassuntiva pulizia della nuvola per la realizzazione del sentiero.



Nuvola di punti complessiva all'interno della Necropoli di San Cebone e polilinea, tratto rosso, realizzata in mezzeria lungo il percorso. Visualizzazione di 3DReshaper.

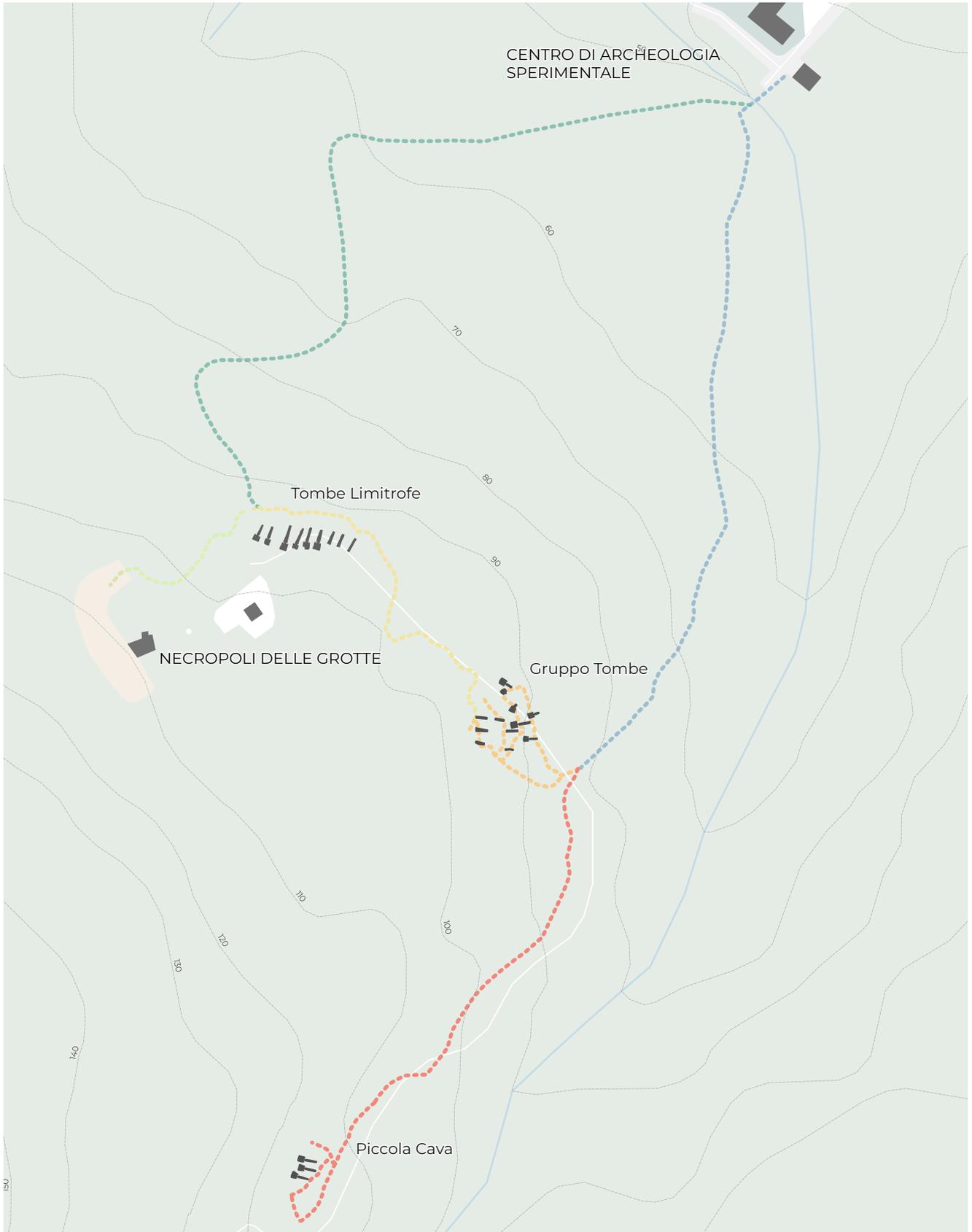


Dettaglio nuvola di punti del gruppo delle tombe e del percorso identificato con la polilinea di colore rosso.



Dettaglio nuvola di punti Tombe Limitrofe e cava delle Grotte, con la rappresentazione del sentiero, prima dell'importazione nel file di Qgis.

Via delle Cave



Scala di rappresentazione

1 : 2.000



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra la vettorializzazione nei diversi tratti del sentiero lungo la Via delle Cave, dal centro di Archeologia Sperimentale alla Cava delle Grotte, e il posizionamento delle tombe ipogee incontrate lungo il percorso. La realizzazione di questo tipo di rilievo è stato possibile grazie all'utilizzo del laser mapper portatile Zeb_Revo.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 02_immobili_e_antropizzazioni
- 04idrografia
- 05_orografia
- 06_vegetazione

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- coltura agricola
- bosco
- edificato
- sentieri
- fiumi
- cava estrazione
- curve di livello

Shapefile creati a seguito del rilievo tramite l'utilizzo dello strumento Zeb_Revo, laser mapper portatile:

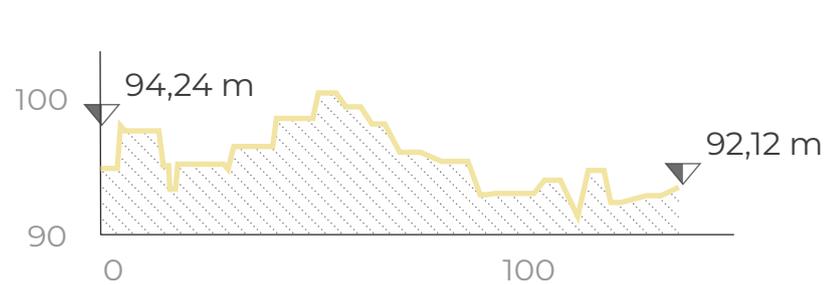
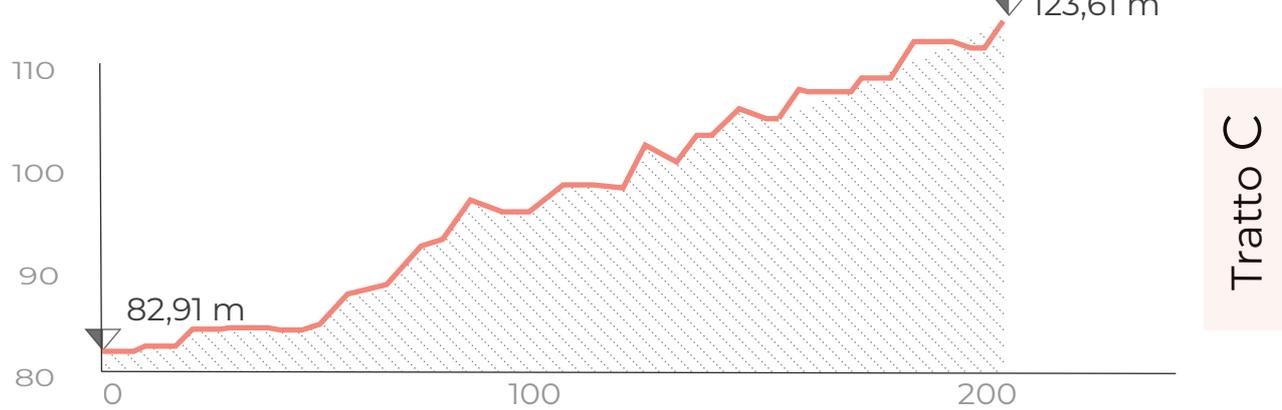
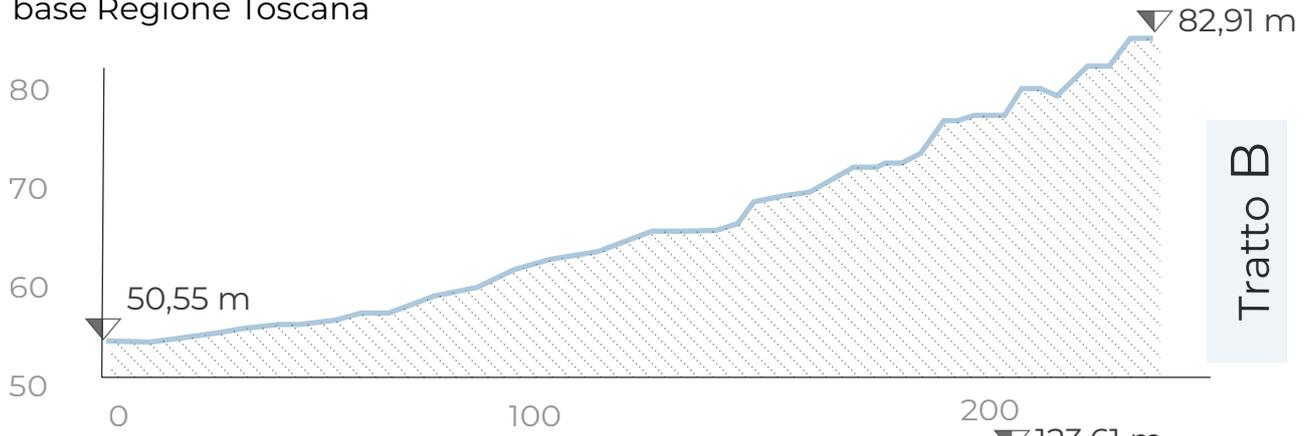
- Via della Cava_diviso
- Gruppo Tombe
- Tombe Limitrofe
- Piccola Cava

LEGENDA

	Area verde		Tratto B _ sentiero		Cava estrazione
	Coltura agricola		Tratto C _ piccola Cava		Curve di Livello
	Bosco		Tratto D _ gruppo Tombe		Tombe ipogee
	Edificato		Tratto E _ tombe Limitrofe		Modello Ombreggiato
			Tratto F _ Cava delle Grotte		
			Tratto G _ sentiero		

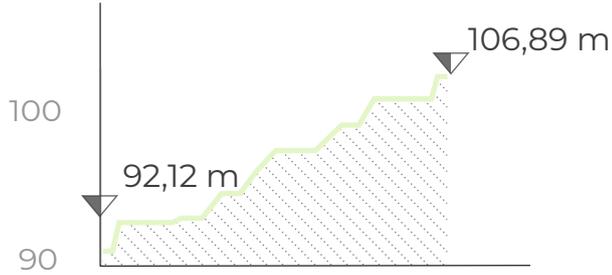
Sezioni Via delle Cave

base Regione Toscana



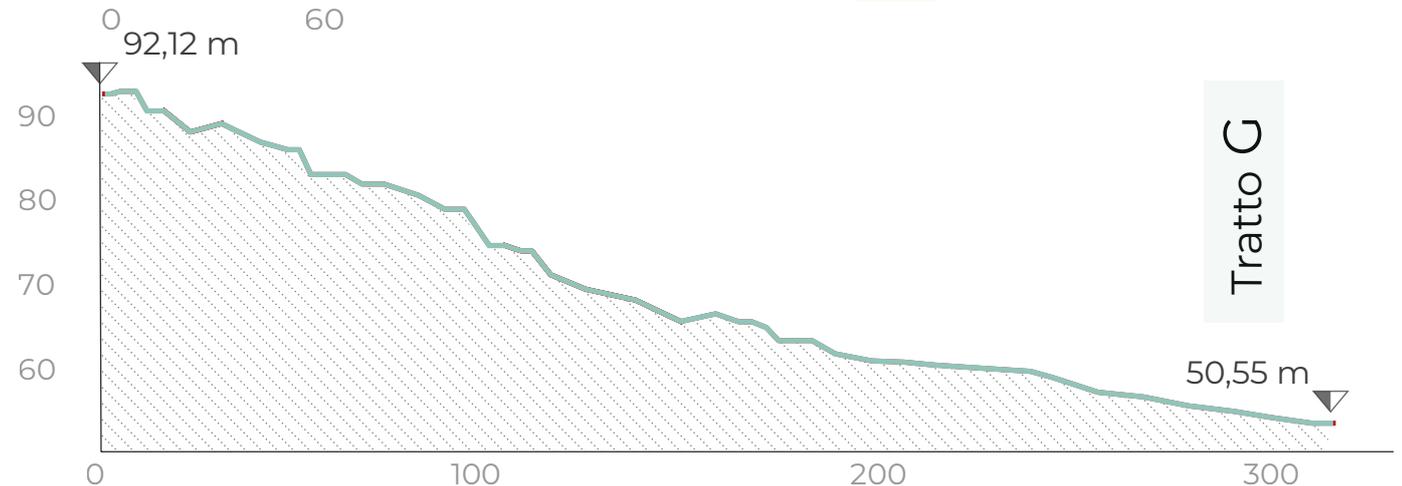
Tratto E

Le sezioni sono state realizzate tramite il plug-in di Qgis Terrain Profile.



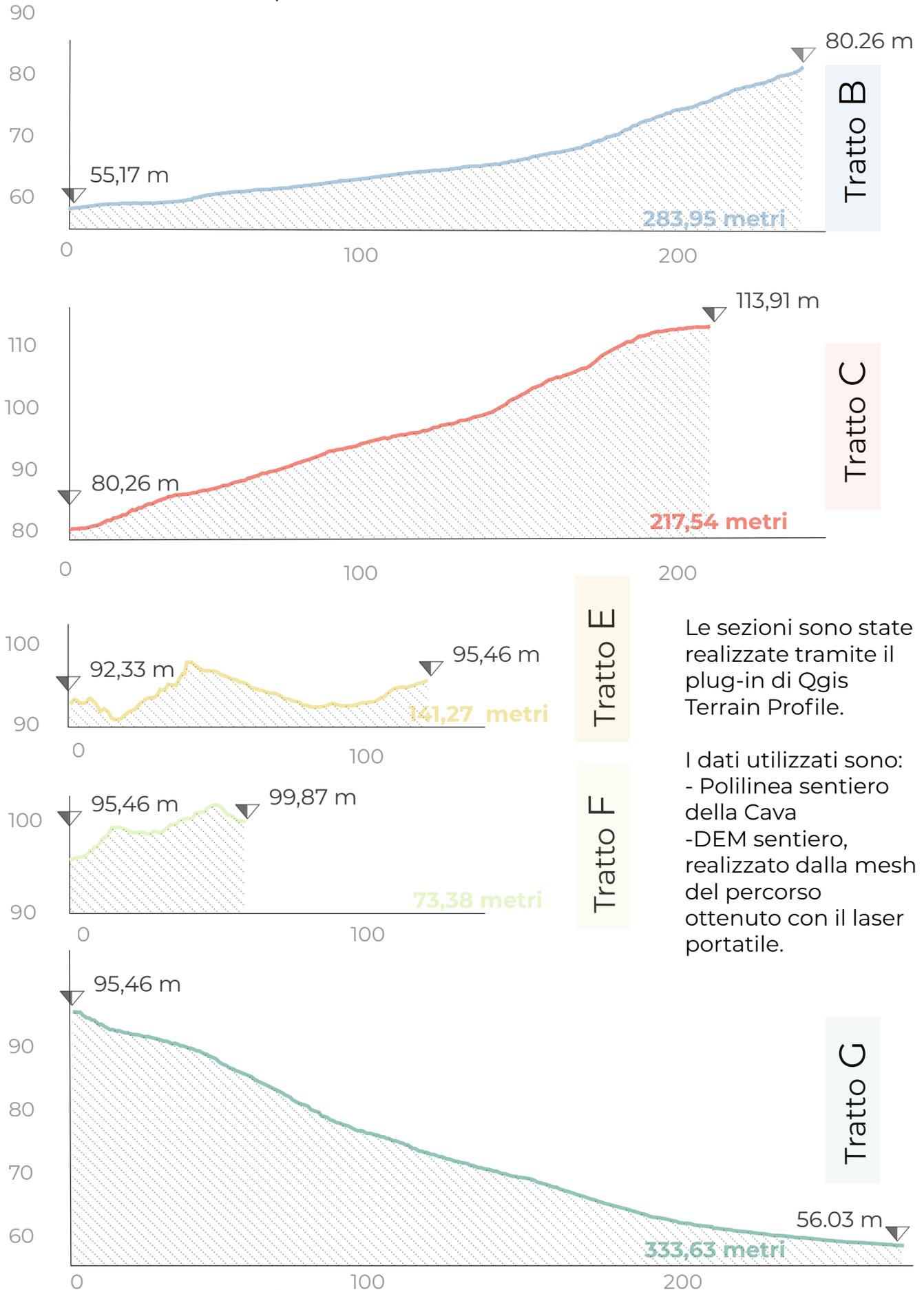
Tratto F

I dati utilizzati sono:
 - Polilinea sentiero della Cava
 - DEM Regione Toscana

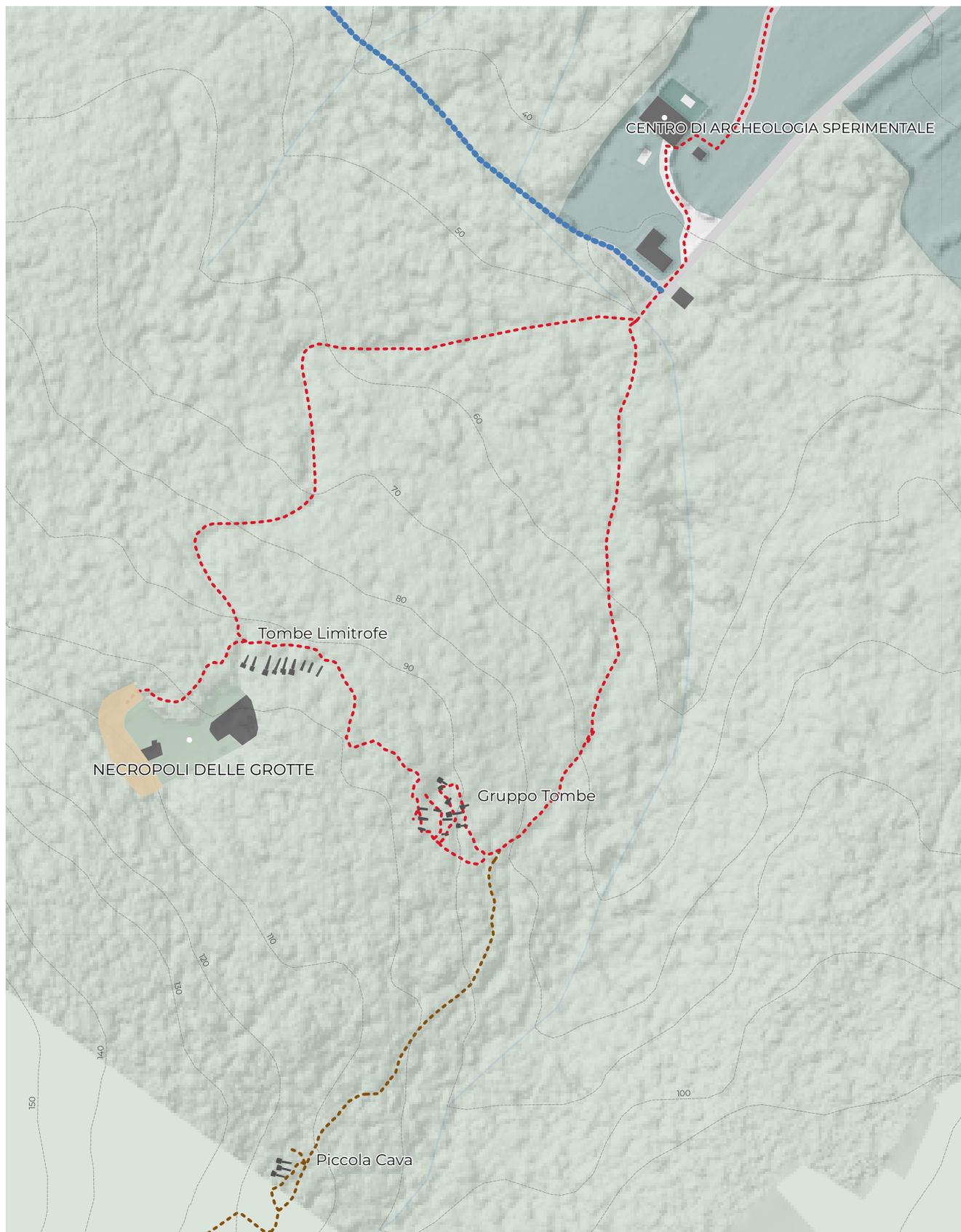


Sezioni Via delle Cave

base dati Laser Scanner portatile



Necropoli delle Grotte e Via delle Cave



Scala di rappresentazione

1 : 2.500



Carta elaborata con QGis 3.2.0
Sistema di riferimento WGS84/
UTM Zone 32N (codice EPSG:32632).

La carta mostra l'aggiornamento del sentiero lungo la Via delle Cave, dal centro di Archeologia Sperimentale alla Cava delle Grotte, e il posizionamento delle tombe ipogee incontrate lungo il percorso. La realizzazione di questo tipo di rilievo è stato possibile grazie all'utilizzo del laser mapping portatile Zeb_Revo.

I Dataset del progetto GIS che originano la mappa sono così strutturati:

Shapefile convertiti dal Geoportale:

- 02_immobili_e_antropizzazioni
- 04idrografia
- 05_orografia
- 06_vegetazione

Shapefile creati, sulla base dei dataset del geoportale della Regione Toscana :

- coltura agricola
- bosco
- edificato
- sentieri
- fiumi
- cava estrazione
- curve di livello

Shapefile creati a seguito del rilievo tramite l'utilizzo dello strumento Zeb_Revo, laser mapper portatile:

- vie del parco_catalogate
 - Via della Cava_aggiornato
 - Gruppo Tombe
 - Tombe Limitrofe
 - Piccola Cava
- RASTER:
- Modello Ombreggiato_volo Ebee

LEGENDA

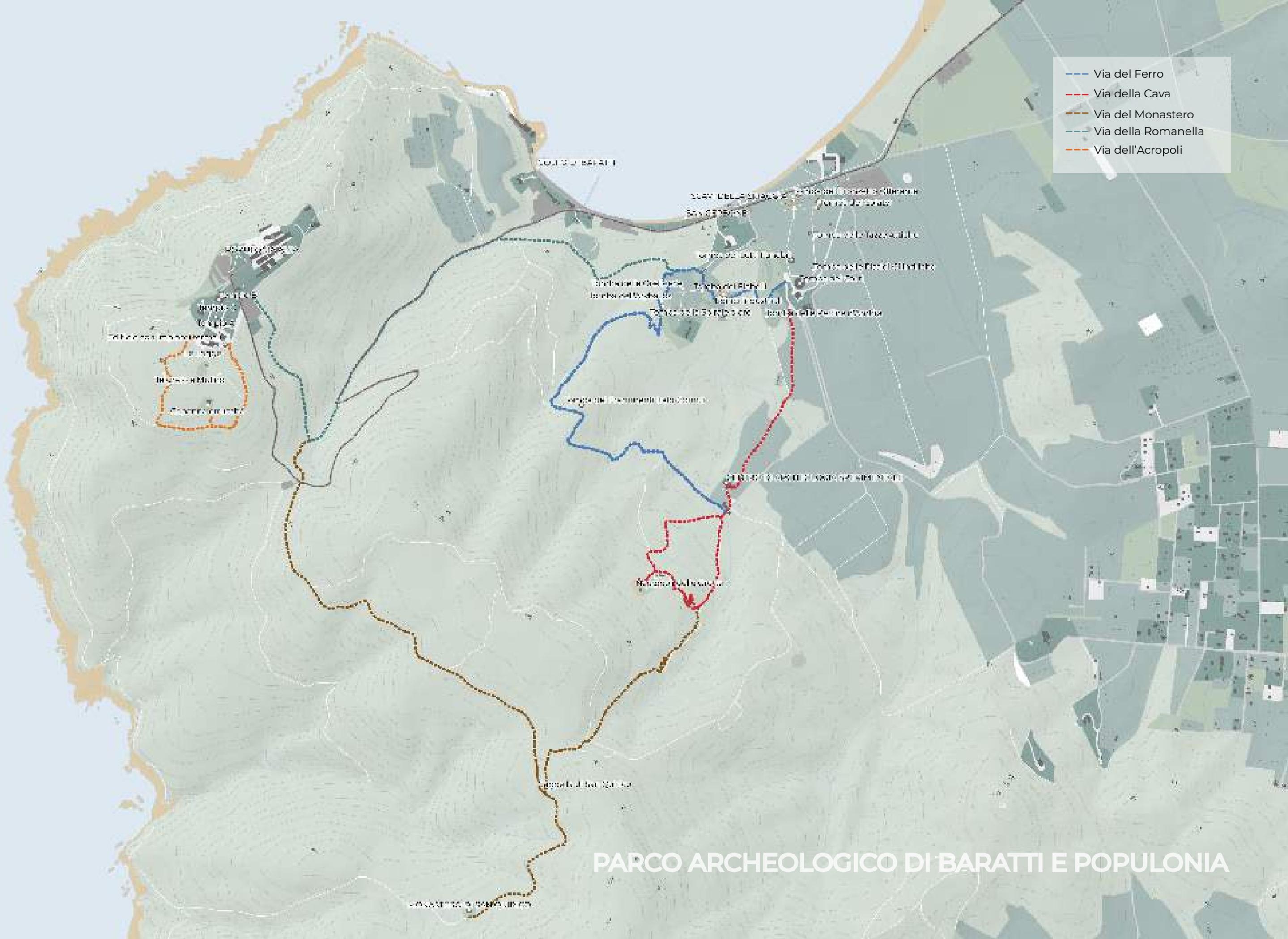
-  Area verde
-  Coltura agricola
-  Bosco
-  Edificato

-  Via del Ferro
-  Via della Cava
-  Via del Monastero
-  Tombe ipogee

-  Cava estrazione
-  Curve di livello
-  Modello Ombreggiato

Gli itinerari nel Parco

- Via del Ferro
- Via della Cava
- Via del Monastero
- Via della Romanella
- Via dell'Acropoli



PARCO ARCHEOLOGICO DI BARATTI E POPULONIA

Conclusioni

L'auspicio per questo elaborato di tesi è quello che possa essere preso in considerazione come metodo e approccio applicabile ad altre realtà architettoniche e paesaggistiche, sia per l'integrazione dei metodi e degli strumenti 3D, sia per la restituzione cartografica.

Porrei ancora una volta l'attenzione ai risultati ottenuti all'interno della Necropoli delle Grotte tramite lo strumento Zeb_Revo. Gli esiti ricavati dall'elaborazione di questi dati sono stati qualcosa di sconvolgente, molto emozionante, in quanto per la prima volta ho avuto a che fare con questa tipologia di dati, apportando grandi novità al mondo del rilievo tridimensionale, dovuta soprattutto alla rapidità di acquisizione di informazioni spaziali. Senza l'impiego di questo strumento nella zona boschiva in esame, non si sarebbe potuto aggiornare la carta sentieristica del parco in maniera accurata, con la conoscenza spaziale del corretto posizionamento delle tombe ipogee a camera e allo stesso tempo la possibilità di ottenere dati utili per un rilievo tridimensionale degli stessi oggetti incontrati lungo il percorso. Tutto ciò però è stato reso possibile solo grazie all'integrazione ragionata con le altre metodologie e informazioni di dati georiferiti in un sistema di riferimento opportuno.

I numerosi elaborati tridimensionali, riportati in questa tesi tramite delle immagini, possono essere vantaggiosamente visionati in maniera interattiva-dinamica per poter comprendere al meglio le informazioni presenti e aver un confronto diretto dei modelli ottenuti dalle diverse strumentazioni, prima della finale integrazione. Per poter riuscire a soddisfare questa richiesta si è cercato di realizzare un video per mostrare i risultati ottenuti, un viaggio multimediale all'interno del Parco Archeologico di Baratti e Populonia.

Bibliografia

Valeria ACCORCIA, Franco CAMBI, *Lo scavo della spiaggia di Baratti a Populonia*, Pisa, Edizioni ETS, 2009.

Valeria ACCORCIA, Enrico Maria GIUFFRE', *Lo scavo della Spiaggia di Baratti: campagne 2007-2008*, Pisa, Edizioni ETS, 2009.)

Giovanna BIANCHI, *Il monastero tra medioevo ed età moderna*, Firenze, All'insegna del Giglio, 2017.

P. A. BURROIGH, *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12*, Oxford Science Publications, New York, 1986.

Franco CAMBI, *I confini del territorio di Populonia: stato della questione*, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2003, pagg. 5-7.

Franco CAMBI, Lucia BOTARELLI, *Il territorio di Populonia fra il periodo Etrusco tardo e il periodo Romano. La ricognizione archeologica*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 2004, pagg. 161-163.

Franco CAMBI, Fernanda CAVARI, Cynthia MASCIONE, *Populonia. Costruzione e produzione del ferro tra il periodo etrusco e la romanizzazione*, Bari, 2009, Edipuglia.

Andrea CAMILLI, *...Ducit in Arva sinum...*, *breve nota sulla definizione del sistema portuale popoloniese*, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2005, pagg.203-205,209, 213.

Andrea CAMILLI , Marta COCCOLUTO, Silvia GUIDERI, Anna PATERA, Maurizio TOCCAFONDI, *Leggere la storia, un progetto di conservazione e valorizzazione per il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, in www.academia.edu.

Franco CAMPI, *Il ruolo degli oppida e la difesa del*

territorio in Etruria: casi di studio e prospettive di ricerca, in *Aristonothos: scritti per il Mediterraneo antico* (vol.5), Trento, Tangram Edizioni Scientifiche, 2012, pag. 287.

Maria Luisa CECCARELLI, Gabriella GARZELLA, *Populonia e Piombino in età medievale e moderna*, Pisa, Atti del Convegno, 1993.

Marta COCCOLUTO, Silvia GUIDERI, *Una città etrusca sul mare. Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Parchi Val di Cornia S.p.A., atti del convegno promosso dalla Quinta Commissione consiliare Attività culturali e turismo del Consiglio regionale della Toscana: Piombino - Orbatello, Firenze, tipografia Consiglio regionale della Toscana, 18-20 settembre 2009.

Marta COCCOLUTO, *Il parco archeologico di Baratti e Populonia. Un caso studio per la valorizzazione, la fruizione e la gestione dei beni culturali*, (slide), Università degli Studi di Siena, Master Universitario di II livello in "Conservazione e Gestione dei Beni Archeologici e Storico-Artistici", 2012-2013.

Comune di Piombino, *Piano Particolareggiato del Parco Archeologico di Baratti e Populonia: Relazione Paesaggistica*, luglio 2011, pagg.1-2.

Gian Camillo CORTEMIGLIA, Renzo MAZZANTI, Gian Clemente PAREA, *Geomorfologia della Baia di Baratti e delle sua spiaggia*, Torino, SAN, 1983.

Luisa DALLAI, *Indagini Archeologiche sul territorio dell'antica diocesi di Massa e Populonia: insediamenti monastico e produzione del metallo fra il XI e il XIII secolo*, Firenze, All'insegna del Giglio, 2003.

Fabio FEDELI, *Populonia. Storia e territorio*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 1983.

Fabio FEDELI, Attilio GALIBERTI, Antonella ROMUALDI, *Populonia e il suo territorio. Profilo storico archeologico*,

Firenze, All'Insegna del Giglio, 1993.

Paolo GHERLANDONI, *Piombino: profilo di storia urbana*, Pisa, Pacini Editore, 1977.

Mario Angelo GOMANASCA, *Elementi di Geomatica*, Associazione Italiana di Telerilevamento (AIT), Milano, 2004, pp.304-307.

Barbara GUANDALINI, Giovanni SALERNO, *Manuale di Arch-GIS 10*, pag.27.

Ornella GUZZI, Antonella ROMUALDI, Rosalba SETTESOLDI, *Populonia in età ellenistica: nuovi dati nella raccolta dalla necropoli delle Grotte*, (in) *Materiali per Populonia 4*, Firenze, All'insegna del Giglio, 2005, pag. 175-202.

Cynthia MASCIONE, Stefania SALERNO, *Il sistema difensivo di Populonia: nuovi dati sulle mura della città*, Atti del Convegno Internazionale, Sapienza Università di Roma, 2012, pagg. 411-414.

Renzo MAZZANTI, *Elementi per la storia del clima in Toscana dal Miocene all'Olocene*, Firenze, Felice Editore, 2008.

Matteo MILLETTI, *Le città invisibili: archeologia dei processi di trasformazione urbana*, atti del Seminario internazionale in onore di Gilda Bartoloni e Alberto Moravetti, Roma, Officina Etruscologia, 2015.

Antonio MINTO, *Populonia: la necropoli arcaica*, Firenze, R. Bemporad e Figlio Editori, 1922.

Orazio PAOLETTI, *I materiali lapidei in Architettura Funeraria a Populonia tra il IX e il VI secolo a.C.*, (in) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università degli Studi di Siena, Atti del Convegno, Castello di Populonia, 30-31 ottobre 1997, Firenze, Edizioni all'Insegna del Giglio, 2000, pagg. 1-7.

PE & RS, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, journal of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPR), 1980.

Piano Particolareggiato del Parco Archeologico di Baratti e Populonia: Relazione Paesaggistica, Comune di Piombino, 2011.

PIT. *Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico. Relazione generale del Piano Paesaggistico*, Regione Toscana, 2006.

PIT. *Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico. Scheda ambito di paesaggio: Colline Metallifere e isola d'Elba*, Regione Toscana, 2015.

Paola PUMA, *Contributi per il rilievo archeologico di Populonia. Le necropoli documentate*, Firenze, Edifir Edizioni Firenze, 2014.

ROBINSON et Al., *Elements of Cartography*, 6th ed. New York: Wiley, 1995.

Antonella ROMUALDI, *Guida archeologica di Populonia*, Roma, Editrice Vision, 1983.

Antonella ROMUALDI, Rosalba SETTESOLDI, *Populonia. Necropoli delle Grotte: lo scavo nell'area della cava, 1997-1998*, Pisa, ETS, 2009.

Giulia SAMMARTANO, Antonia SPANÒ, *Point clouds by SLAM-based Mobile Mapping Systems: accuracy and geometric contents validation in multi-sensor survey and stand-alone acquisition*, Applied Geomatics, 2018.

Andrea SEMPLICI, *Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Guida alla scoperta di un paesaggio, Firenze, 2008, Parchi Val di Cornia S.p.A., Piombino (LI).

Antonia SPANÒ, Dispense per il workshop "Fotogrammetria digitale e scansioni 3D per il rilievo dei Beni Culturali,

Politecnico di Torino, 2016 / 2017.

Antonia SPANÒ, Dispense per il corso “Laboratorio di geomatica per la modellazione dell’architettura”, Politecnico di Torino, 2017 / 2018.

Stephan STEINGRABER, *Abundance of Life: Etruscan Wall Painting*, Los Angeles, 2006, Paul Getty Trust, pp. 277-278, 307.

Leonardo ZAMPI, *Il Territorio di Populonia dalla Preistoria al Tardo Antico*, pag. 132, tratto da www.academia.edu.

Andrea ZIFFERERO, *Architettura Funeraria a Populonia tra il IX e il VI secolo a.C.*, (in) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università degli Studi di Siena, Atti del Convegno, Castello di Populonia, 30-31 ottobre 1997, Firenze, Edizioni all’Insegna del Giglio, 2000, pagg. 1-3.

Sitografia

www.academia.edu

www.agisoft.com

www.discovertuscanycity.com

www.golfobaratticom

www.inklink.it

www.instagram.com

www.invaldicornia.it

www.parchivaldicornia.it

www.qgis.org

www.regione.toscana.it/-geoscopio

www.sensefly.com

www.visittuscany.com

www.3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/

Tesi

Jasmine BAGNOLI, Tesi Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici: *Studio dei resti cremati umani provenienti dalla necropoli villanoviana di via Marche a Pisa*, Università di Pisa, Anno Accademico 2011-2012, pagg. 67,76-77.

Elisabetta COLUCCI, Tesi di Laurea Magistrale in Architettura per il Progetto Sostenibile: *Architettura e natura di paesaggi archeologici. Analisi spaziali integrate in ambiente WEB-GIS per la conservazione e la comunicazione della memoria storica: il Parco Archeominerario di San Silvestro*, Politecnico di Torino, Anno Accademico 2016-2017.

Francesca GEROSA, Valeria GUERRISI, Tesi laurea magistrale in architettura: *Il Parco Archeologico di Baratti e Populonia*, Politecnico di Milano, Anno Accademico 2012-2013.

Laura PAGLIANTINI, Tesi di Dottorato in Storia e Archeologia Globale dei Paesaggi, XXVI Ciclo: *Aithale. L'isola d'Elba: paesaggi antichi e bacini d'approvvigionamento*, Università di Foggia, Dipartimento di Studi umanistici, Anno Accademico 2013-2014 .

Ringraziamenti

Alla mia relatrice, la Professoressa Nannina Spanò, che ha saputo trasmettermi la passione, mi ha incoraggiato e guidato in questo percorso spronandomi a raggiungere obiettivi che ieri pensavo impossibili, ma oggi ho scoperto possibili.

Al Professor Chiabrando e ai ragazzi del laboratorio di Geomatica, Giulia, Betti, Lorenzo, Alessio, Jack, Alessandra ed Emilio: grazie ad ognuno di voi per il tempo che mi avete dedicato in questi mesi, accogliendomi sempre con un sorriso. Far parte del Team Direct con voi mi ha regalato piacevoli soddisfazioni personali.

A mio papà, il mio sostenitore numero uno, colui che mi insegna a guardare il mondo in maniera critica e a “fotografare” le cose belle con gli occhi.

Alla mia famiglia, per avermi permesso di inseguire questo traguardo con serenità e con tutto l’amore che solo voi sapete darmi.

A nonna Conci e nonno Giorgio, per il sostegno giornaliero degli ultimi mesi in compagnia di una buona tazza di tè e tanti sogni per il futuro.

Ad Andrea, semplicemente, grazie di cuore per tutto.

Alle mie amicizie e alla mia squadra di pallavolo.

Grazie!