



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in
**Pianificazione Territoriale, Urbanistica e
Paesaggistico-Ambientale**

Tesi di Laurea Magistrale

**Definizione di un WebGIS per la documentazione
dell'isola Culuccia (Sardegna)**

Relatore: Prof. Andrea Maria Lingua

Correlatrice: Elisabetta Colucci

Candidato:

Davide Piazza

S288693

Anno accademico 2022/2023

INDICE

ABSTRACT.....	2
1 – INTRODUZIONE.....	4
2 – INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL’ISOLA CULUCCIA.....	5
3 – NORMATIVA VIGENTE SULLA TUTELA E SALVAGUARDIA DEI BENI AMBIENTALI E PAESAGGISTICI PRESENTE SULL’ISOLA	7
3.1 – NORMATIVA A LIVELLO STATALE.....	7
3.2. – NORMATIVA A LIVELLO REGIONALE.....	10
3.3 – NORMATIVA A LIVELLO LOCALE.....	12
4 – STRUMENTI E TECNOLOGIE PER L’ANALISI APPROFONDATA DEI BENI	15
4.1 - GEOMATICA E TECNICHE DIGITALI DI RILEVAMENTO	15
4.1.1 – FOTOGRAMMETRIA.....	15
4.1.2 – LIGHT DETECTION AND RANGING	21
4.2 – SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI, GIS e WEBGIS	23
4.3 – GEOPORTALE DELLA SARDEGNA	26
4.4 – WMS, WFS e WCS	29
4.5 – RILIEVO DEL TEAM DIRECT, RISULTATI OTTENUTI E POSSIBILI INTERVENTI.....	31
5 – ELABORAZIONI PRODOTTE E RISULTATI OTTENUTI.....	36
5.1 – DAL MODELLO CONCETTUALE AL MODELLO INTERNO.....	36
5.2 – IL GIS	45
5.3 – IL WEBGIS	48
5.3.1 – LA WEB APPLICATION	50
CONCLUSIONI E RIFLESSIONI	54
BIBLIOGRAFIA.....	55

ABSTRACT

Il presente lavoro nasce dalla consapevolezza che strumenti come i Sistemi Informativi Territoriali necessitano di una nuova dimensione, che ne ampli il pubblico di riferimento. Secondo tale presupposto, il lavoro effettuato per l'Isola di Culuccia è una metodologia che riprende il lavoro del Team Direct (team studentesco del Politecnico di Torino), che si impegna ad analizzare, nel rispetto dell'isola stessa, un territorio abbandonato ma ricco di peculiarità da dover tutelare e rivalutare.

La suddetta tesi mira a creare degli strumenti di supporto allo sviluppo del territorio dell'isola Culuccia, al fine di preservarne l'identità storica, naturale e paesaggistica.

Il lavoro si sviluppa partendo dall'inquadramento territoriale dell'Isola, concentrandosi sui suoi caratteri strutturanti. Successivamente, si procede analizzando il quadro normativo di tutela alle varie scale normative, per poi approfondire gli strumenti di analisi a sostegno dei beni territoriali.

Al fine di comprendere al meglio le tematiche trattate risulta necessario soffermarsi su nozioni teoriche, alla base del presente lavoro, come nozioni di geomatica e di fotogrammetria, i sistemi informativi territoriali e i sistemi informativi geografici, il Geoportale della Regione Sardegna e il lavoro del Team Direct.

L'elaborato si pone, dunque, come fondamento di un lavoro concettuale che ha l'obiettivo di rivalutare e ampliare il bacino di persone che possono usufruire di questi sistemi, potenziandone le possibilità e semplificando alcuni processi che, allo stato attuale, risultano lenti ed analitici.

Esito del presente lavoro di tesi è la realizzazione di un database spaziale e di una Web App GIS (Geographic Information Science/System) che permetta agli utenti di visualizzare e analizzare le caratteristiche dell'isola, fornendo supporto per azioni che valorizzino e rispettino la sua natura. La Web App risulta essere lo strumento più utile per raggiungere questi obiettivi, in modo rapido e accessibile.

Ciò può essere condiviso tramite un link che consentirà la visualizzazione della mappa in una rappresentazione multiscala all'interno della Web App.

In essa, con l'interfaccia user-friendly adoperata, sarà possibile interagire con i dati presenti, interrogandoli o attivando i widget inseriti.

Tale progetto ha diverse potenzialità che possono ancora essere sviluppate. La Web App non è altro che una base nel quale sarà possibile integrare nuovi dati, inseriti dai rilievi futuri, aggiornare i dati presenti e svilupparli su diversi assetti creando nuovi tematismi.

1 – INTRODUZIONE

I sistemi informativi, nel tempo, hanno assunto una rilevanza sempre più determinante nei processi di pianificazione territoriale, diventando strumento di analisi e di riferimento per la definizione di progetti e strategie territoriali. (Migliaccio & Carrion, Sistemi informativi territoriali. Principi e applicazioni, 2016)

In tal senso, al giorno d'oggi, per uno sviluppo territoriale efficiente è necessario che sia accompagnato o preceduto da uno sviluppo informatico che permetta la trasmissione di dati passati e presenti, senza i quali sarebbe più complicato.

Attualmente, si è in possesso di strumenti innovativi che danno la possibilità di costruire sistemi in grado di rivoluzionare gli aspetti ambientali, insediativi e infrastrutturali di un territorio.

L'isola Culuccia (Sardegna, Santa Teresa di Gallura, Sassari), oggetto della tesi, non possiede nessun dato di tipo territoriale che possa rendere il suo sviluppo più rapido. L'obiettivo dei proprietari, Stella e Marco Boglione, è quello di dare nuova vita all'isola ormai abbandonata da 35 anni.

Per favorire il progresso è fondamentale che venga strutturata una base per poter pianificare le azioni trasformative future. A tal proposito, si è adoperato un approccio innovativo che vede, oltre alla produzione di un sistema informativo territoriale e dei singoli dati di base dell'isola, la creazione di una piattaforma spaziale online di facile accesso che consenta a chiunque la possibilità di visualizzare, analizzare, modificare e creare dati al fine di incrementare le potenzialità dell'isola.

Studiare e documentare gli elementi del passato e i segni che hanno modificato il paesaggio ci permette di capire che ciò che perveniamo oggi è frutto di un lascito del passato, e solo proteggendola e valorizzandola possiamo trasmetterla ai posteri.

L'obiettivo perseguito consiste nel tutelare e valorizzare ciò che è presente sull'isola Culuccia, per far ciò è di fondamentale importanza definire una base efficace da cui partire.

2 – INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'ISOLA CULUCCIA

L'isola Culuccia si trova nella parte settentrionale della Sardegna, all'interno del comune di Santa Teresa di Gallura. Circondata dal mare e legata da un piccolo lembo di terra ferma, l'isola è ricoperta nella sua totalità dalla macchia mediterranea, presente in tutta la Sardegna. All'interno dell'isola è possibile trovare vari ruderi, appartenenti ai proprietari precedenti, ed un vigneto (trattato in seguito).

Nel corso degli anni, l'isola è stata posseduta da diverse famiglie che ne usufruivano in modi diversi. Fino al 1996 l'isola fu di proprietà della famiglia Sanna e dal 1923 ebbe come unico abitante Angelo Sanna che, come un eremita, abbandonò la città per dedicarsi esclusivamente alla vita di campagna, senza acqua corrente e luce elettrica.

Lo spopolamento dell'isola la trasforma, con il passare del tempo, in un territorio ad elevata biodiversità.

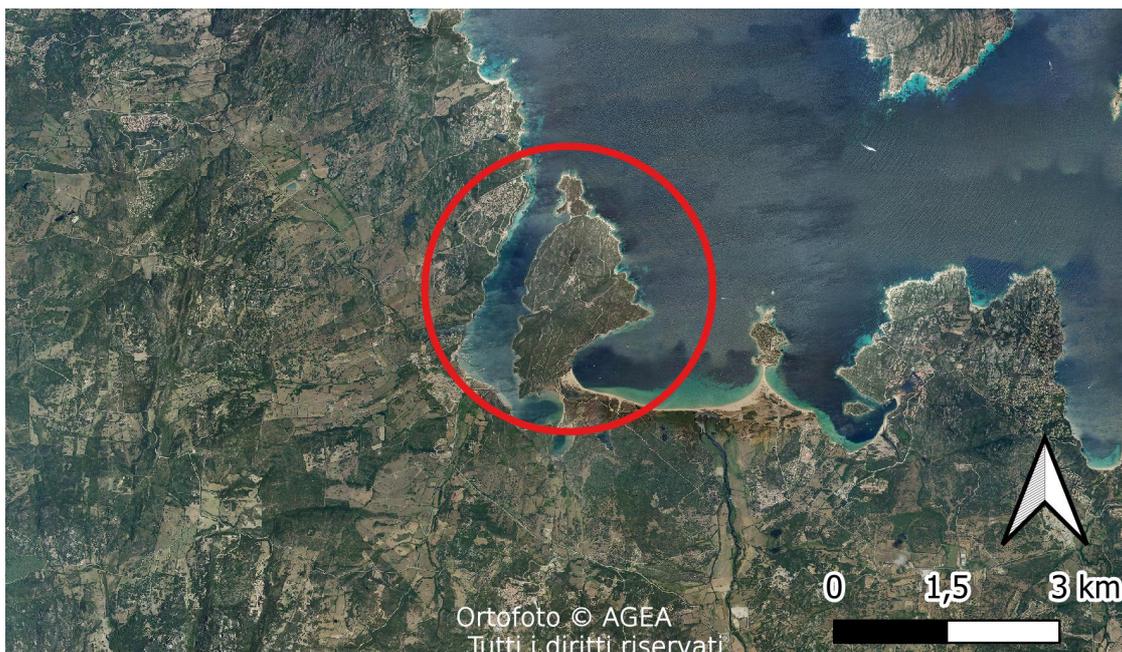
Alla morte di Angelo Sanna nel 1996, l'isola venne donata all'Associazione di Italiana per la Ricerca contro il cancro. Successivamente passò a due famiglie facoltose italiane e, dal 2017, è di proprietà Marco Boglione.

L'isola nel corso del tempo ha subito numerosi cambiamenti, mantenendo però il suo aspetto incontaminato, presente tutt'ora. Nel tempo si è cercato di sfruttare al meglio il terreno presente nell'isola, ricco di biodiversità ed ideale per la crescita della fauna. Negli anni Cinquanta, infatti, Ziu Agnuleddu, come veniva chiamato Angelo Sanna, piantò un vigneto di Vigna in Puntata con vitigni autoctoni galluresi. Il territorio dell'isola è di proprietà della BIRU Srl Agricola, azienda di produzione di prodotti agroalimentari provenienti dall'isola e di alta qualità.

L'isola risulta, per la quasi totalità della sua estensione, poco intaccata dall'impronta dell'uomo. Il progetto della famiglia Boglione, infatti, consiste nel tutelare questa sua identitaria caratteristica naturalistica, migliorandola e

salvaguardandola. Un ulteriore fine è quello di valorizzare l'isola e renderla più accessibile ai turisti, sempre con il rispetto dell'isola stessa.

Già si è cercato di valorizzarla grazie ad alcuni interventi come la riapertura dei vecchi sentieri, che erano stati ricoperti dalla vegetazione, oppure il recupero delle due vigne e alcuni orti presenti sul territorio. (Azienda Agricola Culuccia, 2017)



Legenda

Base cartografica Ortofoto 2019 (fonte: Geoportale Sardegna)

Figura 1: Inquadramento su ortofoto 2019 scala di rappresentazione 1:100.000
(Fonte: elaborazione su base cartografica del Geoportale Sardegna)



Figura 2: Porzione di territorio urbanizzato dell'isola (Fonte: <https://www.culuccia.com>)

3 – NORMATIVA VIGENTE SULLA TUTELA E SALVAGUARDIA DEI BENI AMBIENTALI E PAESAGGISTICI PRESENTE SULL'ISOLA

3.1 – NORMATIVA A LIVELLO STATALE

A livello statale, l'area compresa nell'isola Culuccia rientra sotto vari vincoli.

A partire dal 1922, Benedetto Croce, con la legge 788 "Per la tutela delle bellezze naturali e degli immobili di particolare interesse storico" introduce, per la prima volta, la nozione di "paesaggio" considerandolo una rappresentazione materiale e visibile della patria. Solo più avanti con la legge "Bottai" n.1497/39 per la "Protezione delle bellezze naturali" viene istituito l'obbligo per le regioni di redigere dei piani paesistici, un disegno che ammette che in un'area vasta intervengano variazioni di tempo, che riguardano le vaste località soggette a vincolo, che tengano conto dei valori paesistico-ambientali. Si stabiliscono zone di rispetto intorno alle aree vincolate e regolamentata la distribuzione della flora. (Settis, 2010)

La legge "Bottai" fa da mediatrice tra l'interesse pubblico e privato, riprendendo i principi della 364 del 1909 e rendendoli più organici.

Attraverso il decreto ministeriale del 30 aprile del 1966 viene dichiarato di notevole interesse pubblico l'intero territorio comunale di Santa Teresa di Gallura.

"Riconosciuto che la zona predetta ha notevole interesse pubblico perché tutto il territorio riveste particolare importanza per la bellezza orografica, sia nell'interno che sul mare, arricchita da grandissime macchie di flora mediterranea, con strapiombi di roccia grigio rosata, profondissime insenature, brevi e bianchissime spiagge, isole, scogli, tali da consentire un susseguirsi di quadri naturali di incomparabile valore, mentre l'abitato reca la tipica impronta squadrata della città subalpina e costituisce un unico esempio in Sardegna tale da essere considerato un complesso imponente di cose immobili avente valore estetico e tradizionale; Decreta: L'intero territorio del comune di Santa Teresa

Gallura (Sassari) ha notevole interesse pubblico ai sensi della legge 29 giugno 1939, m. 1497, ed è quindi sottoposto a tutte le disposizioni contenute nella legge stessa. Dal vincolo s'intende esclusa la zona demaniale marittima costituente le banchine portuali." (D.M. 30/04/66) (G.U. 25 luglio 1966 n°183)

Le aree vincolate dalla L.1497/39 confluiscono nel Codice dei Beni Culturali del Paesaggio (D.lgs 42/2004) all'interno dell'art. 136 "Aree e immobili di notevole interesse pubblico": "Sono soggetti alle disposizioni di questo Titolo per il loro notevole interesse pubblico:

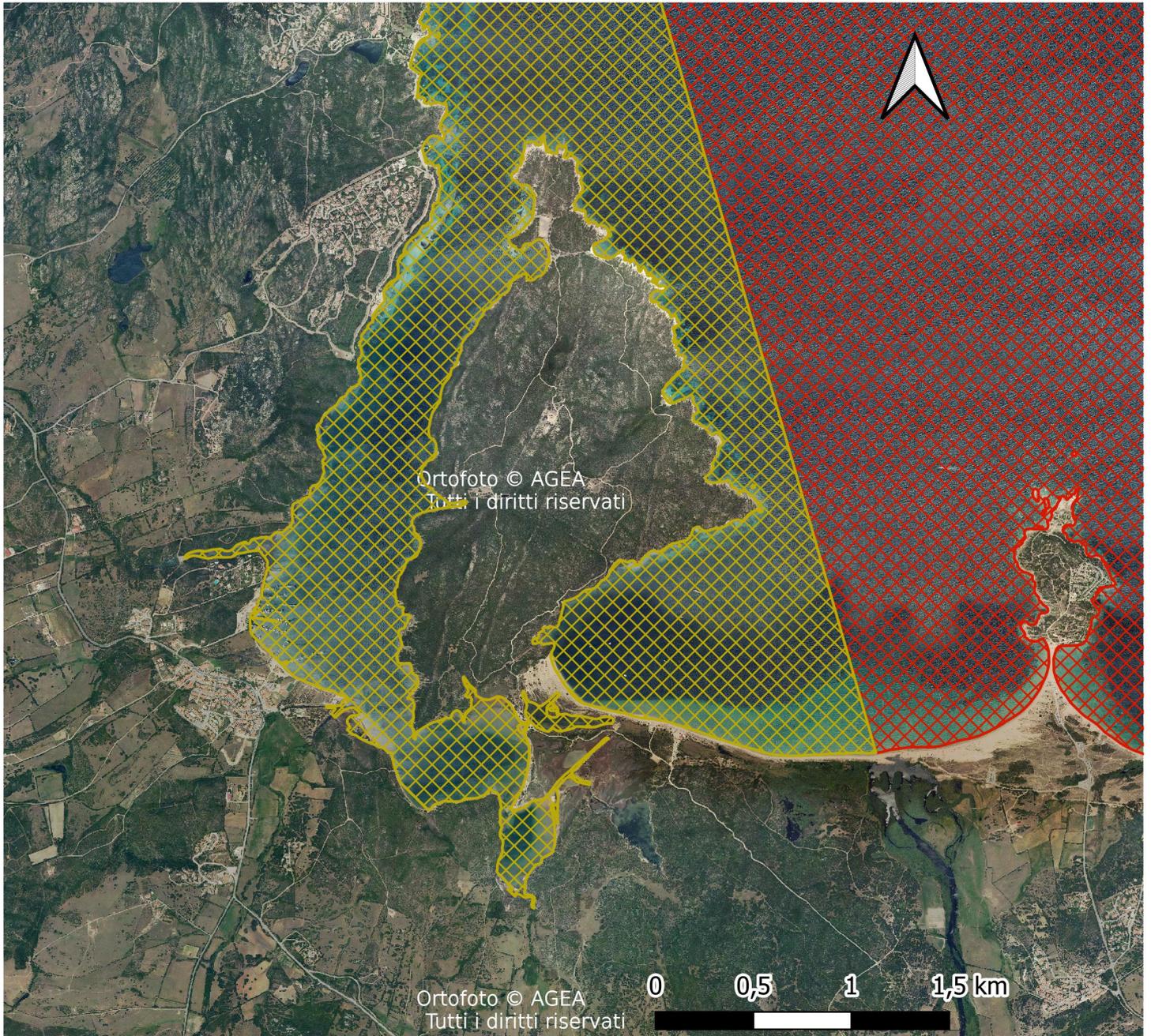
- a) le cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale, singolarità geologica o memoria storica, ivi compresi gli alberi monumentali;
- b) le ville, i giardini e i parchi, non tutelati dalle disposizioni della Parte seconda del presente codice, che si distinguono per la loro non comune bellezza;
- c) i complessi di cose immobili che compongono un caratteristico aspetto avente valore estetico e tradizionale, inclusi i centri ed i nuclei storici;
- d) le bellezze panoramiche e così pure quei punti di vista o di belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si goda lo spettacolo di quelle bellezze." (D. Lgs. 42/2004, Art.136)

Per alcuni tipi di interventi di trasformazione del territorio all'interno delle suddette aree vincolate, il Codice prevede il rilascio dell'autorizzazione paesaggistica, secondo l'articolo 146. "L'autorizzazione paesaggistica costituisce atto autonomo e presupposto rispetto al permesso di costruire o agli altri titoli legittimanti l'intervento urbanistico-edilizio." (D.Lgs. 42/2004 e s.m.i., Art. 146).

L'autorizzazione è efficace per un periodo di cinque anni, scaduto il quale l'esecuzione dei progettati lavori deve essere sottoposta a nuova autorizzazione. I lavori iniziati nel corso del quinquennio di efficacia dell'autorizzazione possono essere conclusi entro e non oltre l'anno successivo la scadenza del quinquennio medesimo.

L'istanza di autorizzazione paesaggistica è pronunciata dalla regione, vincolata dal parere della soprintendenza.

L'area in analisi è interamente soggetta a Vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. 3267/23.



Legenda

 SIC/ZSC ITB013052 "Da Capo Testa a Isola Rossa"

 SIC ITB010008 "Arcipelago La Maddalena"

Base cartografica Ortofoto 2019 (fonte: Geoportale Sardegna)

Figura 3: Carta delle aree individuate nella Rete Natura 2000 scala di rappresentazione 1:30.000 (Fonte: elaborazione sulla base dei dati del Geoportale Sardegna in scala 1: 30.000)

¹ http://www.cbgallura.it/index.php?option=com_content&view=article&id=47

3.2. – NORMATIVA A LIVELLO REGIONALE

Per quanto concerne la responsabilità regionale al fine della tutela e salvaguardia del territorio, l'isola Culuccia è stata individuata all'interno del Piano Paesaggistico Regionale della Sardegna del 2006 nell'ambito 17 in diverse tipologie di territori da tutelare.

Il Piano Paesaggistico Regionale è uno strumento del Governo del Territorio il cui obiettivo è preservare, tutelare, valorizzare e tramandare alle generazioni future i caratteri ambientali, storici, culturali ed abitativi del territorio sardo, preservando e mantenendo gli aspetti culturali e naturali legati alla biodiversità paesaggistica, garantendo la tutela del territorio e promuovendo forme di sviluppo sostenibili per valorizzarne la qualità. Il piano individua la fascia costiera come risorsa strategica e fondamentale per lo sviluppo sostenibile del territorio sardo e riconosce la necessità di ricorrere a forme di gestione integrata per garantire la tutela della biodiversità, l'unicità e l'integrità dell'ecosistema e il suo ruolo turistico attrattiva per il settore. (Relazione Generale, 5 settembre 2006)

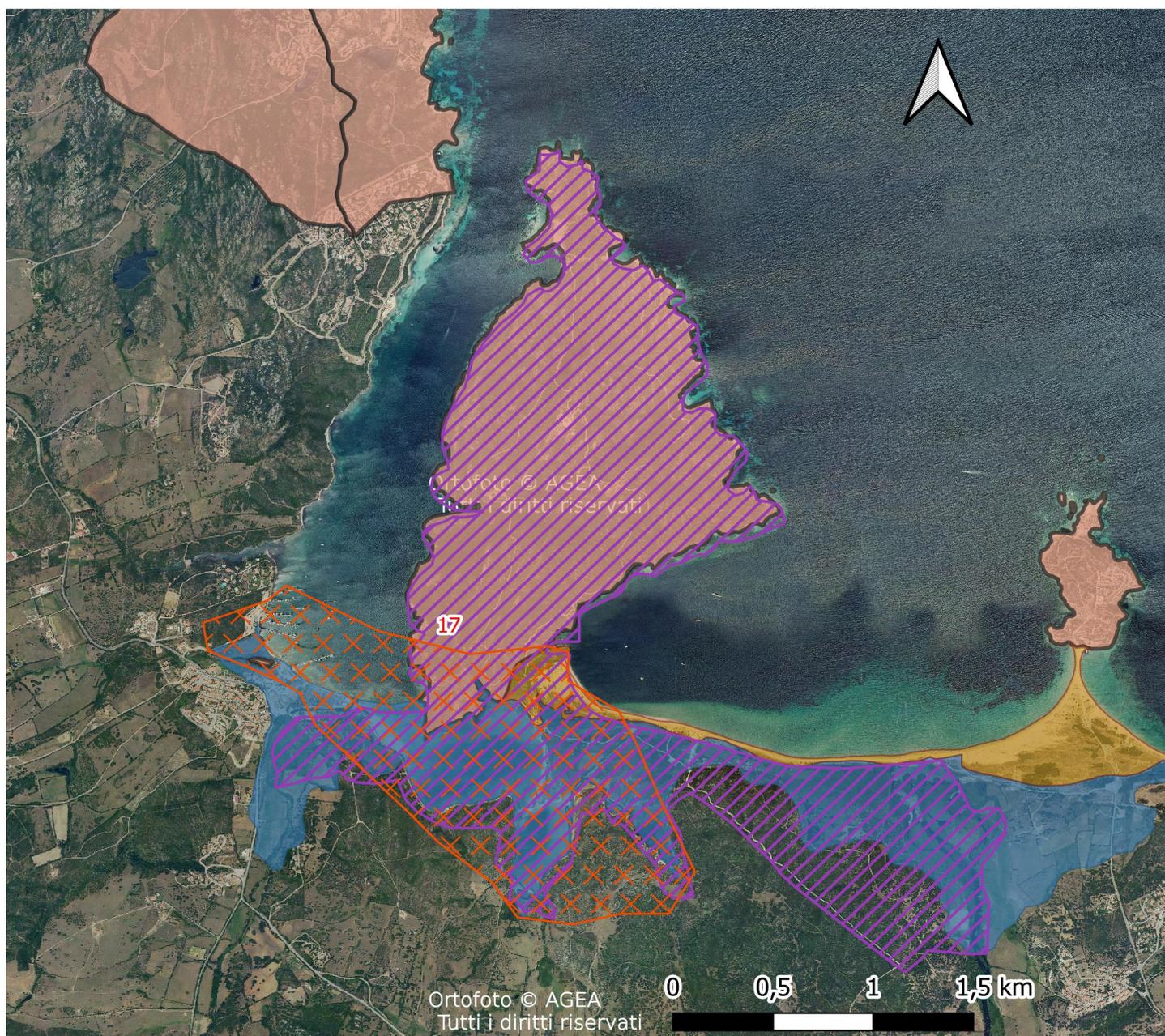
Il piano è composto dalla relazione di piano, dalle norme tecniche d'attuazione, dalle schede di ambiti di paesaggio e dalla cartografia di piano divisa per ambiti di paesaggio. Ogni tavola rappresenta, attraverso differenti simboli, l'assetto ambientale, l'assetto storico-culturale e l'assetto insediativo.

L'isola ricade nell'ambito di paesaggio 17 e nel suo caso specifico è rappresentata interamente nella simbologia inerente all'assetto ambientale come:

- Sistemi a baie e promontori, falesie e piccole isole
- Campi dunari e sistemi di spiaggia
- Zone umide costiere
- Aree di notevole interesse faunistico

Questi quattro tematismi sono individuati alla stregua di Beni paesaggistici ambientali ex Art.143 D.Lgs n. 42/2004.

Inoltre, nelle aree di interesse naturalistico istituzionalmente tutelate, l'area è rappresentata come Oasi permanente di protezione faunistica.



Legenda

-  Sistemi a baie e promontori, falesie e piccole isole
-  Aree di notevole interesse faunistico
-  Oasi permanenti di protezione faunistica
-  Campi dunari e sistemi di spiaggia
-  Zone umide costiere

Base cartografica Ortofoto 2019 (fonte: Geoportale Sardegna)

Figura 4: Ambito 17 Piano Paesaggistico Regionale Sardegna 2006 scala di rappresentazione 1:30.000 (Fonte: elaborazione personale su base PPR in scala 1: 50.000)

All'interno delle Norme tecniche d'attuazione del PPR i suddetti beni paesaggistici sono normati dall'Art.18 "Misure di tutela e valorizzazione dei beni paesaggistici con valenza ambientale"

"Qualunque trasformazione, fatto salvo l'art. 149 del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e succ. mod., è soggetta ad autorizzazione paesaggistica." (Allegato alla Delibera G.R. n.36/7, 5 settembre 2006)

3.3 – NORMATIVA A LIVELLO LOCALE

Il Piano Urbanistico Comunale del comune di Santa Teresa di Gallura delinea la sottozona G8.6 che comprende tutto il Parco "Coluccia" e ne norma gli usi consentiti, di seguito l'estratto dalle norme tecniche d'attuazione del PUC.

A.a – Attività scientifiche, comprendenti l'insieme delle attività finalizzate allo studio, controllo e conservazione delle risorse ambientali;

A.b – spazi ricreativi con eventuale realizzazione di infrastrutture leggere (sentieri natura, segnaletica) o strutture leggere di supporto (capanni di osservazione e per la sola somministrazione di bevande e alimenti, ecc.), aree belvedere e postazioni naturalistiche;

A.c – fruizione culturale, comprendente l'insieme delle attività legate all'uso dei monumenti, zone archeologiche e beni culturali in genere, con eventuale realizzazione di infrastrutture e strutture leggere finalizzate alla conservazione del bene;

A.d – opere di difesa e ripristino ambientale in presenza di alterazioni o manomissioni di origine antropica;

A.f – il recupero di strutture esistenti con le tipologie originarie;

A.g – l'apertura e la sistemazione delle piste forestali strettamente necessarie alla gestione del bene;

A.h – l'installazione di tralicci, antenne e strutture simili se necessari per la salvaguardia delle risorse naturali;

A.i – interventi volti alla difesa del suolo sotto l'aspetto idrogeologico.

A.l – interventi connessi alla realizzazione di opere pubbliche o di preminente interesse pubblico quali:

a) opere stradali, di accesso al mare;

b) opere pubbliche connesse al soddisfacimento del fabbisogno idrico regionale;

c) tutte le altre opere di urbanizzazione, di servizio pubblico o di preminente interesse pubblico.

Per tali opere è necessaria l'autorizzazione di cui all'art. 7 della Legge 1497/39.

Uso ricreativo culturale

B.a – Opere di accesso al mare, di supporto alla balneazione, della nautica non motoristica inquadrabile nei servizi di spiaggia e delle attività sportive; strutture leggere per le funzioni di spogliatoio, di ristoro, di ricovero di attrezzature da spiaggia e nautiche; posti di pronto soccorso e servizi igienici.

Uso silvo-pastorale

C.a – interventi volti alla realizzazione di opere di bonifica e antincendio, forestale e ricostituzione boschiva, ambientale naturale;

C.b – opere di rimboschimento d'iniziativa dei competenti Enti pubblici, o da loro autorizzati, semprechè effettuate, col fine di ricostituire la copertura vegetale preesistente con essenze autoctone;

C.f – opere per la realizzazione di impianti tecnici di modesta entità, quali punti di riserva d'acqua per lo spegnimento degli incendi, ecc.

Uso tecnologico

D.a – opere antincendio e protezione civile;

D.e – reti elettriche, telefoniche, cabine e simili.

Uso insediativo

L.a – opere di demolizione di edifici e manufatti in contrasto col contesto paesistico-ambientale." (Norme tecniche d'attuazione P.U.C Santa Teresa di Gallura, 2007)

4 – STRUMENTI E TECNOLOGIE PER L'ANALISI APPROFONDITA DEI BENI

Al fine di condurre uno studio accurato sullo sviluppo dell'isola è necessario argomentare l'approccio disciplinare utilizzato.

La geomatica risulta essere, nel presente caso, di fondamentale importanza poiché in grado di produrre i dati che utilizziamo quotidianamente. Con essa è possibile analizzare approfonditamente i beni e i territori di nostro interesse.

4.1 - GEOMATICA E TECNICHE DIGITALI DI RILEVAMENTO

“L'essenza della geomatica è fundamentalmente la gestione del contenuto informativo dei dati territoriali e ambientali utilizzando le scienze informatiche” (Fea & Gomarasca, 2008)

La geomatica è l'insieme delle discipline tramite le quali si possono acquisire, modellizzare, interpretare, elaborare, archiviare e divulgare informazioni georeferenziate, ovvero informazioni caratterizzate da una posizione in un prescelto sistema di riferimento. (Gomarasca, 2004)

Settori della geomatica che ne fondano la base sono la geografia, la geodesia, la topografia, il telerilevamento. Tra di esse ne fanno parte anche la fotogrammetria, la scansione laser e i sistemi informativi territoriali che verranno trattati nel dettaglio in seguito.

4.1.1 – FOTOGRAMMETRIA

La fotogrammetria si basa su alcuni fondamenti della matematica e della geometria. In particolare, l'arte della fotogrammetria nasce con la definizione di

prospettiva centrale, che fa riferimento a rapporti geometrici che descrivono una corrispondenza biunivoca tra punti omologhi.

Pertanto, il fotogramma catturato può essere considerato la prospettiva centrale dell'oggetto catturato dallo scatto.

La prospettiva centrale è il processo geometrico di trasformazione di una realtà 3D in 2D. Ogni punto nel mondo reale corrisponde sempre a un punto sul piano di proiezione, quindi, sappiamo dove si trovano il punto di cattura della telecamera e il punto del raggio.

Un punto 2D su un'immagine può essere utilizzato per determinare la posizione relativa del corrispondente punto 3D su un oggetto, questo nel caso della stereoscopia, ovvero considerando almeno due frame. I punti

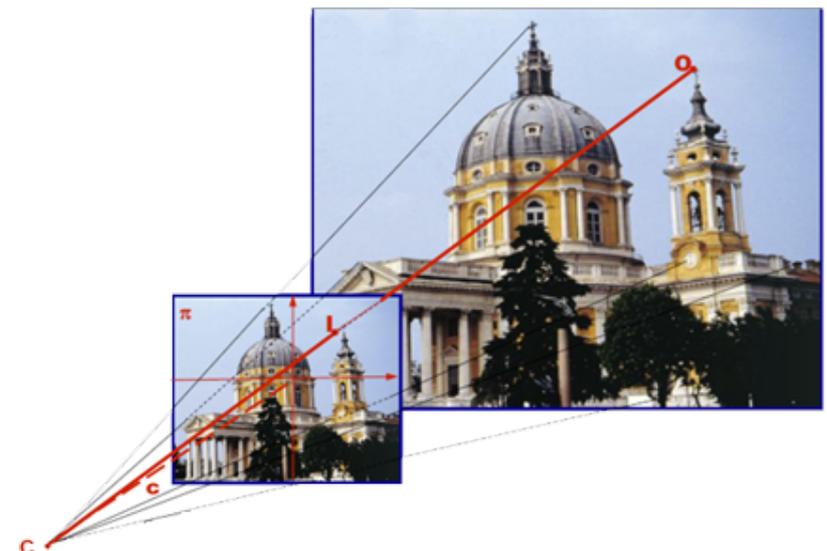


Figura 6: Fotogramma come prospettiva centrale (Fonte: Droni e fotogrammetria L2 Andrea Lingua e Francesca Matrone)

sull'immagine e i punti corrispondenti sull'oggetto sono collegati da una relazione analitica, che può essere definita determinando l'orientamento interno ed esterno della fotocamera.

L'avvento di tecnologie in grado di catturare immagini in una gamma più ampia dello spettro elettromagnetico rispetto alle catture fotografiche convenzionali, per la fotogrammetria e l'interpretazione fotografica, ha esteso il loro significato al telerilevamento, sia sottoforma di dati digitali che nella modalità del loro trattamento. In effetti, il contributo del telerilevamento alla geomatica si basa su

tecnologie che consentono di estrarre informazioni dalla realtà a distanze note dal sensore. In particolare, due principi fisici sono fondamentali per il telerilevamento. Qualsiasi oggetto con una temperatura superiore allo zero assoluto emette radiazioni elettromagnetiche la cui ampiezza e lunghezza d'onda dipendono dalle proprietà termiche dell'oggetto stesso (principio noto come legge di Planck). Allo stesso tempo, tutte le realtà fisiche sono in grado di riflettere, diffondere, assorbire e trasmettere la radiazione elettromagnetica incidente, e in varie proporzioni, a seconda delle loro proprietà strutturali, chimiche e cromatiche. Nella realtà quotidiana, tutti gli oggetti irradiano energia elettromagnetica a causa della loro temperatura e perché sono illuminati da un'altra fonte, naturale, come il sole, o artificiale, come torce, laser e radar.

Il processo fotogrammetrico è composto da diverse fasi:

- Acquisizione dei fotogrammi
- Acquisizione dei punti d'appoggio topografico della camera tramite Gps
- Orientamento dei fotogrammi
- Restituzione del modello fotogrammetrico

L'evoluzione della fotogrammetria permette oggi l'uso dell'intelligenza artificiale per operazioni prima svolte manualmente dall'uomo.

La tecnologia dell'automazione viene applicata nelle fasi di orientamento, nella restituzione fino al completamento dell'intero processo.

Per l'orientamento delle camere viene differenziato l'orientamento interno, ovvero la geometria interna della camera e quindi la posizione del centro di presa

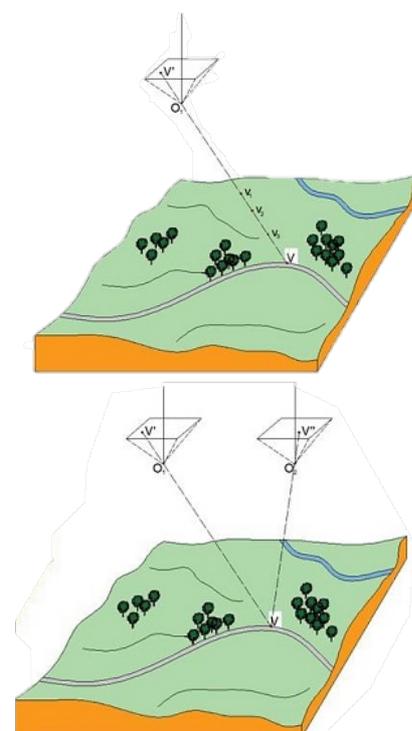


Figura 7: Schematizzazione di prese fotogrammetriche (Fonte: <https://tinyurl.com/4msk4pmp>)

(o), e l'orientamento esterno che definisce la posizione spaziale della camera rispetto ad un sistema di coordinate tridimensionale.

Metodi di correlazione delle immagini e le operazioni di identificazione e misurazione di elementi caratteristici si basano su algoritmi di correlazione che consentono l'identificazione di segnali o forme su immagini digitali per individuare automaticamente punti equivalenti.

“Vi sono tre fondamentali metodi di correlazione:

- il metodo area-based matching (ABM), basato sul confronto dei livelli di grigio di piccole aree corrispondenti nelle diverse immagini è particolarmente diffuso in Fotogrammetria (nelle tecniche di ABM, tecniche di autocorrelazione, la corrispondenza automatica tra punti omologhi avviene mediante il confronto dei toni radiometrici dei pixel nell'intorno dei punti; il matching avviene valutando il grado di similarità tra le finestre di correlazione, considerando il fatto che punti omologhi debbano avere finestre di correlazione identiche in termini di valori di toni radiometrici);
- il feature-based matching, che utilizza punti, linee o aree omogenee da ricercare in immagini omologhe;
- il relational-matching che impiega più tipi di entità connesse tra loro per ricercarne i corrispondenti in immagini diverse.

Il feature-matching (FM) è basato sull'estrazione delle caratteristiche e sul loro confronto operato sulle immagini successive, sulla somiglianza radiometrica e la disambiguità tra coppie di feature riconosciute corrispondenti. La ricerca delle feature avviene tramite gli operatori di interesse”. (Chiabrando, Costamagna, & Spanò, *Passive optical sensors and related image-matching methods for 3D modelling*, 2013)

Feature-extraction e image-matching sono algoritmi che consentono di automatizzare l'orientamento e la restituzione, riconoscendo forme predeterminate nelle immagini digitali mediante delle comparazioni.

L'Image-matching prevede diverse fasi:

- selezione delle entità;
- identificazione su altre immagini;
- calcolo della posizione e valutazione della qualità della correlazione.

I sistemi di Structure-from-motion (SfM)

consentono la generazione di dati 3d da una serie di immagini sovrapposte

utilizzando gli stessi principi della stereofotogrammetria. Grazie ad essa è possibile stimare la posizione 3D di punti rappresentati in un gran numero di immagini, ricomponendo la geometria dell'oggetto e la posizione delle camere anche senza i parametri di calibrazione della camera. In queste procedure il parametro di orientamento deve essere sconosciuto; quindi, vengono utilizzate le regole della visione stereoscopica che regolano la relazione tra gli elementi presenti nei fotogrammi, i centri di presa e la posizione 3D dei punti. (Chiabrando, Donadio, & Rinaudo, 2015)

I metodi di image-matching dello Structure-from-motion (SfM) sono diventati una delle principali tecniche fotogrammetriche per i rilievi del patrimonio culturale.

Oggi queste tecniche di geomatica possono essere utilizzate anche da non esperti nel campo della fotogrammetria, aumentando sempre più la resa delle ricostruzioni 3D derivando informazioni 3D dalle immagini acquisite.

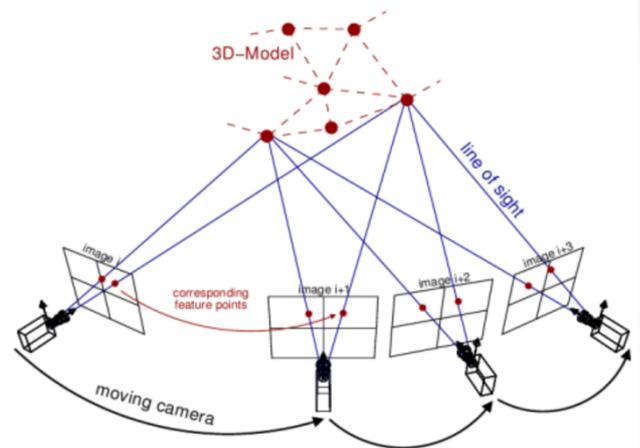


Figura 8: Esempio di SfM (Fonte: dispense Droni per il rilievo territoriale, A.M.Lingua)

Grazie all'integrazione tra fotogrammetria e Computer Vision che è possibile oggi trasformare immagini 2D in nuvole di punti 3D in modo automatico ottenendo anche risultati di buona qualità.



Figura 9: Elaborazione tridimensionale della nuvola di punti prodotta dal rilievo fotogrammetrico dell'isola (Fonte: Rilievo e post-processing di Lorenzo Teppati Losè, Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali, DAD, Politecnico di Torino)

4.1.2 – LIGHT DETECTION AND RANGING

Tra le tecniche di telerilevamento, il LiDAR (Light Detection and Ranging) è quella più utilizzata per l'esecuzione di rilievi topografici di alta risoluzione.

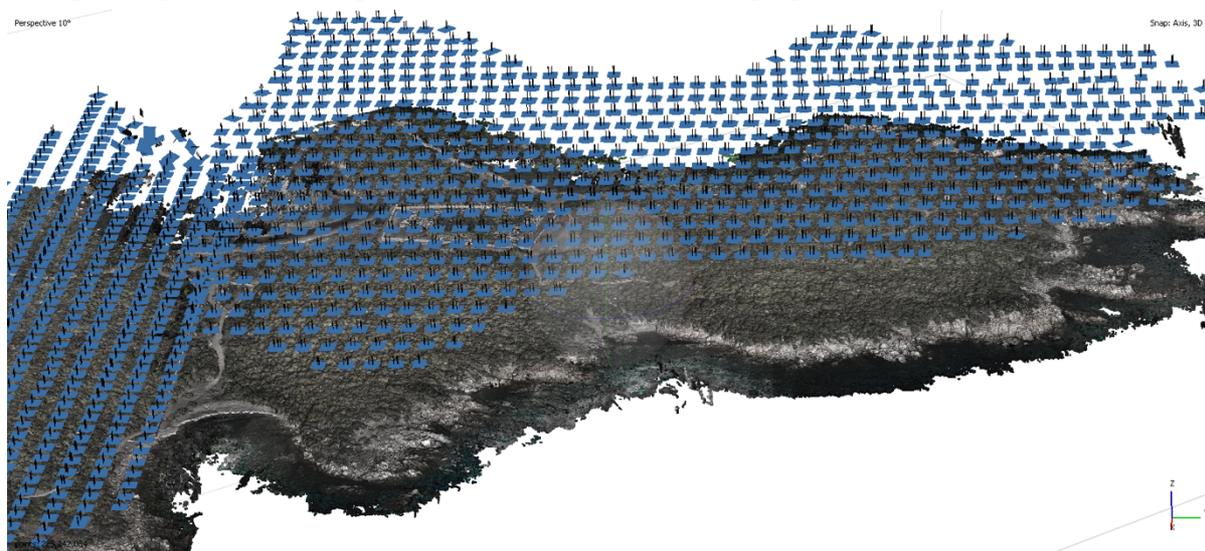


Figura 10: Dense Point cloud generata dell'isola Culuccia (Fonte: Elaborazione di Lorenzo Teppati Losè)

La qualità della nuvola varia a seconda della precisione che si vuole ottenere, della risoluzione della scansione, della scala del rilievo, dell'acquisizione del colore RGB dei punti di scansione o dell'automazione dell'identificazione degli oggetti distribuiti sulla superficie da ispezionare.

Il rilievo LiDAR aereo può avvenire tramite un velivolo dotato di laser scanner costituito da un trasmettitore, un ricevitore e un sistema di acquisizione dati. Essendo un rilievo fatto da un velivolo sarà necessaria un'alta velocità di acquisizione di dati e un'alta risoluzione in relazione alla altitudine del rilievo.

Invece il LiDAR da terra viene realizzato con l'utilizzo di scanner 3D con la possibilità di acquisire anche le coordinate spaziali dell'oggetto rilevato.

Entrambi i processi possono creare una nuvola di punti attraverso il quale è possibile costruire delle superfici che rispettino la realtà. Dal rilievo aereo viene costruito un DSM (Digital Surface Model), un modello che rappresenta

l'andamento del suolo comprendendo tutto ciò che sta al di sopra di esso. Tramite questo modello si può estrarre un DTM (Digital Terrain Model), un modello rappresentativo del suolo senza antropizzazioni e vegetazione.

L'output finale è un file avente valenza metrica in quanto è possibile effettuare delle misurazioni che rispettino la realtà.

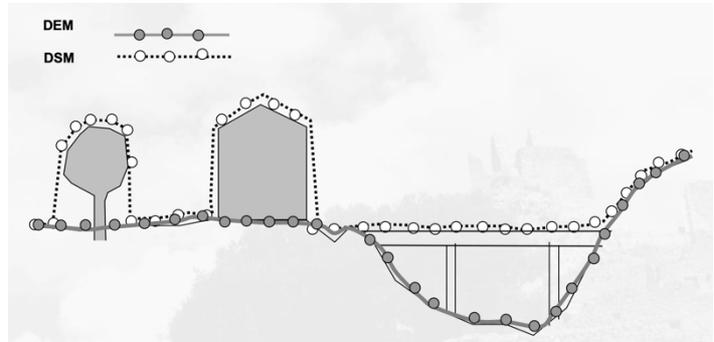


Figura 11: Esempio di DTM e DSM (Fonte: Dispense di Droni per il rilievo territoriale A.M.Lingua)

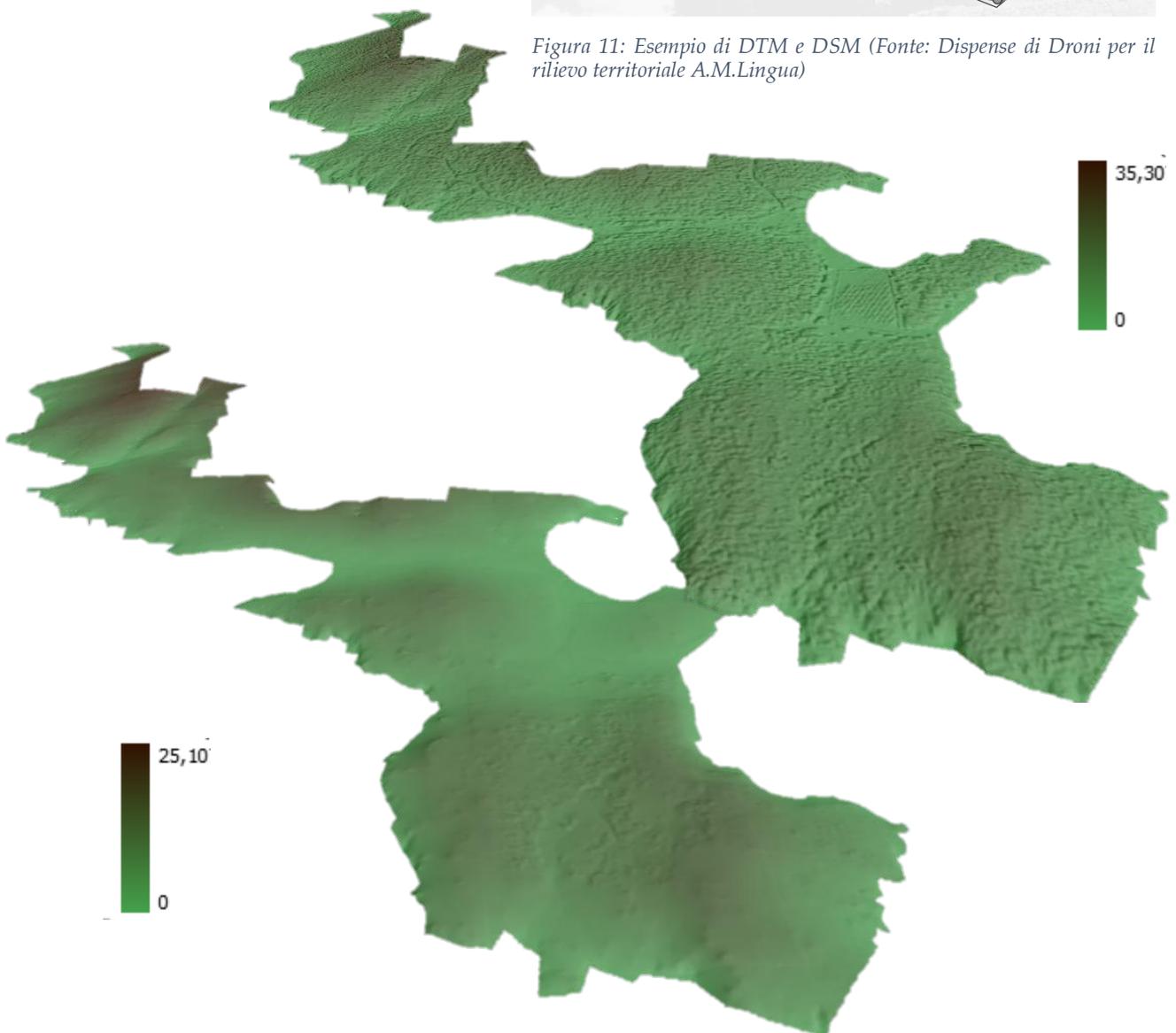


Figura 10 In alto: DSM dell'isola Culuccia (Fonte: Elaborazione di Lorenzo Teppati Losè)

Figura 11 In basso: DTM dell'isola Culuccia (Fonte: Elaborazione di Lorenzo Teppati Losè)

4.2 – SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI, GIS e WEBGIS

I Sistemi Informativi Territoriali (SIT) fanno parte dei Sistemi Informativi, definiti come sistemi per l'archiviazione, la gestione e il processamento di informazioni in formato digitale, e al loro livello più complesso possono essere considerati anche come sistemi di supporto alle decisioni.

La progettazione di un SIT è quindi un processo di modellizzazione che permette di descrivere la realtà percepita in un linguaggio utilizzabile dai computer tramite fasi successive di approfondimento

Essi sono costituiti da una raccolta di dati, elaborati e sintetizzati che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati georiferiti nell'ambito dell'organizzazione, rendendoli disponibili nel momento in cui vengono interrogati.

A fianco dei Sistemi Informativi Territoriali si presentano i Sistemi Informativi Geografici (GIS) che, seppur simili ai precedenti, differiscono per alcuni aspetti. Entrambi sono strumenti per la gestione di dati di una cartografia numerica ma il GIS si occupa della parte informatica del tutto quindi lo si considera un sottosistema del SIT.

Il GIS è un sistema basato su una serie di componenti ed operazioni tra cui:

- Acquisizione di dati
- Archiviazione dei dati
- Analisi dei dati
- Rappresentazione delle informazioni

I dati utilizzati sono informazioni territoriali che si possono rappresentare in diverse modalità in base alla loro natura:

- Dati vettoriali, costituiti da entità lineari, puntuali e geometriche
- Dati raster, rappresentati attraverso una matrice di pixel
- Dati alfanumerici, definiscono le informazioni delle entità

Queste tipologie di dati hanno un formato file univoco ovvero lo shapefile con il quale vengono gestite tutte le informazioni, geometrie, attributi e altri metadati. Tale formato file è composto da altre estensioni (.shp, .dbf, .shx, .prj, .sbn) ed è eseguibile con i software di visualizzazione, creazione e gestione di dati in sistemi di riferimento spaziali. Tra i software utilizzati emergono principalmente ArcGis e Qgis, quest'ultimo è open source.

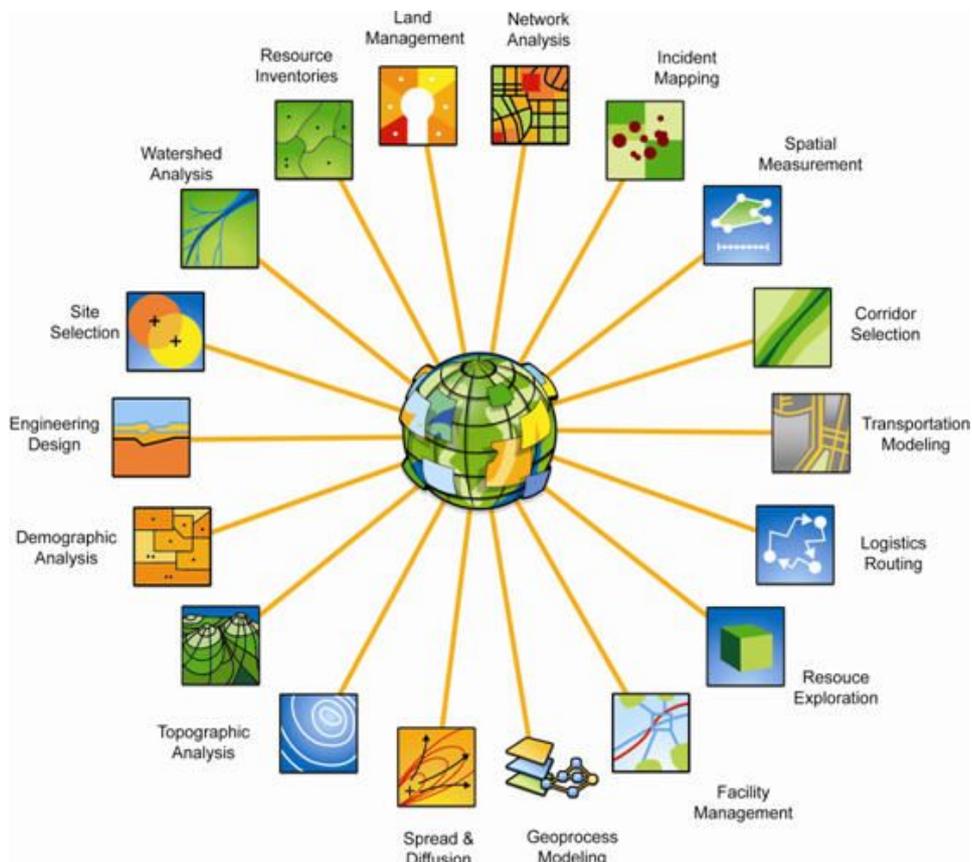


Figura 12: *Differenti usi del Gis* (Fonte: <https://tinyurl.com/yokysx7x>)

I Sistemi Informativi Geografici possono essere pubblicati sul Web al fine di trasmettere strumenti rendendoli fruibili tramite piattaforme apposite.

Il WebGIS viene definito come “Applicazione che permette la distribuzione di dati geo-spaziali, in reti internet e intranet, sfruttando le analisi derivanti dai software GIS e per mezzo di classiche funzionalità di applicazioni web-based pubblicano informazioni geografiche nel World Wide Web. Un sistema web-gis si basa su normali funzionalità Client-server, come una classica architettura Web.” (GFOSS, s.d.).

Un progetto WebGIS si differenzia appunto da un progetto GIS in quanto possiede una finalità legata alla comunicazione e condivisione con altre persone diffondendo prodotti cartografici e creando interazioni tra essi. I WebGIS danno accesso a mappe pronte all’uso e che è possibile interrogare o filtrare in base all’uso richiesto.

Questo strumento è utilizzato in gran parte dai vari Geoportali che le nazioni, regioni, comuni, mettono a disposizione del pubblico.



Figura 13: Struttura del WebGIS (Fonte: <https://www.esri.com/about/newsroom/insider/the-expansive-reach-of-web-gis/>)

Il funzionamento di esso è simile al GIS ma basato su un’interfaccia web tramite il quale è possibile vedere delle entità (layer) presenti in database esistenti o creati con dati rilevati e georiferiti.

L'importanza dei WebGIS la si riscontra nel vantaggio apportato ai fini evolutivi nei contesti urbani, in cui la presenza cospicua di questi strumenti porta ad un miglior approccio multisetoriale e a delle interazioni fondamentali per lo sviluppo del territorio. Un'area con un grande database di dati geografici favorisce le dinamiche evolutive.

4.3 – GEOPORTALE DELLA SARDEGNA

Il Geoportale della Regione Sardegna è lo strumento utilizzato per visualizzare, interrogare e scaricare i dati geografici relativi alla Regione Sardegna.

La struttura è abbastanza intuitiva essendo suddiviso in sei aree:

- Navigatori, in cui sono presenti i WebGIS;
- Accesso ai dati, in cui è possibile scaricare i dati;
- Aree tematiche, nel quale vengono suddivisi i dati geografici aree tematiche per facilitarne il download;
- Strumenti, in cui è possibile trovare strumenti utili per una migliore fruizione dei dati geografici pubblicati sul Geoportale;
- Documentazione, linee guida, manuali di riferimento del Sistema Informativo Territoriale Regionale;
- Agenda, in cui vengono riportate notizie, convegni e pubblicazioni.



Figura 14: Schermata intuitiva del Geoportale Sardegna (Fonte: Geoportale Sardegna)

All'interno del Geoportale è presente il WebGIS che ci consente di visualizzare i dati al suo interno e ci permette sia di scaricarli sotto forma di file, vettoriale o raster, sia di visualizzare i link WMS, WFS o WCS. Quest'ultimi, rispettivamente Web Map Service, Web Feature Service e Web Coverage Service, permettono l'accesso dinamico ai dati attraverso il Web. Con questi tre servizi è possibile lavorare in locale su dati remoti, ufficiali e sempre aggiornati.

Per la creazione del dataset utile per l'analisi sull'isola Culuccia sono stati adoperati dei file reperiti principalmente dal Geoportale come:

- Ortofoto attuali e storiche in formato WMS
- Piano Paesaggistico Regionale in formato shapefile in scala 1: 30.000
- Rete Natura 2000 e vincoli in formato WFS in scala 1: 50.000
- IGM attuali e storiche

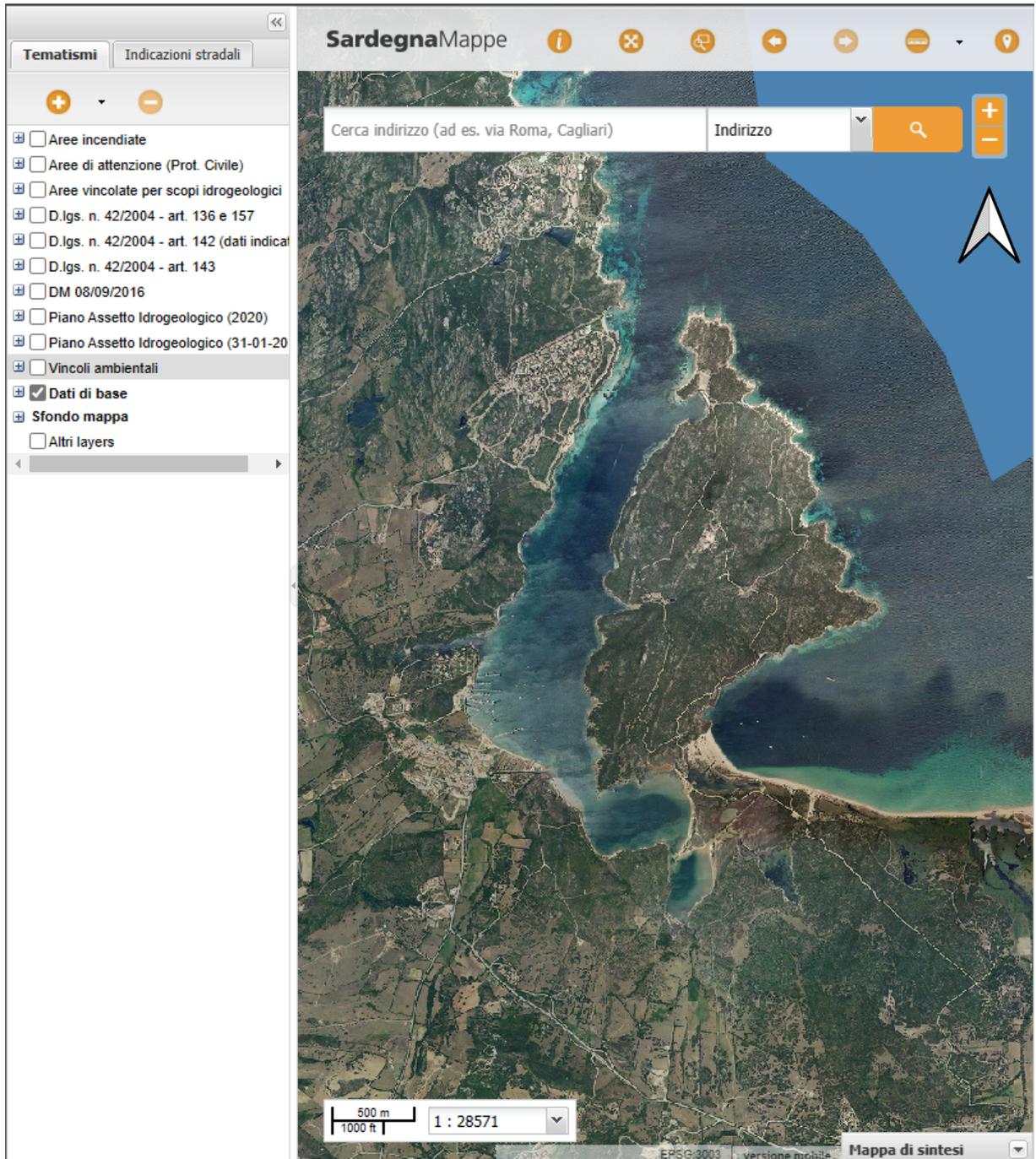


Figura 15: Schermata SIT del Geoportale (Fonte: Geoportale Sardegna)

4.4 – WMS, WFS e WCS

I Web Map Service, Web Feature Service e Web Coverage Service sono degli standard introdotti dall'organizzazione internazionale Open Geospatial Consortium² al fine di facilitare l'accesso all'informazione geografica con delle soluzioni aperte. Il web è la parte fondamentale di questi strumenti in quanto solo grazie ad essa, rete aperta a tutti, è stato possibile trasmettere queste informazioni geografiche.

Un ulteriore vantaggio, dettato dall'accesso ai dati via web, è la normalizzazione del dato abbattendo l'ostacolo della interoperabilità. (Consortium, s.d.)

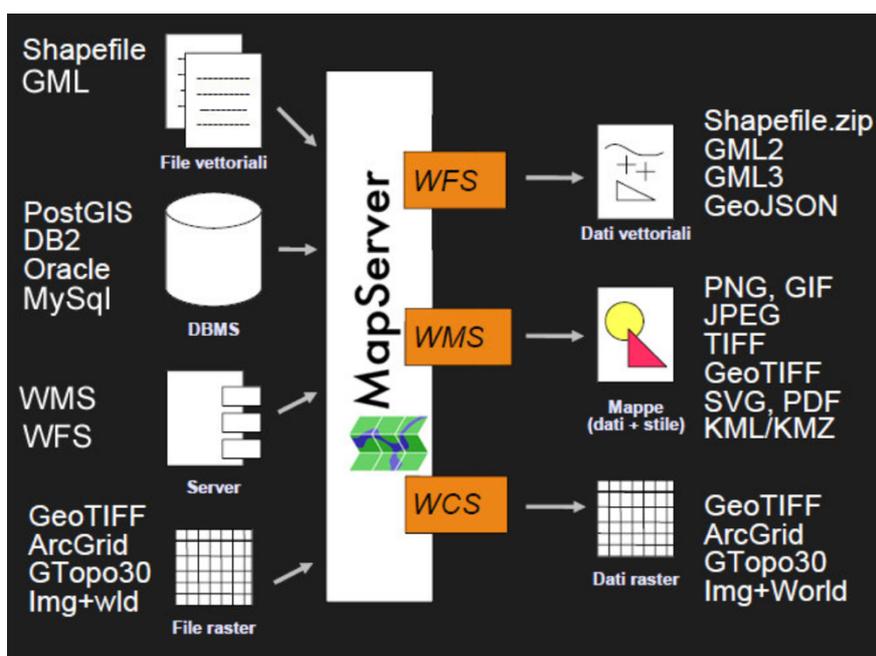


Figura 16: Schema concettuale di un sistema WebGIS, basato su MapServer, in cui l'interscambio dei dati avviene attraverso gli standard "Web service" dell'OGC. (Fonte: Di Bartolomeo, 2009)

² L'Open Geospatial Consortium (OGC) è un consorzio internazionale di oltre 500 aziende, agenzie governative, organizzazioni di ricerca e università spinte a rendere le informazioni e i servizi geospaziali FAIR - Trovabili, accessibili, interoperabili e riutilizzabili. (www.ogc.org, s.d.)

Il WMS permette la visualizzazione della mappa richiesta come immagine, dando la possibilità di interrogare le feature e accedere alle informazioni associate. La richiesta iniziale è trasmessa tramite la funzione *GetCapabilities* in cui vengono visualizzati tutte le mappe presenti all'interno del WMS, tra le quali si potrà scegliere con la funzione *GetMap*, e interrogarle con la funzione *GetFeatureInfo*.

Lo standard WFS, a differenza del WMS, è in grado di trasferire dati vettoriali nella loro forma nativa e non tramite una rappresentazione di un'immagine.

Anche esso come il WMS possiede le funzioni di *GetCapabilities*, *GetFeature*, *DescribeFeatureType*.

Il WCF ha lo stesso funzionamento del WFS ma legato al campo dei dati raster. (Di Bartolomeo, 2009)

4.5 – RILIEVO DEL TEAM DIRECT, RISULTATI OTTENUTI E POSSIBILI INTERVENTI

Il team DIRECT (Disaster Recovery Team) è un team composto da studenti di Ingegneria e Architettura, specializzato in rilievi speditivi per emergenze ambientali, che opera nel campo della Geomatica applicata alla gestione delle catastrofi.

Attraverso stage, il team organizza delle esperienze formative e attività in progetti con alto valore scientifico in territori che presentano una necessità di azioni di controllo tramite rilievi innovativi nel campo della sperimentazione.



Figura 17: Team Direct sull'isola Culuccia (Fonte: <https://tinyurl.com/s6u2wjet>)

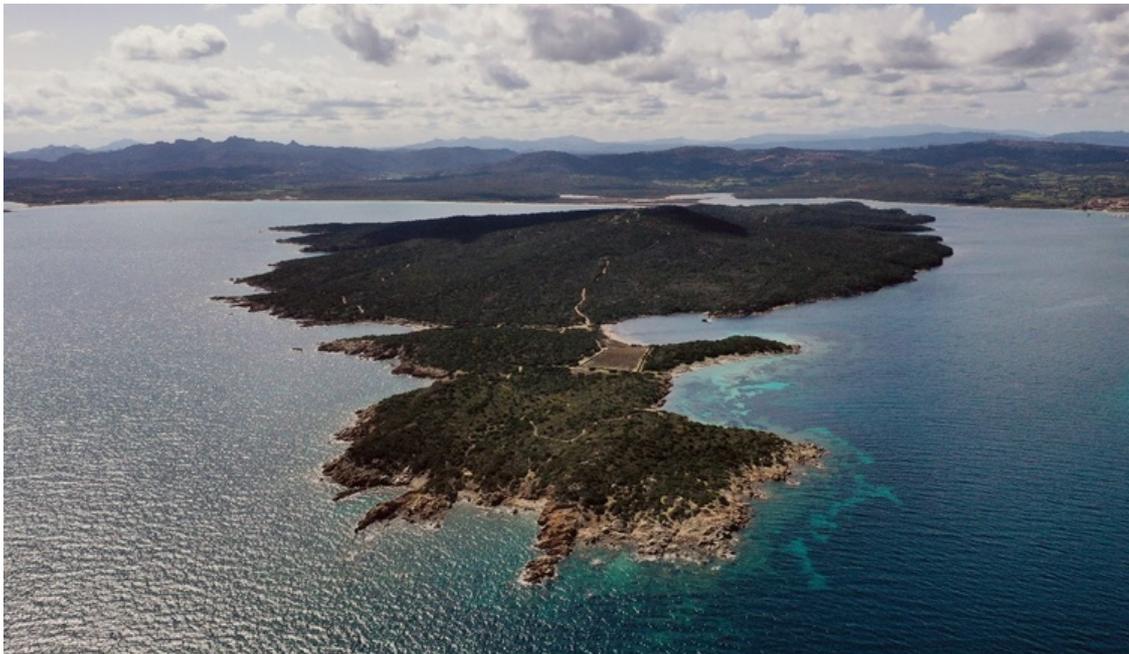


Figura 18: Immagine dal drone della porzione di territorio interessata in progetto (Fonte: <https://tinyurl.com/s6u2wjet>)

Con la collaborazione del Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) e il Dipartimento di Architettura e Design (DAD) con l'azienda Biru s.r.l. in loco, si è svolto lo stage del team operando nel campo del Rilevamento metrico 3D, del Telerilevamento e di sistemi WebGIS.

L'approccio apportato in questa esperienza è quello del *Learning by doing*, (imparare facendo), un metodo didattico che mette al centro l'esperienza come metodologia principale per imparare. In tal senso, l'isola è stata sfruttata come laboratorio di Geomatica a cielo aperto impiegando strumentazioni innovative come droni, laser scanner e strumenti multi-beam per rilievi subacquei.

Tutto ciò è stato effettuato nella prima settimana di luglio del 2022 su una porzione dell'isola, portando alla luce un quantitativo ingente di dati utili per future elaborazioni. Sulla parte nord dell'isola è stata istituita una rete per



Figura 19: Ricevitore GNSS utilizzato per il rilievo

l'inquadramento composta da vertici posizionati in un determinato sistema di riferimento. In seguito, sono stati posizionati dei marker fotogrammetrici, segnali quadrati facilmente riconoscibili da elevate distanze, e calcolati con il



Figura 20: Drone utilizzato DJI Matrice 300 (Fonte: <https://tinyurl.com/s6u2wjet>)

metodo di posizionamento Real-Time-Kinematic (RTK) tramite un ricevitore GNSS fissato ad un treppiedi.

Il rilevamento fotogrammetrico digitale tramite l'utilizzo di droni è servito per acquisire un modello tridimensionale completo. I droni utilizzati hanno delle camere particolari: una camera P1, full-frame da 45 MP, utilizzata per la realizzazione di un'ortofoto dettagliata RGB e una camera multispettrale, ovvero composta da 6 sensori diversi con il quale si possono



Figura 21: Processo di elaborazione dei dati rilevati dal drone

generare delle immagini diverse utili per le analisi effettuate esposte in seguito.

Oltre a queste tipologie di camere è stata utilizzato un modulo LiDAR per procedere con il rilievo tridimensionale dell'area e lo studio approfondito della vegetazione e immobili presenti nell'isola creando un DSM (figura 10) dal quale è stato possibile estrapolare tutta la vegetazione presente per poterla classificare e creare inoltre un DTM (figura 11).

Il rilievo metrico 3D ha una precisione orizzontale di 10 cm che permettono di fare delle misurazioni molto accurate, utili per le analisi successive. L'utilizzo della camera multispettrale è stato fondamentale per la classificazione della



Figura 22: Drone utilizzato DJI Phantom 4 RTK Multispettrale



Figura 23: Camera multispettrale del drone DJI Phantom 4 RTK

vegetazione. Questa camera è composta da sei sensori di cui uno RGB e cinque monocromatici: blu, verde, rosso, Red-Edge, NIR.

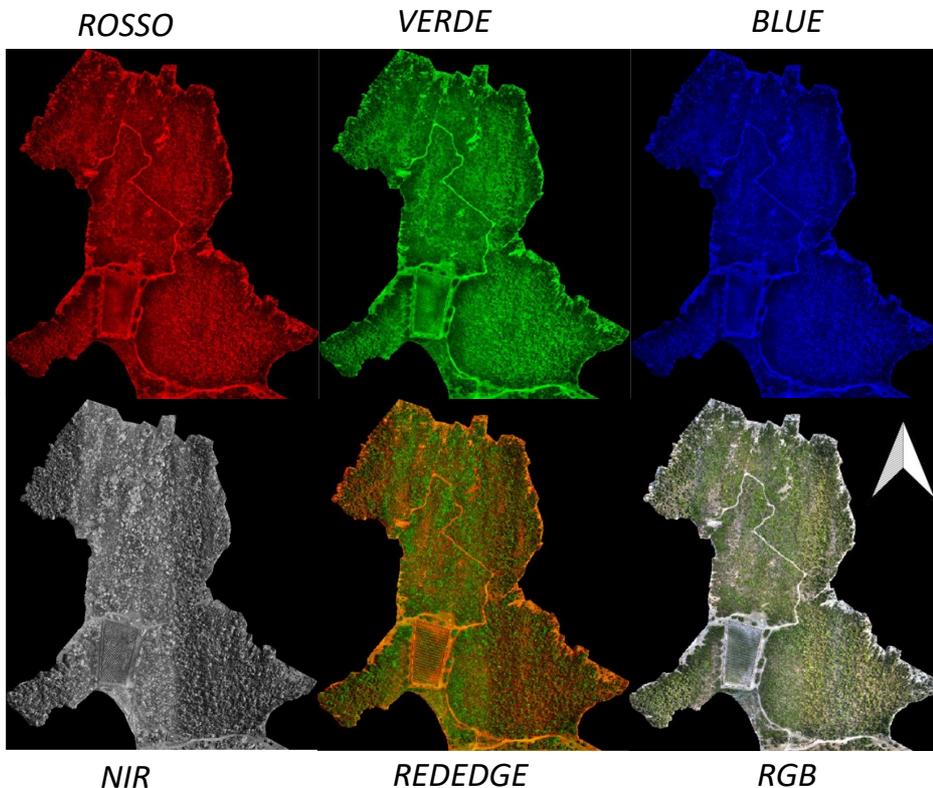


Figura 24: Elaborazione fuori scala della camera multispettrale (Fonte: Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali, DAD, Politecnico di Torino; Elena Belcore e Alessandra Spadaro)

Per procedere alla classificazione è stato prima necessario analizzare i dati secondo la metodologia della “structure from motion” e generare dei raster che sono stati segmentati e classificati usando l’algoritmo “random forest”. Tale algoritmo è stato addestrato con i dati di 200 piante analizzate sul posto e catalogate in 16 specie arboree e arbustive. Una volta addestrato il modello, il risultato è una mappa comprendente le piante riconosciute e altre che, al momento, non sono state classificate in quanto più difficili da riconoscere. (Belcore, Pittarello, Lingua, & Lonati, 2021)

Al momento sono stati segmentati 33.344 piante, ma di questi soltanto 14.701, quindi il 44,08%, è stato classificato in ginepro, mirto, giunco pungente e

salicornia. Essendo un processo di tipo sperimentale deve ancora consolidarsi per poter portare alla luce nuove specie e avere una migliore affidabilità.

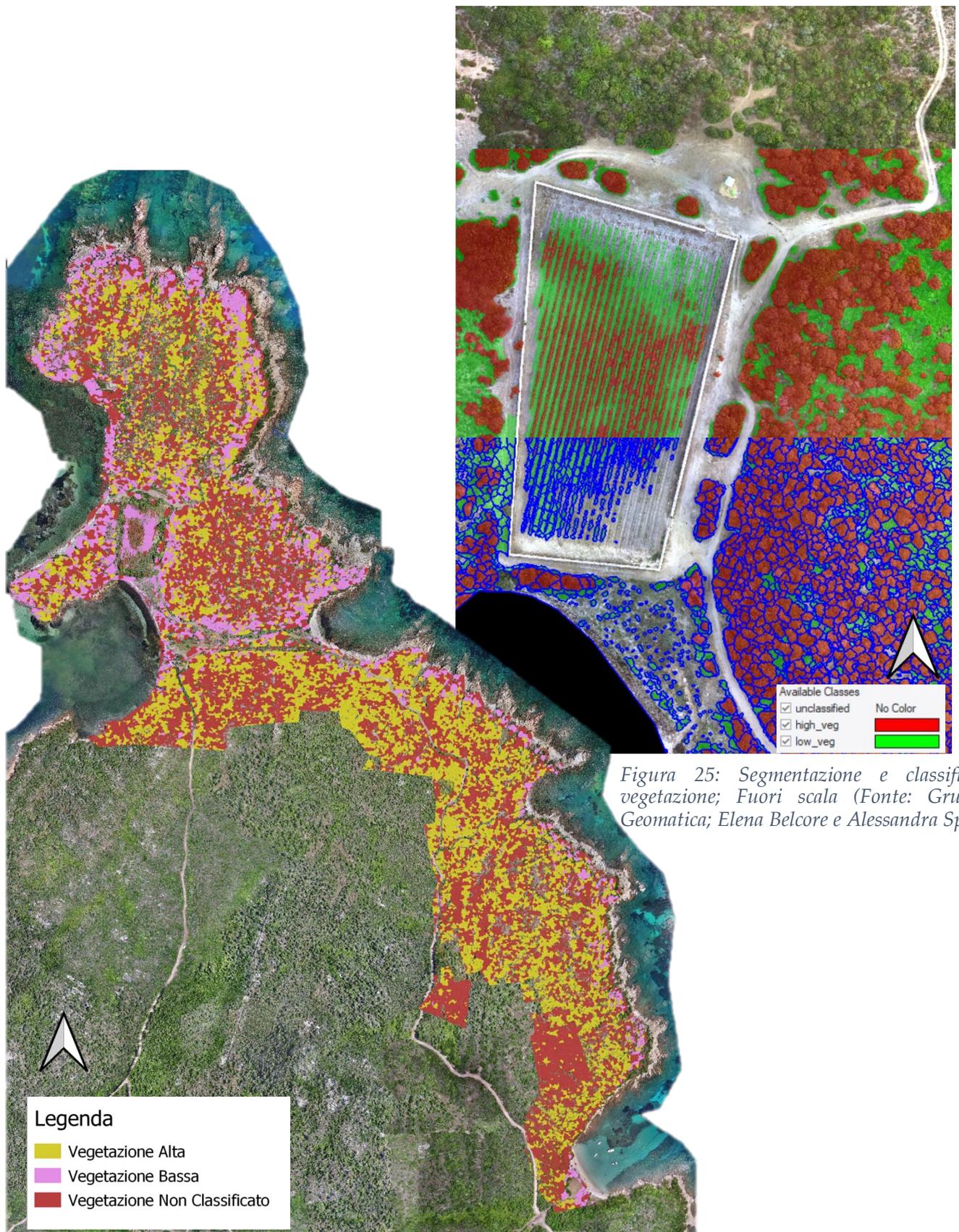


Figura 25: Segmentazione e classificazione vegetazione; Fuori scala (Fonte: Gruppo di Geomatica; Elena Belcore e Alessandra Spadaro)

Figura 26: Classificazione vegetazione; Scala 1:7.000 (Fonte: Elaborazione personale sulla base dei dati prodotti dal Gruppo di Geomatica)

5 – ELABORAZIONI PRODOTTE E RISULTATI OTTENUTI

5.1 – DAL MODELLO CONCETTUALE AL MODELLO INTERNO

Come accennato nel capitolo 1, l'obiettivo della tesi e del lavoro svolto è di implementare un GIS in un contesto di sviluppo come l'Isola Culuccia.

Per progettare un Sistema Informativo Territoriale è necessario capire quale è la realtà percepita da voler rappresentare. Il caso studio analizzato ci porta a sviluppare un modello che sia in grado di fornire tutte le conoscenze di base relative all'Isola Culuccia in quanto non presenti nei database analizzati fin ora.

La progettazione di un database geografico procede secondo la generazione dei seguenti modelli:

- Modello esterno che è la semplificazione della realtà in funzione dell'applicazione richiesta;
- Modello concettuale, la formalizzazione in una descrizione formale basata su regole semplici e ben definite;
- Modello logico, struttura dei dati traducibili in un linguaggio comprensibile dal computer
- Modello interno, visibile all'operatore, traduzione del modello logico in linguaggio macchina

Nel modello esterno del progetto Culuccia è rappresentato dalla scelta del focalizzare il lavoro sulla tematica relativa alla tutela e salvaguardia del bene ambientale e paesaggistico che è l'isola.

Questa scelta è dettata sia dalla forte normativa stringente ma anche dalla volontà da parte dei proprietari di rispettare la natura incontaminata dell'isola.

Il modello concettuale segue una struttura di tipo relazionale, quindi fa uso dell'approccio formale noto come modellazione entità-relazioni. Il modello è composto da:

- Entità che è la rappresentazione di un oggetto reale di cui si desidera registrare le informazioni;
- Attributi, le informazioni delle entità;
- Relazioni che sono legami di tipo concettuale tra due o più entità. In ogni relazione vengono indicate le cardinalità (numero minimo e massimo di entità coinvolte. (Migliaccio, 2007)

Le relazioni apportate tra le singole entità mostrano come l'entità cardine del modello sia l'isola che al suo interno contiene tutte le altre entità. Inoltre, si è voluto dare un peso maggiore ai sentieri, elemento sostanziale dell'isola, dividendoli in singoli archi, ovvero singoli pezzi lineari delimitati dai nodi.

Per la vegetazione invece si pensa ad uno sviluppo futuro nel quale, riconoscendo le piante presenti, sarà possibile differenziare le piante autoctone da quelle infestanti e ri-naturalizzare il territorio come lo era in passato. Per far ciò è stato utilizzato in parte il lavoro svolto dal Gruppo di Geomatica che ha classificato una porzione del territorio.

Per realizzare il modello concettuale è stata utilizzata la piattaforma Draw.io che permette di creare diagrammi direttamente dal browser web o scaricando il programma.

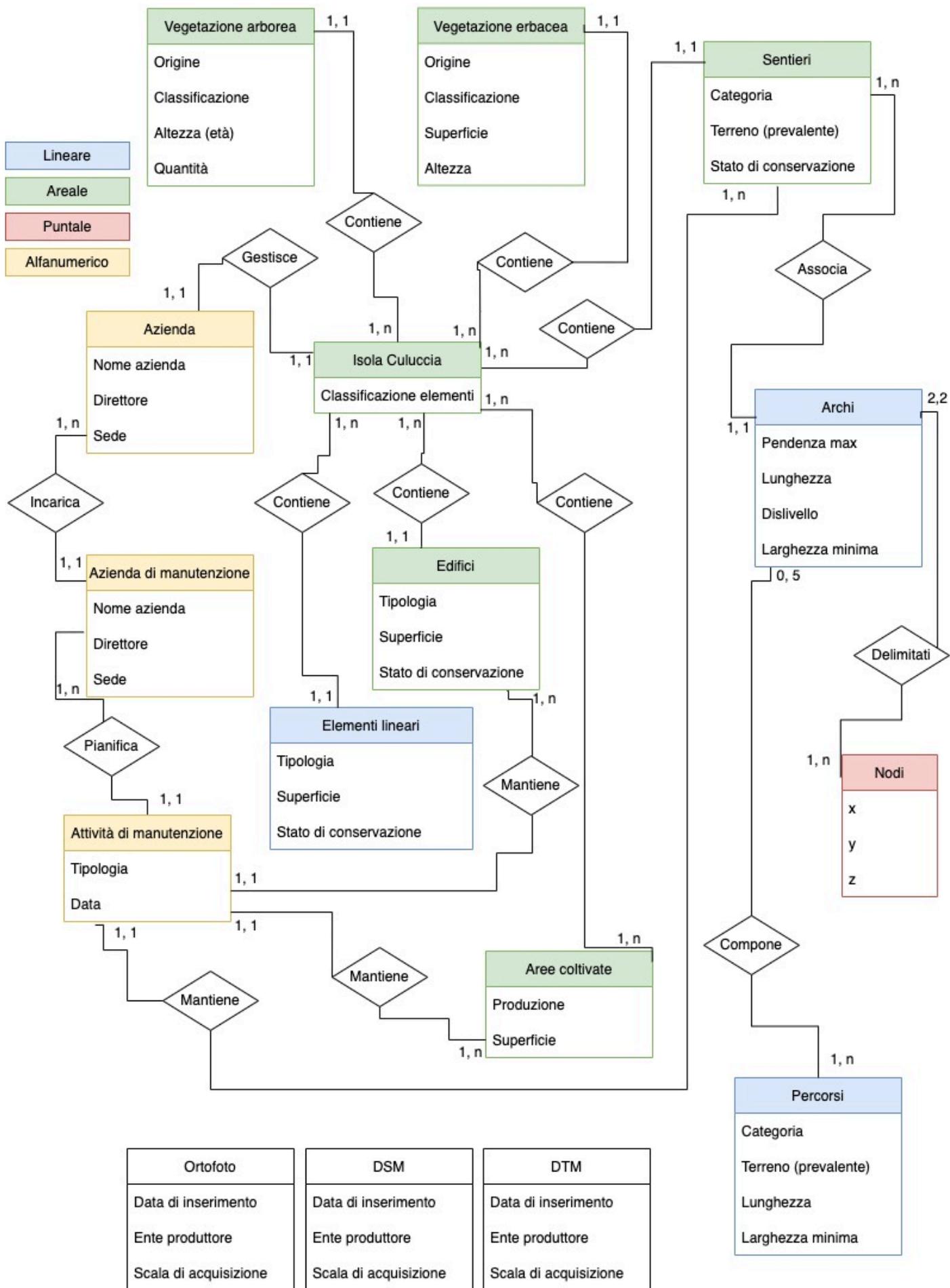


Figura 27: Modello concettuale (Fonte: elaborazione tramite la piattaforma Draw.io)

Nella tabella seguente sono indicate le entità che si è voluto utilizzare differenziandoli per tipologia di dato (alfanumerico, puntuale, lineare, areale).

Entità	Descrizione	Campi	Attributi	
Isola Culuccia	Suddivisione dell'isola secondo gli elementi presenti	Classificazione elementi	Elementi naturali Elementi semi-naturali Elementi antropici	
Elementi lineari	Elementi antropici che non presentano un superficie areale consistente	Tipologia	Muro	Areale
		Superficie	-	Lineare
		Stato di conservazione	Buono Discreto Ottimo	Alfanumerico Puntuale
Edifici	Fabbricati di vario genere classificati per utilizzo	Tipologia		Enumeration
		Superficie	-	
		Stato di conservazione	Buono Discreto Ottimo	
Aree coltivate	Elementi semi-naturali differenziati per produzione	Produzione Superficie	-	
Sentieri	Aree utilizzate per il camminamento o percorribili con mezzi di trasporto diversi	Categoria		
		Terreno (prevalente)		
		Lunghezza Larghezza minima	- -	
Vegetazione arborea	Alberi e arbusti	Origine	Autoctona Straniera	
		Classificazione	Varie famiglie	
		Altezza (età) Quantità	- -	
Vegetazione erbacea	Siepi, aiuole e altri tipo di vegetazione bassa	Origine	Autoctona Straniera	
		Classificazione	Varie famiglie	
		Altezza (età) Superficie	- Estensione superficiale in metri	
Azienda di manutenzione	Azienda incaricata per il mantenimento degli immobili e sei sentieri	Nome azienda	-	
		Direttore	-	
		Sede	-	
Attività di manutenzione	Attività esercitata per il mantenimento degli immobili e sei sentieri	Tipologia	Ordinaria Straordinaria	
		Data	-	
Archi	Rappresentazione lineare dei sentieri	Perdenza max	-	
		Dislivello	-	
		Lunghezza Larghezza minima	- -	
Percorsi	Tratte percorribili per un uso specifico	Categoria		
		Terreno (prevalente)		
		Lunghezza Larghezza minima	- -	
Nodi	Rappresentazione puntuale delle intersezioni dei sentieri	X	-	
		Y	-	
		Z	-	

Figura 28: Tabella inerente al modello concettuale

Per il modello logico è necessario procedere facendo delle associazioni utili a legare le varie entità: è stato dunque redatto un modello relazionale che lega gli attributi delle varie entità. A tal proposito sono state indicate le cardinalità di ogni associazione fatta; per ogni entità sono segnate due cardinalità che esprimono il numero minimo e massimo di occorrenze. In tale modello viene utilizzata una terminologia più tecnica per distinguere gli elementi delle tabelle e le caratteristiche delle relazioni. Vengono aggiunti inoltre i codici identificativi di ogni entità che ritroviamo all'interno degli attributi delle entità con il quale è stata fatta una relazione.

All'interno del modello logico, per ogni attributo, viene già definita la modalità di memorizzazione che differiscono tra loro per il numero di caratteri e la precisione. Vengono utilizzare principalmente:

- Integer (*In*), un numero che può variare tra -32.768 e +32.767;
- Long Integer (*LIn*), un numero che può variare tra -2.147.483.648 e +2.147.483.647;
- Float (*Fn.n*), un numero di 7 cifre che può variare tra -3.4E+38 e +3.4E+38;
- Text (*Cnn*), un testo di massimo 65.535 caratteri.

Anche questo modello è stato creato utilizzando la piattaforma web Draw.io.

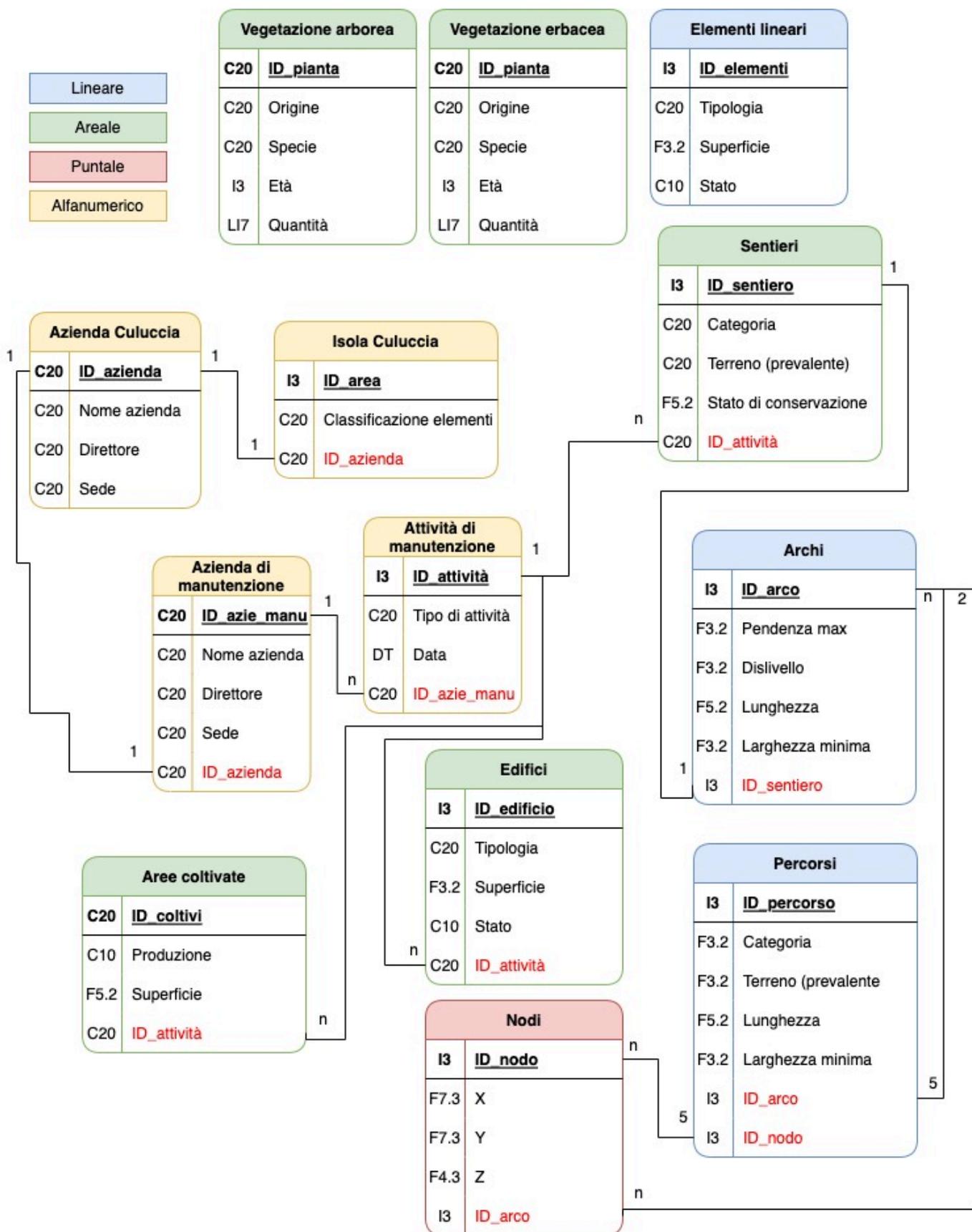


Figura 29: Modello logico (Fonte: elaborazione tramite piattaforma Draw.io)

Nella tabella seguente è stata inserita la tipologia dei campi come spiegato in precedenza.

Entità	Descrizione	Campi	Tipo di campo	Attributi	
Isola Culuccia	Suddivisione dell'isola secondo gli elementi presenti	Classificazione elementi	Character	Elementi naturali	
				Elementi semi-naturali	
				Elementi antropici	
Elementi lineari	Elementi antropici che non presentano un superficie areale consistente	Tipologia	Character	Muro	
		Superficie	Float	-	Areale
		Stato di conservazione	Character	Buono	Lineare
				Discreto	Alfanumerico
Ottimo	Puntuale				
Edifici	Fabbricati di vario genere classificati per utilizzo	Tipologia	Character		
		Superficie	Float	-	
		Stato di conservazione	Character	Buono	
				Discreto	Enumeration
Ottimo					
Aree coltivate	Elementi semi-naturali differenziati per produzione	Produzione	Character		
		Superficie	Float	-	
Sentieri	Aree utilizzate per il camminamento o percorribili con mezzi di trasporto diversi	Categoria	Character		
		Terreno (prevalente)	Character		
		Lunghezza	Float	-	
		Larghezza minima	Float	-	
Vegetazione arborea	Alberi e arbusti	Origine	Character	Autoctona Straniera	
		Classificazione	Character	Varie famiglie	
		Altezza (età)	Float	-	
		Quantità	Float	-	
Vegetazione erbacea	Siepi, aiuole e altri tipo di vegetazione bassa	Origine	Character	Autoctona Straniera	
		Classificazione	Character	Varie famiglie	
		Altezza (età)	Integer	-	
		Superficie	Float	Estensione superficiale in metri	
Azienda di manutenzione	Azienda incaricata per il mantenimento degli immobili e sei sentieri	Nome azienda	Character	-	
		Direttore	Character	-	
		Sede	Character	-	
Attività di manutenzione	Attività esercitata per il mantenimento degli immobili e sei sentieri	Tipologia	Character	Ordinaria Straordinaria	
		Data	Character	-	
Archi	Rappresentazione lineare dei sentieri	Perdenza max	Float	-	
		Dislivello	Float	-	
		Lunghezza	Float	-	
		Larghezza minima	Float	-	
Percorsi	Tratte percorribili per un uso specifico	Categoria	Character		
		Terreno (prevalente)	Character		
		Lunghezza	Float	-	
		Larghezza minima	Float	-	
Nodi	Rappresentazione puntuale delle intersezioni dei sentieri	X	Float	-	
		Y	Float	-	
		Z	Float	-	

Figura 30: Tabella inerente al modello logico

Dopo la creazione del modello logico è stato creato il modello interno e quindi alla generazione degli shapefile descritti nei modelli precedenti. Per la creazione degli shapefile è stato utilizzato inizialmente il software QGis³ per la migliore gestione dei dati e dei sistemi di riferimento. Successivamente il progetto creato è stato elaborato su ArcGIS Pro⁴ poiché ha la possibilità di pubblicare direttamente sul portale ArcGIS Online la mappa creata sotto forma di WebMap e quindi la creazione successiva dell'applicativo.

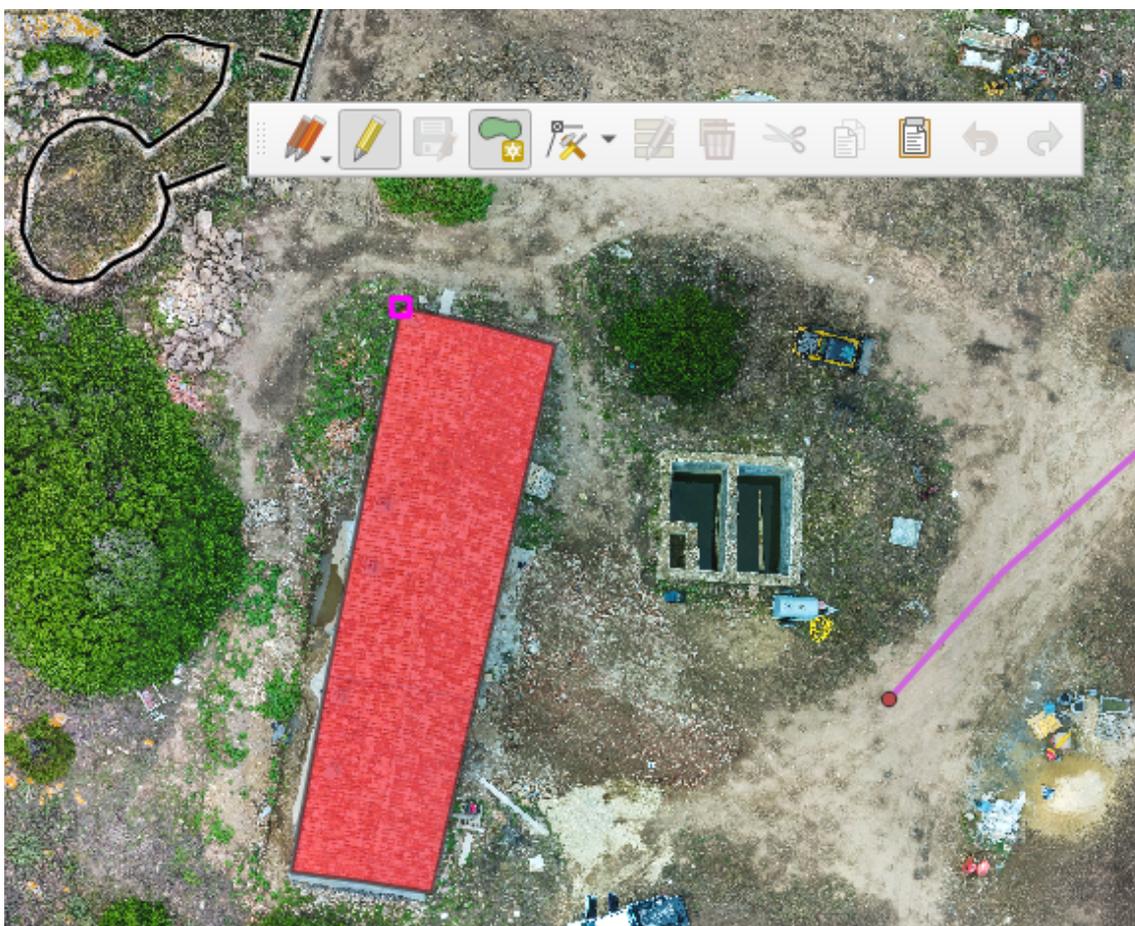


Figura 31: Creazione degli shapefile; schermata del software QGis

³ QGis è un software GIS Open Source (FOSS); versione utilizzata 3.22 Biatowieza.

⁴ ArcGIS Pro è un software GIS sviluppo da ESRI; versione utilizzata 2.4.1.

Attività manutenzione WebGIS					
Field:		Add	Delete	Calculate	Selection: Zoom To
OID	id	Tipologia	Data		
0	1	Potatura	01/01/2023		
1	2	Pulizia sentiero	01/01/2023		

0 of 2 selected

Azienda manutenzione WebGIS					
Field:		Add	Delete	Calculate	Selection: Zoom To
OID	id	Nome Azien			
0	1	Biru SRL			
1	2	Nettezza Urbana Sarda			
2	0				

Figura 32: Inserimento attributi su shapefile testuali

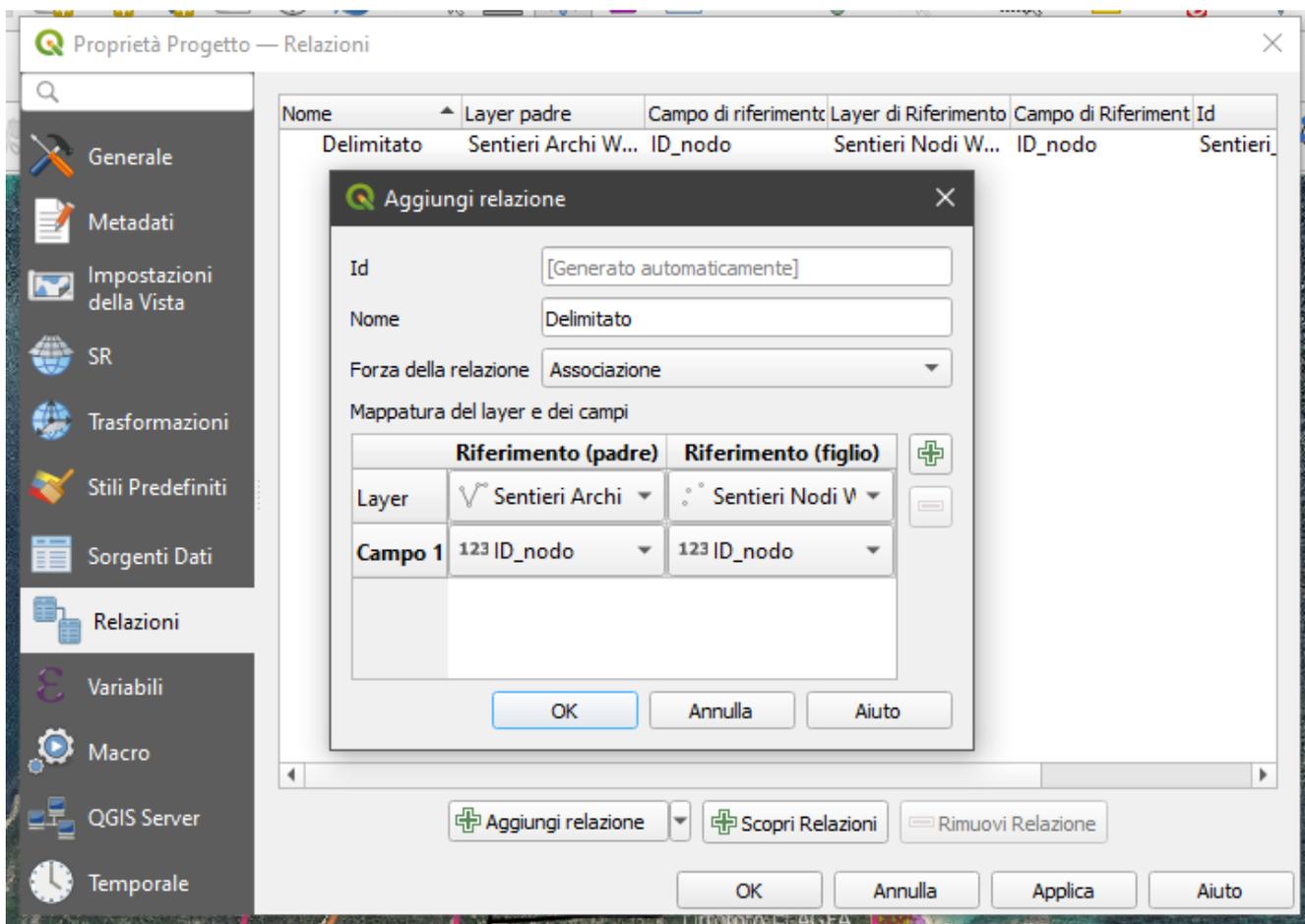


Figura 33: Inserimento delle relazioni tra i vari shapefile

5.2 – IL GIS

Gli shapefile sono stati creati sulla base di un'ortofoto molto dettagliata rilevata nel 2018 e su dei WMS forniti dalla Regione Sardegna. Quest'ultimi sono stati fondamentali per ricostruire la storia degli shapefile creati. In particolare, all'interno del WMS, sono presenti diverse ortofoto rappresentanti diversi anni a partire dal 1954 fino ad arrivare al 2019, la più recente al momento.

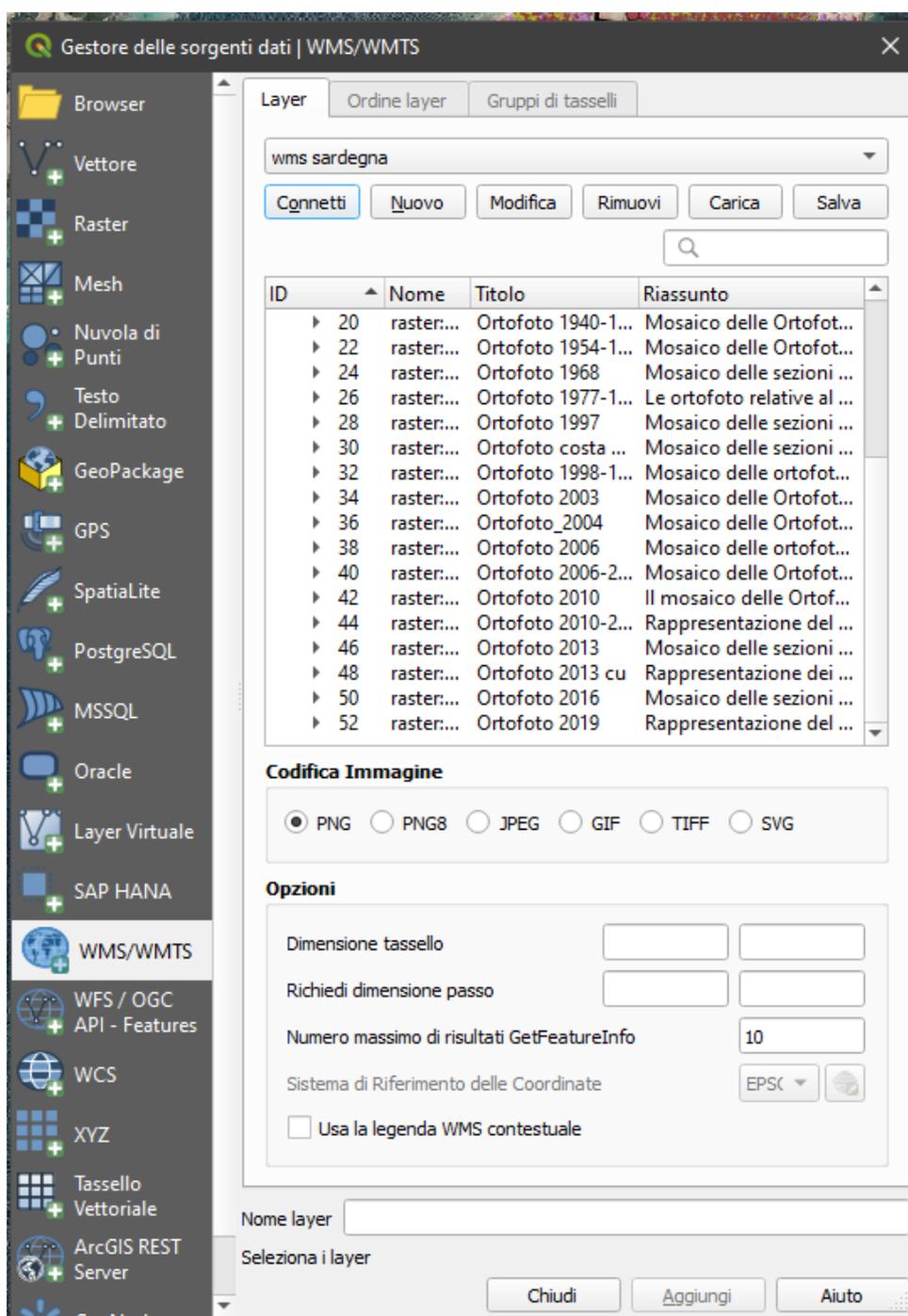


Figura 34: Schermata inserimento ortofoto WMS derivate dal Geoportale Sardegna

Dai raster utilizzati del 2018 è stato possibile analizzare nel dettaglio ogni singolo punto dell'isola al fine di poter comprendere meglio le entità presenti e poterle rappresentare nella loro totalità.

I dati sono stati georiferiti in prima battuta in UTM WGS 84 32N, in modo tale da poter essere più precisi poiché riprende il fuso 32 in cui è riportata l'isola.

Successivamente sono stati creati da zero gli shapefile le entità analizzate nei modelli precedenti, differenziandoli per tipologia di geometria.

È stato creato uno shapefile contenente i dati relativi ai sentieri, differenziando i singoli tratti (archi) e delimitandoli da intersezioni (nodi). Sono state create quindi due geometrie differenti, una lineare e una puntuale.

Gli archi sono stati creati seguendo l'andamento visibile nell'ortofoto rilevata nel 2018 in quanto, avente un'alta qualità, sarebbe stato più affidabile. In più è stato seguito l'andamento storico reso disponibile dai WMS e in determinati casi è interessante notare come alcuni sentieri siano stati abbandonati nel tempo e la natura si sia riappropriata di questi spazi antropizzati, visibili solo con la fotointerpretazione di documentazione storica. In tal senso gli archi sono stati classificati in sei periodi che mostrino la variazione temporale e soprattutto i casi di scomparsa del sentiero.

Infine, è stata calcolata l'esistenza di più di 14 km di sentieri.

L'idea è quella di poter creare dei percorsi prestabiliti unendo i singoli archi e nodi in modo autonomo e scegliendo i tratti più confortevoli o che passano in un determinato luogo.

Lo shapefile che raffigura gli elementi lineari rappresenta tutti quegli elementi antropici che non presentano una superficie tale da essere rappresentati in sottoforma di poligono. Al suo interno sono stati prodotti una serie di linee che rappresentano i muri perimetrali delle aree dell'isola, i cancelli e le recinzioni.



Figura 35:
Classificazione
temporale degli
archi

Anche in questo caso è stato fatto un lavoro di fotointerpretazione per poter cogliere ogni singolo elemento che spesso è ricoperto dalla vegetazione. È stata calcolata la presenza di quasi 6 km di muri.

Gli ulteriori shapefile creati sono legati alle strutture antropiche che, anche se poche, caratterizzano l'isola come le due grandi aree coltivate, di un ettaro complessivamente e i piccoli immobili, di 533 m² in totale. Nella foto seguente si può notare come dal 2019 siano stati ripresi i due campi coltivati che erano stati abbandonati a inizi anni 2000.



Figura 36: Confronto temporale 2016-2019 dell'area coltivata a nord (Fonte: WMS Geoportale Sardegna)

Per quanto riguarda la vegetazione, si è provveduto ad utilizzare gli shapefile generati dalla classificazione effettuata dal gruppo di Geomatica nell'area nord dell'isola, raggruppando i record in "Vegetazione arborea" e "Vegetazione erbacea" come prescritto nei modelli precedenti.

Tutte queste procedure sono state effettuate mediante il software QGIS. Successivamente sono stati convertiti tutti i file nel sistema di coordinate geografiche WGS 84 e inseriti in un nuovo progetto su ArcGIS Pro.

5.3 – IL WEBGIS

L'obiettivo della Web Application è quello di creare uno strumento di lavoro, gestione e organizzazione dei dati legati all'isola e uno strumento di comunicazione con gli utenti che potranno visualizzare gli aggiornamenti sugli studi che si svolgono nell'area.

Gli utenti che potranno accedere alla Web Application potranno essere degli "utenti guest" che visualizzeranno i dati presenti, oppure degli "utenti administrator" che potranno implementare altri dati e altre funzionalità

Sebbene in questa tesi siano stati utilizzati altri software, la scelta del software di casa ESRI è dettata da diversi fattori. In primo luogo, le competenze richieste per l'uso delle altre alternative non rientravano in quelle maturate nel mio percorso formativo. In secondo luogo, la condivisione di una Web Map con ArcGIS Pro permette di risparmiare tempo in quanto viene utilizzata la piattaforma "Web App" in ArcGIS online e il passaggio dal locale alla

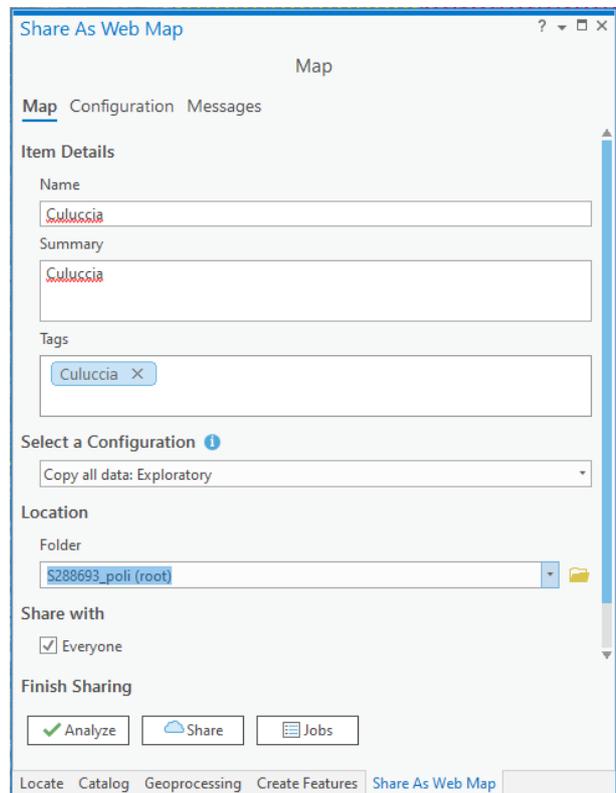


Figura 37: Schermata condivisione da ArcGIS Pro

condivisione sul web è molto ridotto rispetto ad altri software. Inoltre, la piattaforma online di ESRI e il suo cloud, oltre a fornire un'affidabilità migliore, non necessitano di nessuna manutenzione e di nessun server locale. Un'ulteriore motivazione che ha spinto l'uso di questa piattaforma è stata la possibilità di possedere la licenza di ESRI fornita dal Politecnico di Torino.

Proprio per tale scelta è stato necessario convertire tutti i dati nel sistema di coordinate geografiche WGS 84, unico supportato dalla Web Map.

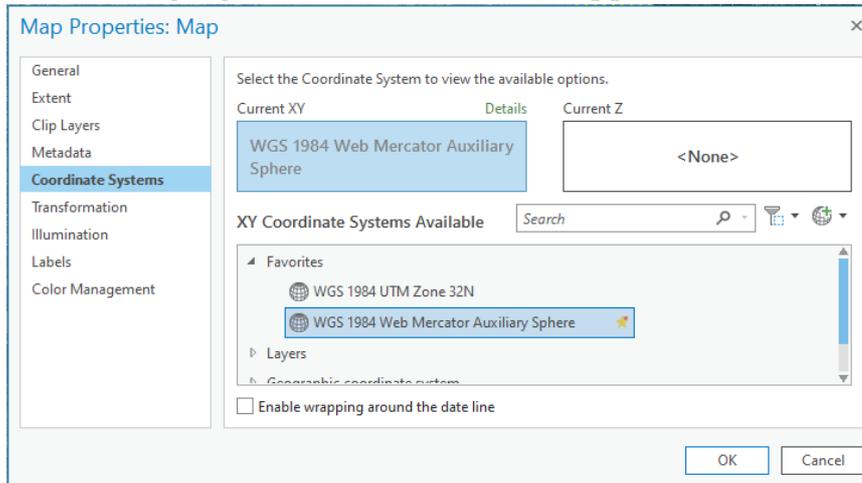


Figura 38: Proprietà mappa e sistema di coordinate inserite ArcGIS Pro

Una volta caricata la mappa sul portale di ESRI è stato possibile apportare determinate modifiche tramite il Map Viewer integrato. Attraverso esso sono stati inseriti tutti i vari layer e URL dei WMS.

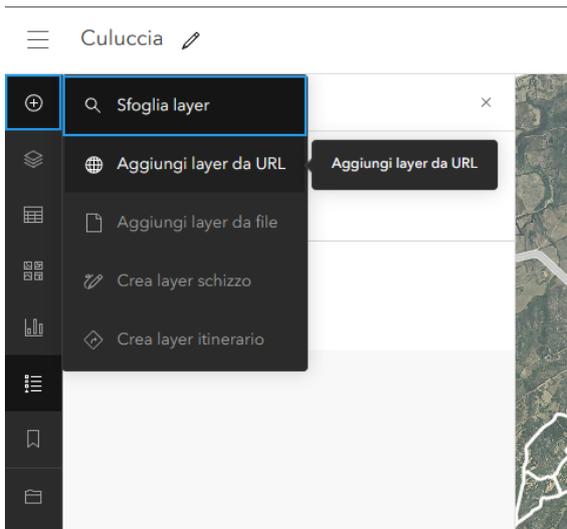


Figura 39: Interfaccia di inserimento layer nel Map Viewer

Inoltre, è stato possibile cambiare la visualizzazione degli elementi in base alla scala della mappa. Quindi si sono aggiunti dei layer comprendenti i vincoli della Rete Natura 2000 da visualizzare in larga scala. Diminuendo la scala si spengono i layer delle aree vincolate e si attivano i layer interni all'isola in base alla loro grandezza fino ad arrivare alla vegetazione della piccola area analizzata a nord.

Come base cartografica della Web Map e della successiva Web Application non si è potuto utilizzare l'ortofoto raster di alta qualità del 2018, utilizzato per la creazione degli shapefile, in quanto le dimensioni elevate dei file in formato Tiff avrebbero richiesto un ingente quantitativo di tempo e avrebbe rallentato il la Web Map stessa.

Per rimediare a ciò è stata inserita il WMS, che la Regione Sardegna fornisce nel suo Geoportale, in diversi anni. La più aggiornata al 2019 è stata utilizzata come background della mappa; invece, gli altri anni sono stati implementati con un widget che consente la visualizzazione contemporanea di entrambi gli anni. In tal modo si vuole enfatizzare la natura incontaminata dell'isola e i piccoli cambiamenti che ci sono stati nei diversi anni.

5.3.1 – LA WEB APPLICATION

Successivamente alle operazioni effettuate nel Map Viewer è possibile creare la Web App in diversi modi.

Per questo lavoro è stato adoperato il Web AppBuilder che consente di creare l'applicazione Web utilizzando dei temi predefiniti e aggiungere dei widget da una libreria presente.

In questa sezione sono stati scelti i colori, la disposizione dei drop-down menu (menu a tendina) e i widget.

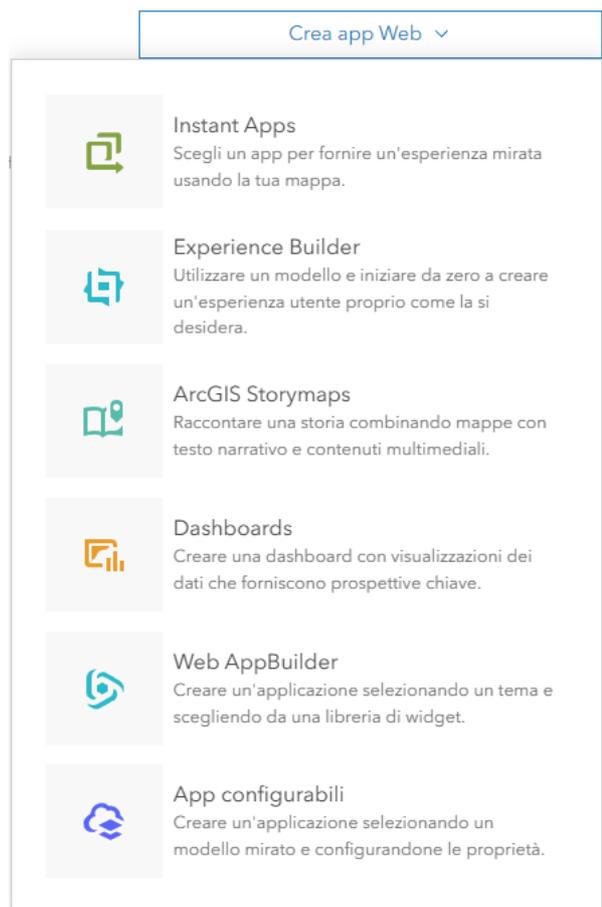


Figura 40: Creazione App Web dal portale ESRI

Per quest'ultimi si è cercato di immedesimarsi nell'utente per capire le esigenze e fornire una migliore interpretazione e fruizione dei dati inseriti nella Web App.

In tal senso sono stati aggiunti i widget legati alla legenda, elenco layer, misurazione di eventuali aree, informazioni; strumenti utili per l'utente che si avvicina per la prima volta nella realtà dell'isola e ne vuole scoprire le peculiarità.

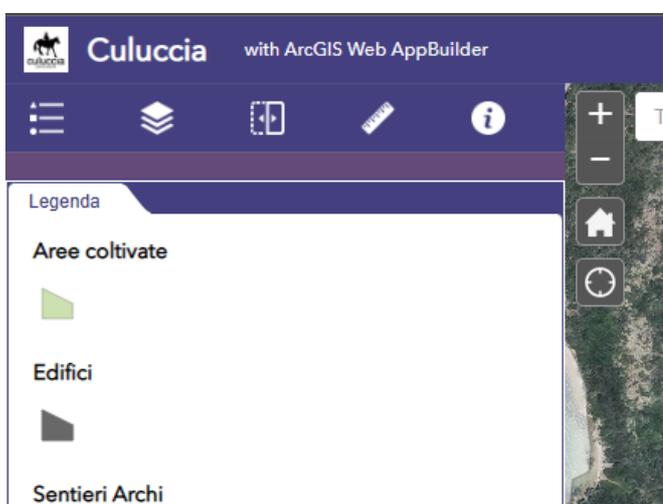
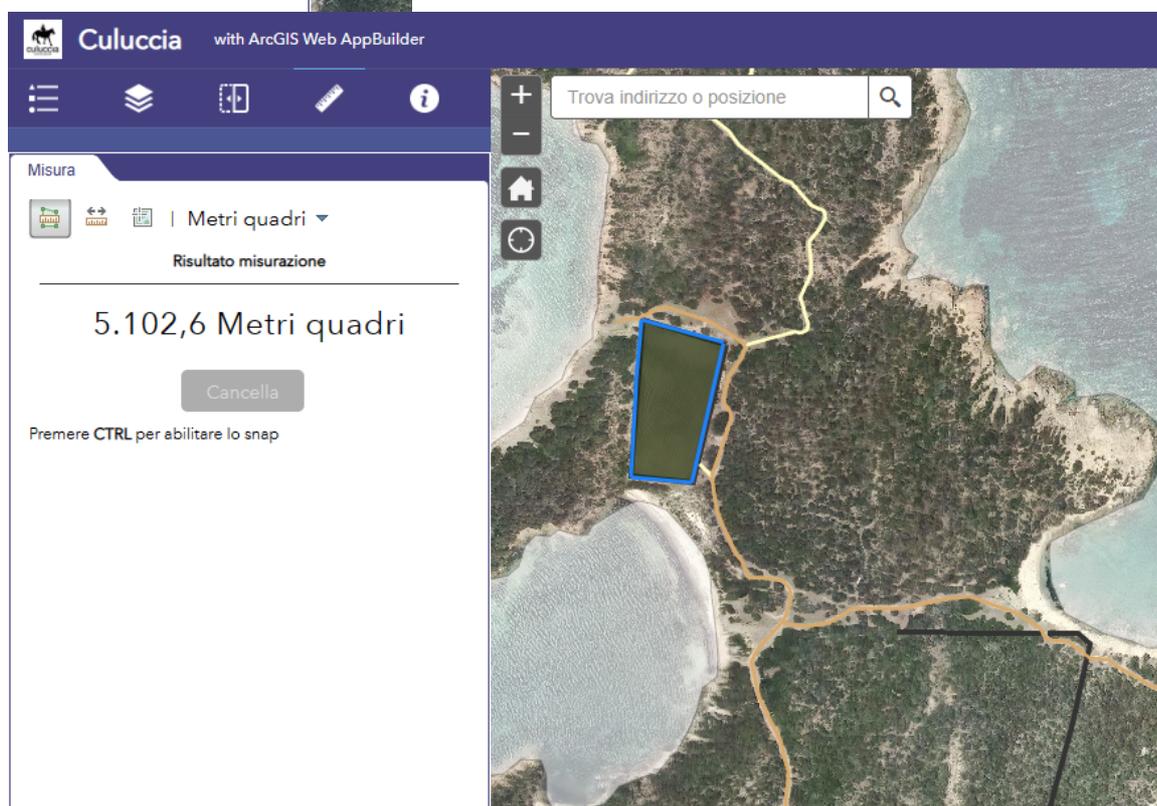


Figura 42: Visualizzazione della legenda nella Web App

Figura 41: Visualizzazione del widget per la misurazione areale o lineare nella Web App



Un widget inserito al fine di comprendere al meglio l'evoluzione storica dell'isola è "Slides" che permette, tramite una visuale a "Spyglass", di vedere lo stato attuale con l'ortofoto del 2019 sulla base dell'ortofoto del 1954-55.

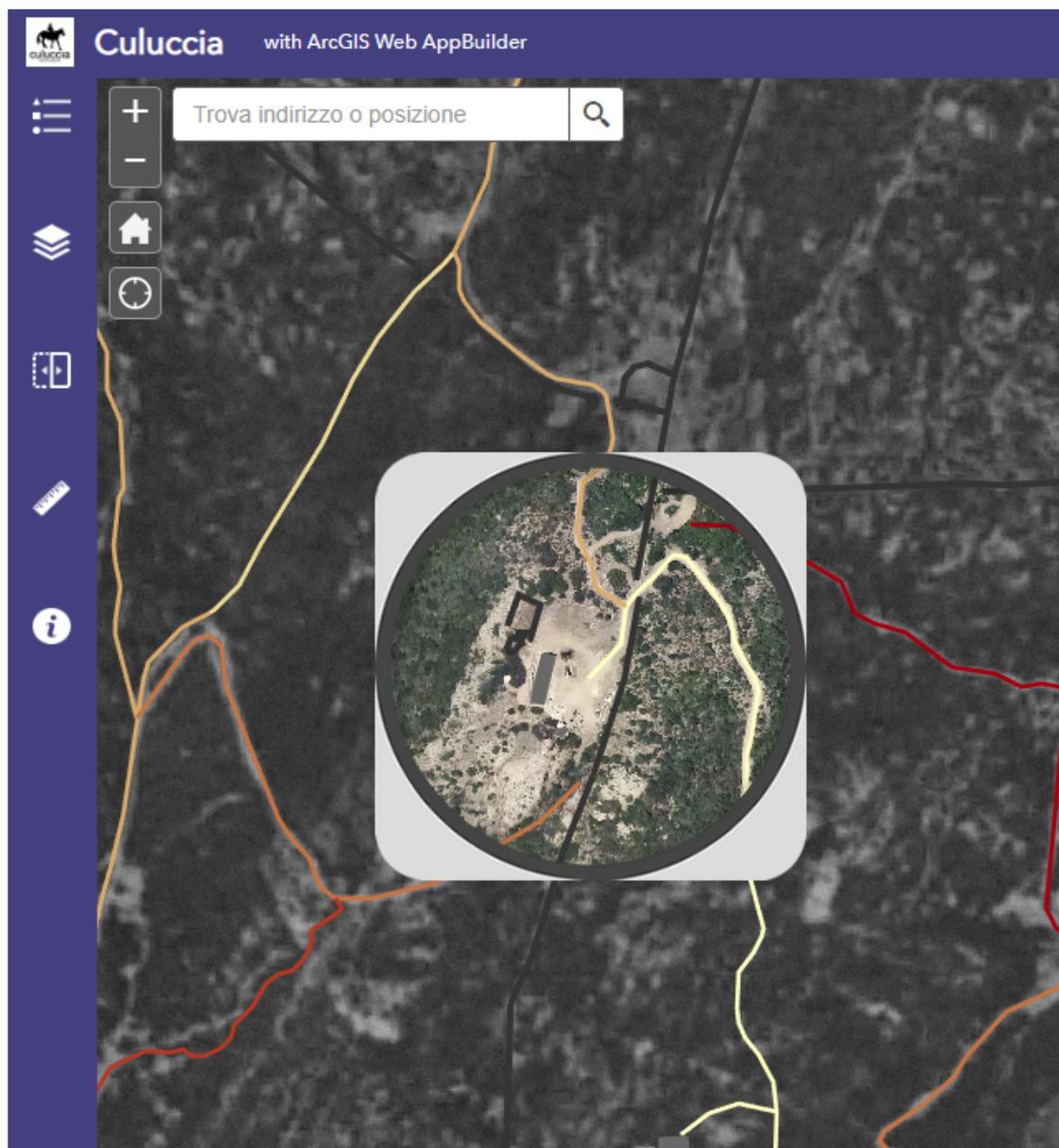


Figura 43: Widget Slides dell'ortofoto del 2019 e del 1954-55

Al fine di fornire ogni informazione degli elementi all'interno della mappa, è possibile interrogare ciascun dato e visualizzare gli attributi inseriti dagli utenti autorizzati, che possono aggiornarli dopo ogni rilievo effettuato.

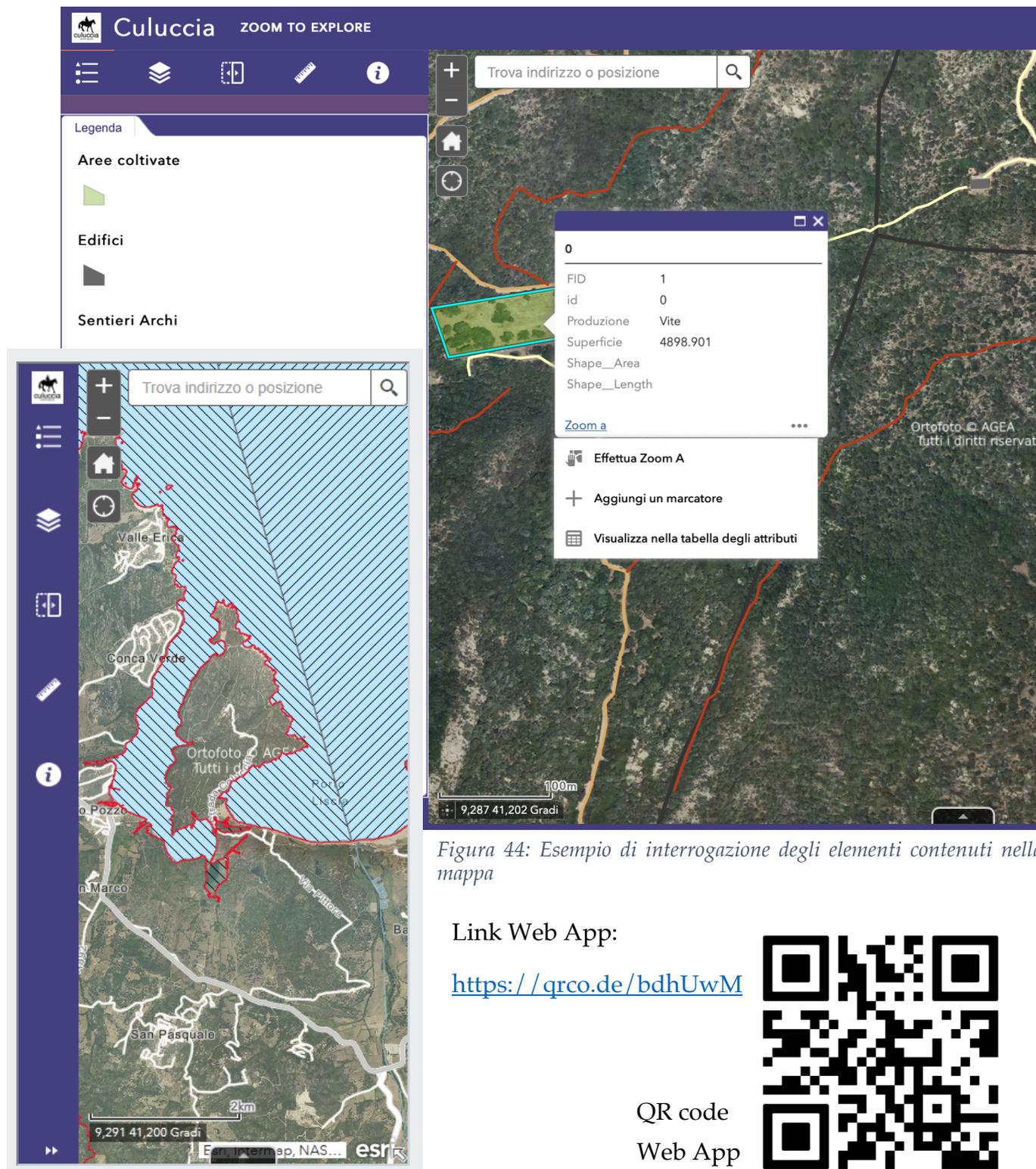


Figura 44: Esempio di interrogazione degli elementi contenuti nella mappa

Link Web App:

<https://qrco.de/bdhUwM>



QR code
Web App

Figura 45: Schermata della WebApp da smartphone

CONCLUSIONI E RIFLESSIONI

La tesi ha mirato a far sì che il progetto, per quanto in versione preliminare, non rimanga fine a se stesso, ma che ponga le basi per uno sviluppo futuro più ampio.

La creazione di un WebGIS dedicato per l'isola Culuccia vuole rappresentare come la raccolta dei dati e il loro sviluppo possano contribuire in modo attivo alla tutela, salvaguardia, conservazione e fruibilità di questa realtà naturale.

L'isola Culuccia, come molte altre isole, ha la necessità di essere mantenuta in vita attraverso processi di sviluppo, e soltanto con questi strumenti è possibile farlo al meglio.

Le potenzialità del WebGIS risiedono nella sua capacità di fruizione e di aggiornamento costante. Al giorno d'oggi, gli enti pubblici e privati e i tecnici affrontano problemi legati alla fruizione dei dati e alla loro versione, poiché non sempre vengono messi in rete i dati raccolti o gli elementi creati. I WebGIS portano innovazione in quei settori, in cui ancora oggi non si è sviluppato un pensiero progressista e che non vi sia ancora l'idea di tutela e salvaguardia.

Grazie al progetto portato avanti dal Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture e alla Biru Srl Agricola, l'isola Culuccia possiede un sistema informativo territoriale aggiornato, utilizzabile con una Web App dedicata.

Tale Web App ha la possibilità di essere continuamente implementata con il passare del tempo dando modo, a chi ne usufruisce, di avere una rappresentazione multiscala interattiva dell'isola sempre aggiornata, e di poter analizzare accuratamente il territorio, interrogando ogni sua singola componente.

BIBLIOGRAFIA

Allegato alla Delibera G.R. n.36/7, A. 1. (5 settembre 2006).

Azienda Agricola Culuccia, P. (2017). *www.culuccia.com*.

Belcore, E., Pittarello, M., Lingua, A., & Lonati, M. (2021). *Mapping Riparian Habitats of Natura 2000 Network (91E0*, 3240) at Individual Tree Level Using UAV Multi-Temporal and Multi-Spectral Data*.

Biasion, A., Borgogno Mondino, E., Bornaz, L., Giulio Tonolo, F., Lingua, A., & Rinaudo, F. (2006). *Utilizzo delle tecniche della geomatica per la modellazione del territorio*. Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Ambiente e delle Geotecniche, Politecnico di Torino.

Brocchini, D., Chiabrando, F., Colucci, E., Sammartano, G., Spanò, A., Teppati Losè, L., & Villa, A. (2017). *The geomatics contribution for the valorisation project in the Rocca of San Silvestro landscape site*.

Chiabrando, F., Costamagna, E., & Spanò, A. (2013). *Passive optical sensors and related image-matching methods for 3D modelling* (Vol. Territorio Italia n.1).

Chiabrando, F., Donadio, E., & Rinaudo, F. (2015). *SfM for Orthophoto Generation: A Winning Approach for Cultural Heritage Knowledge*.

Chiabrando, F., Spanò, A., Costamagna, E., & Rinaudo, F. (2010). *Very close nadiral images: a proposal for quick digging survey*. Politecnico di Torino.

Colucci, E. (2017). *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*.

Colucci, E., Spanò, A., & Chiabrando, F. (2017). *WebGIS tools to disseminate archaeological landscape memory*.

Consortium, O. G. (s.d.). Tratto da www.ogc.org: <https://www.ogc.org/about>

D. Lgs. 42/2004, Art.136. (s.d.).

D.Lgs. 42/2004 e s.m.i., Art. 146. (s.d.).

- Di Bartolomeo, M. (2009). *Implementazione di un WebGIS oper source per la gestione dei dati archeologici, paleogeomorfologici e storico-cartografici relativi alla rete idrografica antica di Aquileia*.
- Fea, M., & Gomarasca, M. (2008). *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*.
- Gallura, N. t. (2007).
- GFOSS, A. I. (s.d.). GFOSS. Tratto da <https://www.gfoss.it/software-gis/webgis>
- Gomarasca, M. A. (2004). *Elementi di geomatica*.
http://www.cbgallura.it/index.php?option=com_content&view=article&id=47. (2022, 12 29). Tratto da http://www.cbgallura.it/index.php?option=com_content&view=article&id=47
- Lingua, A., Boccardo, P., Chiabrandò, F., Facello, A., Gnavi, L., Maschio, P., & Spanò, A. (2013). *A didactic project for landscape heritage mapping in post-disaster management*.
- Lingua, A., Chiabrandò, F., Maschio, P., & Teppati Losè, L. (2017). *The Influence of flight planning and camera orientation in UAVs photogrammetry. A test in the area of Rocca San Silvestro (LI)*.
- Lingua, A., Matrone, F., Noardo, F., Spanò, A., & Sanna, S. (2017). *3D model generation using oblique images acquired by UAV*.
- Migliaccio, F. (2007). *Sistemi Informativi Territoriali e Cartografia*. Maggioli Editore.
- Migliaccio, F., & Carrion, D. (2016). *Sistemi informativi territoriali. Principi e applicazioni*.
- Norme tecniche d'attuazione P.U.C Santa Teresa di Gallura*. (2007).
- Parlamento Italiano. (s.d.). *G.U. 25 luglio 1966 n°183*.
- Piano Paesaggistico Regionale, L. (5 settembre 2006). *Relazione Generale*.
- Sammartano, G. (2014). *Cinque Terre: conservazione dell'ordinario e rischio dello straordinario: una proposta di database geografico-spaziale per il patrimonio paesaggistico di Vernazza (SP)*. Politecnico di Torino.

Settis, S. (2010). *Paesaggio Costituzione cemento*. Einaudi.

Indice delle Figure

Figura 1: Inquadramento su ortofoto 2019 scala di rappresentazione 1:100.000	6
Figura 2: Porzione di territorio urbanizzato dell'isola (Fonte: https://www.culuccia.com)	6
Figura 3: Carta delle aree individuate nella Rete Natura 2000 scala di rappresentazione 1:30.000 (Fonte: elaborazione sulla base dei dati del Geoportale Sardegna in scala 1: 30.000)	9
Figura 4: Ambito 17 Piano Paesaggistico Regionale Sardegna 2006 scala di rappresentazione 1:30.000 (Fonte: elaborazione personale su base PPR in scala 1: 50.000)	11
Figura 5: Estratto Piano Urbanistico Comunale Santa Teresa di Gallura scala 1:50.000 (Fonte: PUC)	14
Figura 6: Fotogramma come prospettiva centrale (Fonte: Droni e fotogrammetria L2 Andrea Lingua e Francesca Matrone)	16
Figura 7: Schematizzazione di prese fotogrammetriche (Fonte: https://tinyurl.com/4msk4pmp)	17
Figura 8: Esempio di SfM (Fonte: dispense Droni per il rilievo territoriale, A.M.Lingua)	19
Figura 9: Elaborazione tridimensionale della nuvola di punti prodotta dal rilievo fotogrammetrico dell'isola (Fonte: Rilievo e post-processing di Lorenzo Teppati Losè, Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali, DAD, Politecnico di Torino)	20
Figura 10: Dense Point cloud generata dell'isola Culuccia (Fonte: Elaborazione di Lorenzo Teppati Losè)	21
Figura 11: Esempio di DTM e DSM (Fonte: Dispense di Droni per il rilievo territoriale A.M.Lingua)	22
Figura 12: Differenti usi del Gis (Fonte: https://tinyurl.com/yvkysx7x)	24
Figura 13: Struttura del WebGIS (Fonte: https://www.esri.com/about/newsroom/insider/the-expansive-reach-of-web-gis/)	25
Figura 14: Schermata intuitiva del Geoportale Sardegna (Fonte: Geoportale Sardegna)	27
Figura 15: Schermata SIT del Geoportale (Fonte: Geoportale Sardegna)	28

Figura 16: Schema concettuale di un sistema WebGIS, basato su MapServer, in cui l'interscambio dei dati avviene attraverso gli standard "Web service" dell'OGC. (Fonte: Di Bartolomeo, 2009).....	29
Figura 17: Team Direct sull'isola Culuccia (Fonte: https://tinyurl.com/s6u2wjet).....	31
Figura 18: Immagine dal drone della porzione di territorio interessata in progetto (Fonte: https://tinyurl.com/s6u2wjet).....	31
Figura 19: Ricevitore GNSS utilizzato per il rilievo.....	32
Figura 20: Drone utilizzato DJI Matrice 300 (Fonte: https://tinyurl.com/s6u2wjet).....	32
Figura 21: Processo di elaborazione dei dati rilevati dal drone.....	33
Figura 22: Drone utilizzato DJI Phantom 4 RTK Multispettrale.....	33
Figura 23: Camera multispettrale del drone DJI Phantom 4 RTK.....	33
Figura 24: Elaborazione fuori scala della camera multispettrale (Fonte: Laboratorio di Geomatica per i Beni Culturali, DAD, Politecnico di Torino; Elena Belcore e Alessandra Spadaro).....	34
Figura 25: Segmentazione e classificazione vegetazione; Fuori scala (Fonte: Gruppo di Geomatica; Elena Belcore e Alessandra Spadaro).....	35
Figura 26: Classificazione vegetazione; Scala 1:7.000 (Fonte: Elaborazione personale sulla base dei dati prodotti dal Gruppo di Geomatica.....)	35
Figura 27: Modello concettuale (Fonte: elaborazione tramite la piattaforma Draw.io).....	38
Figura 28: Tabella inerente al modello concettuale.....	39
Figura 29: Modello logico (Fonte: elaborazione tramite piattaforma Draw.io).....	41
Figura 30: Tabella inerente al modello logico.....	42
Figura 31: Creazione degli shapefile; schermata del software QGis.....	43
Figura 32: Inserimento attributi su shapefile testuali.....	44
Figura 33: Inserimento delle relazioni tra i vari shapefile.....	44
Figura 34: Schermata inserimento ortofoto WMS derivate dal Geoportale Sardegna.....	45
Figura 35: Classificazione temporale degli archi.....	46
Figura 36: Confronto temporale 2016-2019 dell'area coltivata a nord (Fonte: WMS Geoportale Sardegna).....	47

Figura 37: Schermata condivisione da ArcGIS Pro	48
Figura 38: Proprietà mappa e sistema di coordinate inserite ArcGIS Pro.....	49
Figura 39: Interfaccia di inserimento layer nel Map Viewer	49
Figura 40: Creazione App Web dal portale ESRI.....	50
Figura 41: Visualizzazione del widget per la misurazione areale o lineare nella Web App	51
Figura 42: Visualizzazione della legenda nella Web App	51
Figura 43: Widget Slides dell'ortofoto del 2019 e del 1954-55	52
Figura 44: Esempio di interrogazione degli elementi contenuti nella mappa ..	53
Figura 45: Schermata della WebApp da smartphone.....	53