

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

SCUOLA DI SCIENZE
Dipartimento di Geoscienze
Direttore Prof. Nicola Surian

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN GEOLOGIA E
GEOLOGIA TECNICA

**STUDIO DELLE TRACCE
GEOARCHEOLOGICHE DEL CARSO
ISONTINO MERIDIONALE TRAMITE
ANALISI DI DATI LiDAR**

Relatore: Prof. Alessandro Fontana

Correlatore: Dr. Giacomo Vinci

Laureanda: Chiara Marcellini

Matricola: 2016738

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. PAESAGGI CARSICI	5
2.1 FENOMENO DEL CARSISMO.....	5
2.2 MORFOLOGIA DELLE DOLINE	7
2.3 DOLINE E PERICOLOSITA' AMBIENTALE	12
3. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	13
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	13
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
3.3 IL CARSO ISONTINO	16
3.3.1 REAZIONE DI DISSOLUZIONE CARSICA.....	19
3.3.2 FORME CARSICHE DEL CARSO ISONTINO	20
3.4 INQUADRAMENTO STORICO E ARCHEOLOGICO	24
3.4.1 ETA' PREISTORICA	25
3.4.2 ETA' DEL BRONZO	26
3.4.3 ETA' DEL FERRO	30
3.4.4 ETA' ROMANA.....	30
3.4.5 ETA' MEDIEVALE	32
3.4.6 ETA' MODERNA.....	33
3.4.7 ETA' CONTEMPORANEA - PRIMA GUERRA MONDIALE... 34	
3.4.8 VIABILITA' ANTICA	35
4. METODI	37
4.1 METODOLOGIA LiDAR.....	37

4.2 MODELLI DIGITALI DEL TERRENO (DTM).....	39
4.2.1 USO DEI DATI LiDAR IN STUDI GEOARCHEOLOGICI.....	45
4.3 INTERPRETAZIONE DEL PALINSESTO DEL PAESAGGIO DI DATI LiDAR.....	47
4.4 HARRIS MATRIX	48
4.4.1 SOVRAPPOSIZIONE DELLE TRACCE ARCHEOLOGICHE ..	49
4.5 CATASTO FRANCESCHINO	52
4.6 ELABORAZIONI DEI DATI LiDAR	53
4.6.1. PRE-ELABORAZIONI	53
4.6.2 INDIVIDUAZIONE DELLE TRACCE GEOARCHEOLOGICHE	54
5. RISULTATI	55
5.1 SUDDIVISIONE DELLE PRINCIPALI TIPOLOGIE DI TRACCE GEOARCHEOLOGICHE.....	55
5.1.1 TRINCEE	56
5.1.2 DIVISIONI DI CAMPI.....	58
5.1.3 EDIFICI.....	61
5.1.4 ACCUMULI DI PIETRAME	62
5.2 CASTELLAZZO DI DOBERDO'	64
5.3 CASTELLIERI S. POLO E FORCATE; ROCCA DI MONFALCONE	65
5.4 DIVISIONI DI CAMPI	67
5.4.1 AREA 1	68
5.4.2 AREA 2	72
5.4.3 AREA 3	75

5.4.4 AREA 4	77
5.4.5 TRACCE PARTICOLARI.....	82
5.5 TRACCE RELATIVE AL RETICOLO CENTURIALE DI ETA’ ROMANA.....	84
5.6 TRACCE DI EPOCA MODERNO-CONTEMPORANEA	85
5.7 TRINCEE E CRONOLOGIA DEL FRONTE TRA 1915-1917.....	87
5.8 UTILIZZO DELLE DOLINE NEL TEMPO.....	89
6. DISCUSSIONE	91
7. CONCLUSIONI	97
8. BIBLIOGRAFIA.....	101
9. SITOGRAFIA	111
10. ALLEGATO	112

ABSTRACT

The aim of this thesis is the survey of the southern sector of Isonzo Karst with the aim to recognize and map the ancient traces of land use through the elaboration and interpretation of Digital Terrain Models (DTM) obtained by LiDAR data (Light Detection and Ranging). Although some papers in the literature analyzed the main archaeological sites found on the region, no detailed areal studies have been carried out on the widespread territorial systems and previous investigations only focused on the “castellieri”, the prehistoric hilltop fortified sites of the Bronze Age. This thesis is a case study of geoarchaeology, that corresponds to the application of the geoscience disciplines to the archaeological research. In particular, the research applied remote sensing technics for investigating the landscape of the area. This thesis was carried out in the framework of the new geological map of Italy (CARG Project, Foglio 088 Gorizia) and is one of the preparatory steps for guiding the geological survey of Quaternary deposits and geomorphological features of the area.

The Isonzo Karst is bordered on the east by the Slovenian Karst, on the west and south by the Isonzo River (Soča River in Slovenian), and the Friuli Plain, while on the east the Valley named Vallone Carsico marks the boundary with the Trieste Karst. The Karst is a Mesozoic carbonate platform that has undergone deformation and compression as a result of two orogenic phases, the Dinaric event and the Alpine event. It is an area affected by persistent karst phenomena, during the Quaternary, in which sinkholes are the most numerous surface macrostructures. These landforms have been previously analyzed through interpretation of LiDAR-derived DTMs by another thesis carried out in the Department of Geosciences (Palumbo, 2017), that produced a very detailed geodatabase of them and have been used as a map for the geomorphological features. The final product of this thesis is a geodatabase of the recognized traces of past land use that allowed to produce a map of them at scale 1:25.000 and some elaboration of it with only the tracks of some specific periods.

The LiDAR survey produced by the Regione the Friuli Venezia Giulia in 2020 and was the key tool used in this work, that allowed the production of very high-precision (DTMs), which provided a detailed view of the ancient structures. The DTM consists of raster

images with a pixel of 0,5 m and a vertical accuracy of 15 cm and the elaborations have been produced through the software QGIS (version 3.16). In particular, the study took advantage of the possibility offered by the LiDAR survey to filter the vegetation cover and the present buildings, enhancing the visibility of natural landforms and ancient archaeological traces. Results of this methodology are generally much more effective than the ones eventually obtained through a conventional field survey, that in any case would require an immense quantity of time. The single tiles of the DTM are 2x2 km and they have been merged together creating a single file for the whole study area that have been analyzed generating the following operations: Local Relief Model and after hillshade.

The total area is 26 km² and was in turn divided into four smaller sub-areas that represent the zones where the concentration of traces is highest and where the most interesting structures are expected to be found. This allowed to make a more detailed description, discussing the results of the elaboration and the interpretations. The site of the castellieri have been described separately, as some studies are already found in literature. Among these fortified settlements the most interesting of them corresponds to the site of Castellazzo di Doberdò, where, for the first time, internal settlement patterns have been recognized within the walls and they suggest the possibility to carry on significant further field studies.

The area was ruled by the Austrians until 1915 and has been detailed depicted by the cadaster maps of the first part of the 19th century, the so-called “Catasto Franceschino” surveyed in 1817 under the reign of Francesco I. The comparison between this map and recognized traces allowed to evidence the modern features, but older than the First World War.

The most diffused and evident trace typology corresponds to the tracks of the trenches, bunkers and fortifications related to the First World War, that interested the area between May 1915 and October 1917. The study area has been strongly imprinted by trenches, that also significantly altered the previous traces and sometimes cancelled them completely. A limited number of the detected features are characterized by square or rectangular plan shape and with a length between 10-50 m for each side. These traces do not correspond to modern structures, and have been interpreted as ancient buildings, possibly corresponding even to features of Roman age.

A large number of traces have been not clearly identified for their age and use, but they have been generically named “geoarchaeological tracks” in the final map. Most of them are very likely dry walls marking field division systems used for agro-pastoral purposes along a time interval older than 19th century but that can include in many cases also the Bronze Age or even the Prehistory. To interpret the meaning of these tracks some comparisons with other areas have been tentatively made. In particular, with the neighboring area of the Trieste and Slovenian Karst. Which has a very similar landscape and where significant detailed researches have been already carried out in recent time.

In many cases, a clear and sure attribution of the detected traces to a specific period was not possible, because of the resilience of the landscape of the features like the dry wall, that maintained a similar construction technique along the centuries and millennia. So, some of the traces can belong to prehistoric structures that have been used until modern time. For discriminating the age of the mapped structures a significant field work would be necessary, but this was not planned in this thesis because of the quantity of time that this task would require even for investigating rather small areas and moreover, for the administrative permissions. Moreover, the research was carried out between spring 2023 and autumn, when the thorny vegetation of the Karst strongly limitS the accessibility to the places and limit the visibility of the ground.

Anyhow, the maps produced in this study display a comprehensive and very detailed view of the southern sector of the Isonzo Karst. They represent a powerful and necessary tool for guiding the future investigations for reconstructing the geomorphological evolution of the area and especially for suggesting the sites where dedicated archaeological excavation campaigns could strongly improve the knowledge about the ancient human settlements in the region.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni la tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) si è molto sviluppata in diversi settori, che vanno dall'urbanistica alla valutazione del rischio in qualsiasi ambito, fino all'applicazione in ambito forestale. Uno dei principali vantaggi di questa tecnologia deriva dalla possibilità di produrre carte topografiche con misure ad altissima precisione. A differenza dei sensori passivi, che utilizzano il Sole come sorgente di luce, il LiDAR è un sensore attivo che può essere utilizzato anche di notte, in quanto provvede esso stesso all'illuminazione della superficie, captando le radiazioni elettromagnetiche di ritorno e inoltre non risente della presenza della vegetazione.

In tempi più recenti la tecnologia LiDAR si è sviluppata anche in ambito archeologico, consentendo di portare alla luce e quindi di analizzare e di studiare diverse forme e tracce geoarcheologiche in gran parte sconosciute. Con il termine "geoarcheologia" ci si riferisce alla ricerca archeologica mediante i metodi e i concetti delle scienze naturali (Butzer, 1982; Cremaschi, 2000). La geomorfologia studia invece i processi e i fattori che hanno determinato l'origine delle forme del rilievo. Si tratta quindi di una disciplina indispensabile per lo studio del paesaggio antropico.

Questo lavoro di tesi si concentra nel settore meridionale del Carso Isontino, per un'estensione complessiva di circa 26 km² (Figura 1.1). Il Carso Isontino rappresenta la prosecuzione nord-orientale del Carso Triestino-Sloveno ed è delimitato ad ovest dal Fiume Isonzo e ad est dal confine italo-sloveno. È un plateau di rocce carbonatiche interessate da persistenti fenomeni carsici, in cui l'acqua piovana che percola all'interno delle fratture e dei pori della roccia crea strutture caratteristiche, come ad esempio le doline, che nell'area analizzata rappresentano le macro forme superficiali più comuni.

Ho scelto di trattare questo argomento in quanto da sempre mi affascina il mondo dell'archeologia. La mia passione deriva soprattutto a seguito della laurea triennale, in cui il mio lavoro di tesi si è svolto in Pakistan, con lo scopo di realizzare un modello tridimensionale di un sito archeologico. Questa tesi è stata svolta nell'ambito della nuova carta geologica d'Italia (Progetto CARG, Foglio 088 Gorizia) e rappresenta uno dei passi preparatori per guidare il rilevamento geologico dei depositi quaternari e delle caratteristiche geomorfologiche dell'area.



Figura 1.1: Carta topografica alla scala 1:250.000 (Editrice Tabacco) in cui è indicata l'area del Carso Isontino meridionale oggetto di questa tesi.

L'obiettivo principale di questo lavoro di tesi è quello di investigare a livello geoarcheologico una zona poco conosciuta e poco trattata nei lavori precedenti, che si sono focalizzati prevalentemente nella zona del Carso Triestino e del Carso Sloveno. Lo scopo di questo lavoro è quello di realizzare una mappa in cui vengano tracciate tutte le strutture antropiche antiche identificate nell'area tramite il LiDAR. Le strutture identificate verranno poi, per quanto possibile, suddivise in base alla loro funzione, analizzando principalmente la forma e, in alcuni casi, verranno associate ad un preciso periodo storico. Quest'ultimo passo risulta il più complesso in quanto non è stato effettuato lavoro sul campo, che avrebbe potuto essere d'aiuto per la raccolta di dati utili alle datazioni.

Questa zona, parzialmente studiata in passato, è ricca di resti geoarcheologici di periodi differenti tra loro. Sono presenti numerose grotte con resti archeologici e paleontologici,

utilizzate principalmente dal Mesolitico al periodo Protostorico (Montagnari, 1994; Boschian & Montagnari, 2000). Per quanto riguarda l'età del Bronzo e del Ferro, invece, sono noti i castellieri, villaggi con cinte murarie, solitamente posizionati su alture (Antonelli et al., 2004; Marchesetti 1903, Montagnari, 1989), molti dei quali sono poi entrati sotto l'influenza romana a partire dal II secolo a.C. (Bandelli 2004; Horvat 1999, 2002, 2008, 2009). In epoca Moderna l'area del Carso Isontino faceva parte dell'Impero Austro-Ungarico; di questo periodo rimangono le divisioni di campi, riscontrabili nel Catasto Austriaco Franceschino. Nel 1900, durante la Prima Guerra Mondiale l'area fu luogo di numerosi scontri e battaglie, le cosiddette Battaglie dell'Isonzo. Nell'area rimangono un gran numero di tracce di trincee, che in molti casi cancellano o modificano tracce più antiche.

Il lavoro di tesi è stato svolto grazie all'ausilio del software QGIS, in cui sono stati utilizzati i DEM ricavati da LiDAR. Si è rivelato molto utile l'utilizzo del *Local Relief Model*, un particolare tipo di DEM in cui le tracce risultano molto più evidenti rispetto all'*hillshade* in scala di grigi. Inoltre si sono rivelati molto utili i lavori archeologici effettuati nelle zone limitrofe al Carso Isontino, per poter confrontare alcune tracce rinvenute nell'area con altre già studiate.

La mappa finale realizzata, in cui sono riportate tutte le tracce scoperte nell'area, potrà essere utile per futuri studi, campagne di scavo archeologiche e analisi nel territorio.

2. PAESAGGI CARSICI

In questo capitolo vengono descritti i caratteri generali del paesaggio fisico che sono principalmente caratterizzati dall'alterazione delle rocce, e inoltre verrà descritto in generale il fenomeno del carsismo. Successivamente si passa alla descrizione delle forme carsiche, con focus sulla descrizione delle doline, che, nella zona di studio, sono le forme più presenti e diffuse. Infine viene fornita una breve illustrazione di come la tecnologia LiDAR, negli ultimi anni, è stata utilizzata per studiare e prevenire i rischi associati alle zone carsiche. Con il termine rischi si fa riferimento principalmente allo sprofondamento delle doline.

2.1 FENOMENO DEL CARSISMO

Il termine carsismo viene usato in ambito scientifico per identificare un particolare tipo di ambiente che si distingue per morfologie e idrologia, che, nel caso specifico, derivano entrambe dalla dissoluzione delle rocce (De Waele et al., 2022). Questo termine viene coniato nel settimo secolo a.C. dai filosofi greci, mentre i primi studi moderni riguardanti il carsismo sono iniziati nell'Ottocento, quando cominciarono ad essere esplorate le grotte della zona del Carso Triestino, a causa dei problemi di approvvigionamento idrico della città di Trieste (Cucchi et al., 2012).

Gli ambienti carsici si sviluppano in aree dove prevalgono rocce calcaree e dolomitiche ben fratturate ma, oltre a questo, per avere un ambiente carsico è necessario che ci sia un flusso d'acqua abbastanza intenso per poter causare un'estesa dissoluzione (Frisia et al., 2010). Questo processo è causato dall'interazione tra rocce e acqua e produce morfologie molto caratteristiche.

Le rocce sono spesso soggette ad alterazione chimico-fisica che può essere causata da vari processi. L'idrolisi è una forma di degradazione in cui l'acqua reagisce principalmente con i minerali silicatici (ad esempio i feldspati) e li decompone. Un altro processo chimico è l'idratazione, che avviene in presenza di minerali che sono capaci di assorbire acqua all'interno della loro struttura, causando un aumento di volume e provocando quindi un incremento tensionale all'interno della roccia.

Tra i principali processi fisici, di nota importanza si possono citare l'espansione termica, ovvero il rilascio di pressione quando si ha erosione o rimozione di materiali sovrapposti; l'alternanza di cicli *wet/dry*, che producono una variazione di volume nella roccia a seguito della presenza o meno di fluido all'interno delle fratture che la possono caratterizzare; l'alclostismo dovuto alla presenza di sali, i quali quando precipitano nei pori e nelle fratture della roccia producono un aumento di volume e una pressione sulle pareti; infine si parla anche di degradazione legata alla presenza di acqua (Furlani, 2008). Un altro importante processo fisico che causa degradazione è il ciclo gelo-disgelo (crioclastismo), il quale è causato dalla pressione provocata dall'aumento di volume dell'acqua contenuta nelle fratture della roccia quando questa ghiaccia (Blend & Roll, 1998).

Il paesaggio carsico è quindi il frutto di processi fisico-chimici (Figura 2.1) che causano degradazione di rocce solubili a seguito dell'interazione con acqua meteorica (De Waele et al., 2022).

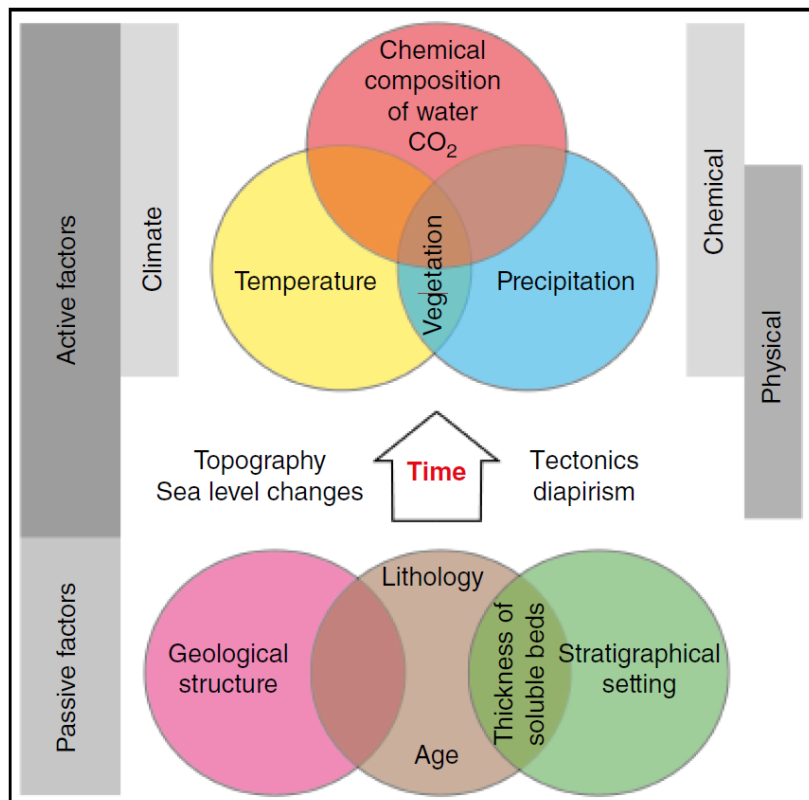


Figura 2.1: Visualizzazione schematica dei fattori fisico-chimici che regolano lo sviluppo di paesaggi carsici (De Waele et al., 2022).

I processi chimici sono quelli che causano alterazioni all'interno dei minerali in una roccia. La dissoluzione è il processo che interessa più comunemente le rocce carbonatiche e, anche se queste non sono le rocce più carsificabili in assoluto, sono le più diffuse a livello globale. Le rocce più facilmente soggette alla dissoluzione sono i gessi e il salgemma. In linea generale le rocce carsiche sono essenzialmente monomineraliche, quindi il fenomeno del carsismo consiste nella dissoluzione del minerale principale. I minerali solubili che interagiscono con l'acqua sottosatura (solvente), si decompongono progressivamente in due componenti chimiche (soluti).

2.2 MORFOLOGIA DELLE DOLINE

Prima di descrivere nel dettaglio le doline è bene fare una breve sintesi sulle principali forme che si possono trovare in ambienti carsici. I *Karren* sono legati alla dissoluzione irregolare della superficie del substrato roccioso, che comporta lo sviluppo di depressioni, o canali. Queste strutture, in genere, hanno dimensioni che vanno da alcuni millimetri a pochi metri, anche se, in alcuni casi particolari, possono raggiungere decine e centinaia di metri di lunghezza. I *Polje* sono depressioni carsiche piatte con drenaggio sotterraneo, dove le rocce carsiche sono prevalentemente allungate nella direzione dell'assetto strutturale (Sweeting, 1972; Gams, 1978; Ford & Williams 2007; Bonacci, 2013). Possono essere bacini chiusi o aperti e sono di grande importanza in quanto ospitano spesso estese aree agricole e infrastrutture, perché possono fornire accesso diretto alle risorse idriche (*Karst windows*) (Milanović, 2002, 2018; Bonacci, 2013). Infine le grotte, che nell'area del Carso sono circa 3000, possono avere dimensioni molto variabili e sovente queste rappresentano archivi unici che registrano una varietà di dati fisici e chimici che consentono la ricostruzione dei cambiamenti climatici e ambientali del passato (Frisia et al., 2010).

Le doline sono strutture tipiche e frequenti del Carso Isontino, più in generale molto comuni in aree carsiche: sono depressioni sub-circolari e la loro forma dipende da svariati fattori, come l'assetto strutturale della roccia, la litologia e il meccanismo genetico. In alcuni casi le differenze di forma delle doline possono essere indicatori di diversi stadi evolutivi e di diverse età. Ad esempio una dolina conica può progressivamente evolvere in una *pan-shaped*, fino ad arrivare al collasso dei propri margini (Gökkaya et al., 2021). Si sviluppano principalmente in aree "piatte" dove il basso gradiente topografico

favorisce l'infiltrazione dell'acqua e inibisce il *runoff* superficiale e i meccanismi di erosione (Gutiérrez & Lizaga 2016; Öztürk et al., 2018a). Le doline possono arrivare fino a centinaia di metri di larghezza e fino a decine di metri di profondità. Esse possono essere forme isolate o formare dei *cluster* allineati.

Un modello classico della struttura di una dolina è quello rappresentato da Sauro (1995), secondo cui le doline vengono descritte in base alla forma esterna e al tipo di materiale di riempimento (Figura 2.2). Questo può essere composto da frammenti di suolo, frammenti di roccia provenienti dai versanti, materiali di riempimento derivanti da cavità carsiche preesistenti, depositi eolici e depositi alluvionali, ma anche reperti paleontologici e archeologici (Ferrarese & Sauro, 2001). Molto spesso i materiali di riempimento di una dolina risultano cementati dal carbonato di calcio che precipita all'interno del deposito.

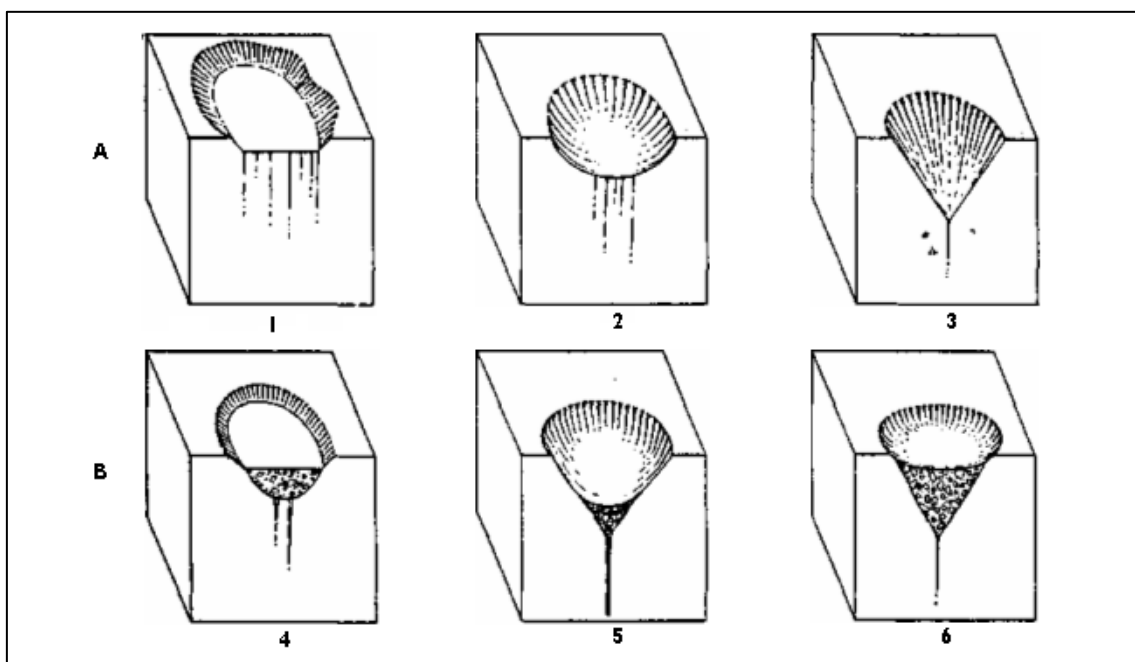


Figura 2.2: Schema di alcune tipologie di doline (Castiglioni, 1986). A) Doline senza deposito di riempimento: 1) piatto, 2) scodella, 3) imbuto. B) Doline con depositi di riempimento: 1) piatto, 2) scodella, 3) imbuto.

La classificazione che segue fa riferimento ad un lavoro più recente, in cui le doline vengono distinte sulla base delle differenze morfologiche e dei relativi meccanismi genetici (Ferrarese & Sauro, 2001).

Le doline di depressione idrogeologica “*drawdown doline*” (Figura 2.3) si formano quando, in momenti di intense precipitazioni, l’acquifero sospeso che si forma nell’epicarso presenta una depressione in corrispondenza della dolina. Questa depressione causa un arricchimento di acqua verso il centro stesso della dolina, che quindi subirà un’erosione maggiore e che tenderà ad abbassarsi più velocemente rispetto alle superfici periferiche. Queste doline si riscontrano principalmente in formazioni calcaree.

Le doline di ricarica puntuale “*point recharge depressions*” (Figura 2.3) si formano quando un corso d’acqua superficiale viene assorbito da un inghiottitoio, questo causa un abbassamento dell’inghiottitoio stesso, da cui prende forma la dolina. Questa tipologia di dolina si ritrova frequentemente nei gessi.

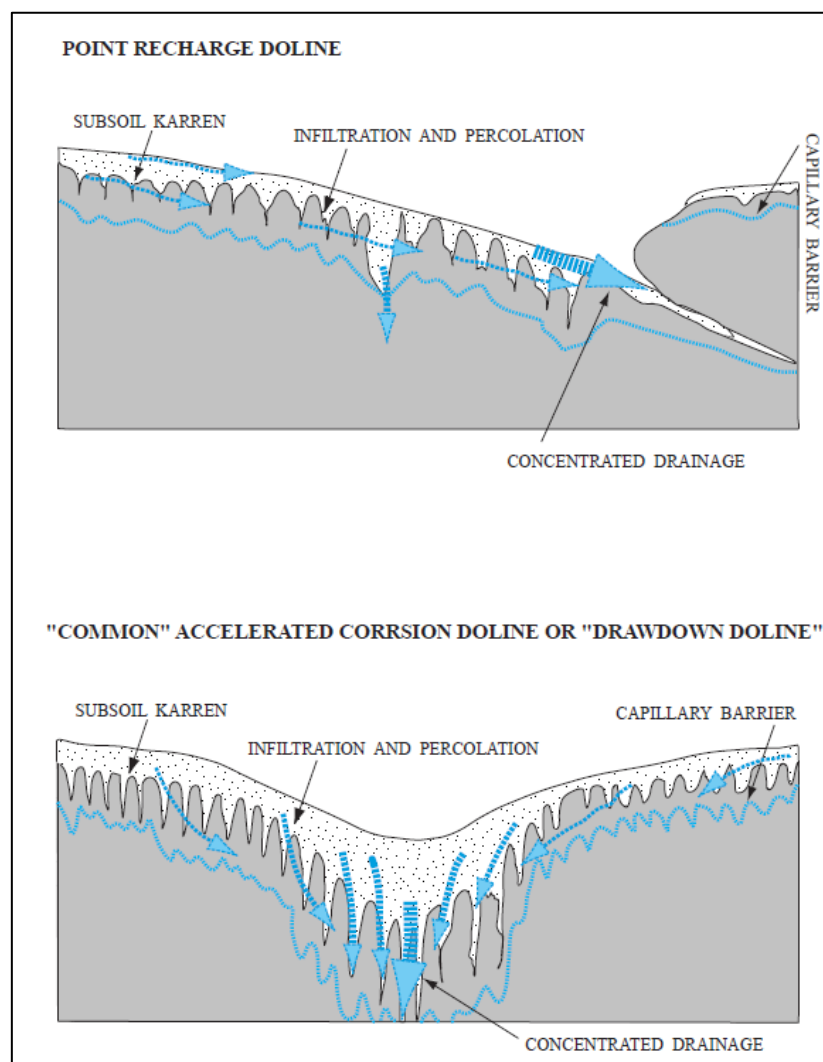


Figura 2.3: Doline di ricarica puntuale “*point recharge doline*” e doline di depressione idrogeologica “*drawdown doline*” (Sauro, 2003).

Le doline di depressione idrogeologica e le doline di ricarica puntuali rappresentano i due gruppi principali delle doline, si possono però riconoscere altre tipologie di doline.

Le doline perforate, chiamate anche doline di intercettazione di strutture idrogeologiche “*inception dolines*” (Figura 2.4) sono una particolare morfologia che si forma in presenza di un livello poco permeabile che perde acqua in un punto preciso; questo definisce la formazione di un acquifero sospeso che alimenta un inghiottitoio interno, che a sua volta causa una veloce erosione nella roccia. Questo porta alla formazione di un pozzo interno, che darà luogo ad una dolina a conca chiusa, che riporta alcune similitudini con la dolina di depressione idrogeologica.

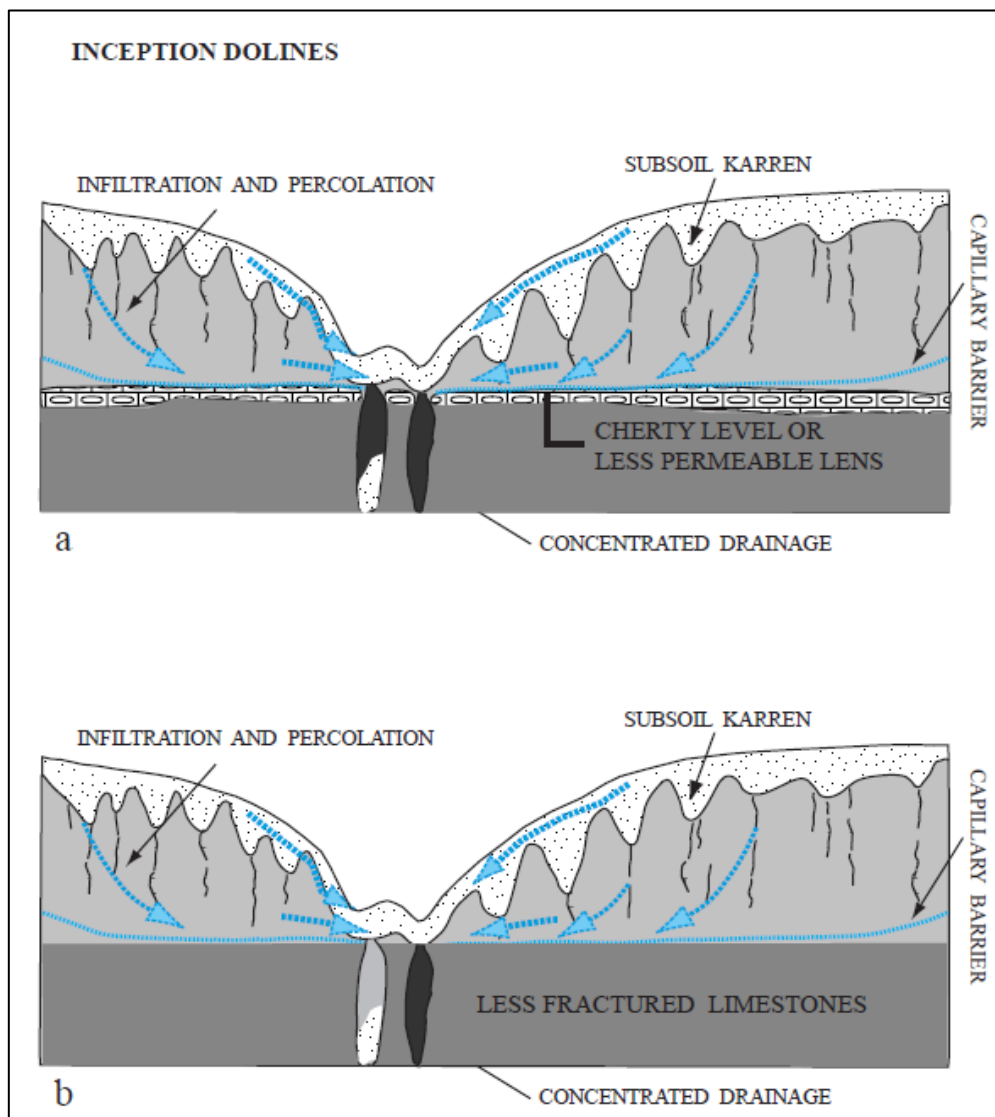


Figura 2.4: *Inception dolines*. A) drenaggio concentrato in una lente di selce B) drenaggio concentrato secondo un cambiamento di litologia (Sauro, 2003).



Figura 2.5: Dolina di intersezione, Monti Lessini, Prealpi Venete, la dolina è stata evidenziata in blu (Sauro, 2009).



Figura 2.6: Dolina di crollo in località Tenzerloch, nell' Altopiano dei Sette Comuni, Prealpi Venete (Sauro, 2009).

Un'ulteriore tipologia di dolina è quella che si riscontra spesso nel Carso Classico (*v. infra*), con una particolare morfologia allungata. Queste prendono il nome di doline di intersezione (Figura 2.5). Si tratta di cavità carsiche riempite di sedimenti e successivamente troncate a causa dell'abbassamento della superficie morfologica.

Le doline di crollo (Figura 2.6) hanno pareti subverticali, si formano in seguito a collassi, per instabilità geomeccanica, di grotte o gallerie sotterranee. Infine le doline alluvionali sono depressioni chiuse, che si formano quando sono presenti cavità carsiche sottostanti che “risucchiano” i sedimenti sciolti in superficie.

2.3 DOLINE E PERICOLOSITA' AMBIENTALE

I pericoli nelle aree carsiche sono spesso indotti direttamente o indirettamente dall'attività antropica (Parise & Gunn, 2007). La crescente occupazione umana dei terreni carsici e il frequente aumento della pericolosità causata da alterazioni antropiche determinano scenari di rischio in continuo aumento (Parise & Pascali, 2003).

Nelle aree carsiche uno dei principali pericoli che può interessare la popolazione e le strutture presenti è il collasso della dolina, che può causare gravi danni, ma può anche influenzare la quantità di acqua presente negli acquiferi sottostanti (Wu et al., 2016). Per questo motivo è importante realizzare mappature delle doline, per poter conoscere e prevenire i rischi idrogeologici ad esse associati.

In passato i metodi di mappatura delle doline erano meno precisi, si basavano principalmente su foto aeree e su rilevamento sul campo, ora, grazie alle nuove tecnologie, come LiDAR e *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (InSAR), è possibile produrre e analizzare grandi volumi di misurazioni topografiche (Wu et al. 2016).

3. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

In questo capitolo verranno trattati l'inquadramento geografico e geologico dell'area di studio, con particolari riferimenti alla storia geologica dell'area, alle formazioni geologiche presenti, alla reazione di dissoluzione (tipica reazione carsica) e alle forme carsiche dell'area studiata, con particolare riferimento alle doline. Successivamente si passa alla descrizione storico-archeologica dell'area, iniziando dal Paleolitico, con particolare riferimento alle grotte. Segue un inquadramento protostorico (età del Bronzo ed età del Ferro), in cui si tratteranno principalmente i castellieri presenti nell'area, descritti grazie al dettagliato lavoro edito da Montagnari (1989), passando poi ad un breve inquadramento dei periodi romano, medievale, moderno e contemporaneo, dove in quest'ultimo si discuteranno brevemente le Dodici Battaglie dell'Isonzo.

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il “Carso Classico” è un vasto altopiano di rocce carbonatiche che si estende al confine tra la Slovenia e l'Italia, in cui si possono distinguere diversi settori geografici. Il Carso Triestino e il Carso Isontino si trovano in Italia, più precisamente nella regione del Friuli Venezia Giulia, mentre i cosiddetti Carso orientale e Carso centro-settentrionale sono localizzati in Slovenia e Croazia.

In quest'area sono stati condotti i primi studi riguardanti il fenomeno del carsismo, ovvero l'attività chimica causata dall'interazione tra acqua e rocce calcaree, che dà forma ad un tipico “paesaggio carsico”. L'area di studio di questa tesi comprende la porzione meridionale del Carso Isontino, delimitata ad est dal cosiddetto Vallone Carsico, dove poco più a est si trova il confine con la Slovenia, mentre lungo le altre direzioni è circondato dalla Pianura Friulana orientale. In particolare, verso sud vi è la città di Monfalcone e ad ovest il corso del Fiume Isonzo.

Nei primi studi romani fatti in questa zona le mappe riportavano il nome “*Carsus*”, successivamente trasformato in “*Karstia*”, come riportato nel libro del 1687 di Valvasor (Figura 3.1) (De Waele et al., 2022).



Figura 3.1: Mappa storica della regione carsica tra Trieste e Gorizia, indicata col nome “Karstia”, dal libro Valvasor (1687).

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L’attuale assetto geologico della regione del Carso (Figura 3.2) deriva da una complessa evoluzione paleogeografica e strutturale (Cucchi et al., 2013). La regione del “Carso Classico”, che si estende nella parte esterna delle Dinaridi, è costituita prevalentemente da rocce carbonatiche di piattaforma. Durante il Giurassico e il Cretaceo la piattaforma era sostanzialmente stabile e bilanciata tra i cambiamenti del livello marino e la tettonica sin-sedimentaria tra Laurasia e Gondwana. Dal Cretaceo superiore iniziano ad avvenire cambiamenti nei vari ambienti sedimentari, a causa della disgregazione della parte nord della piattaforma (Jurkovšek, et al., 2016). La regione del Carso Classico fa parte della microplacca Adria, inizialmente connessa con la placca Africana e, a partire dal Mesozoico è divenuta una placca indipendente.

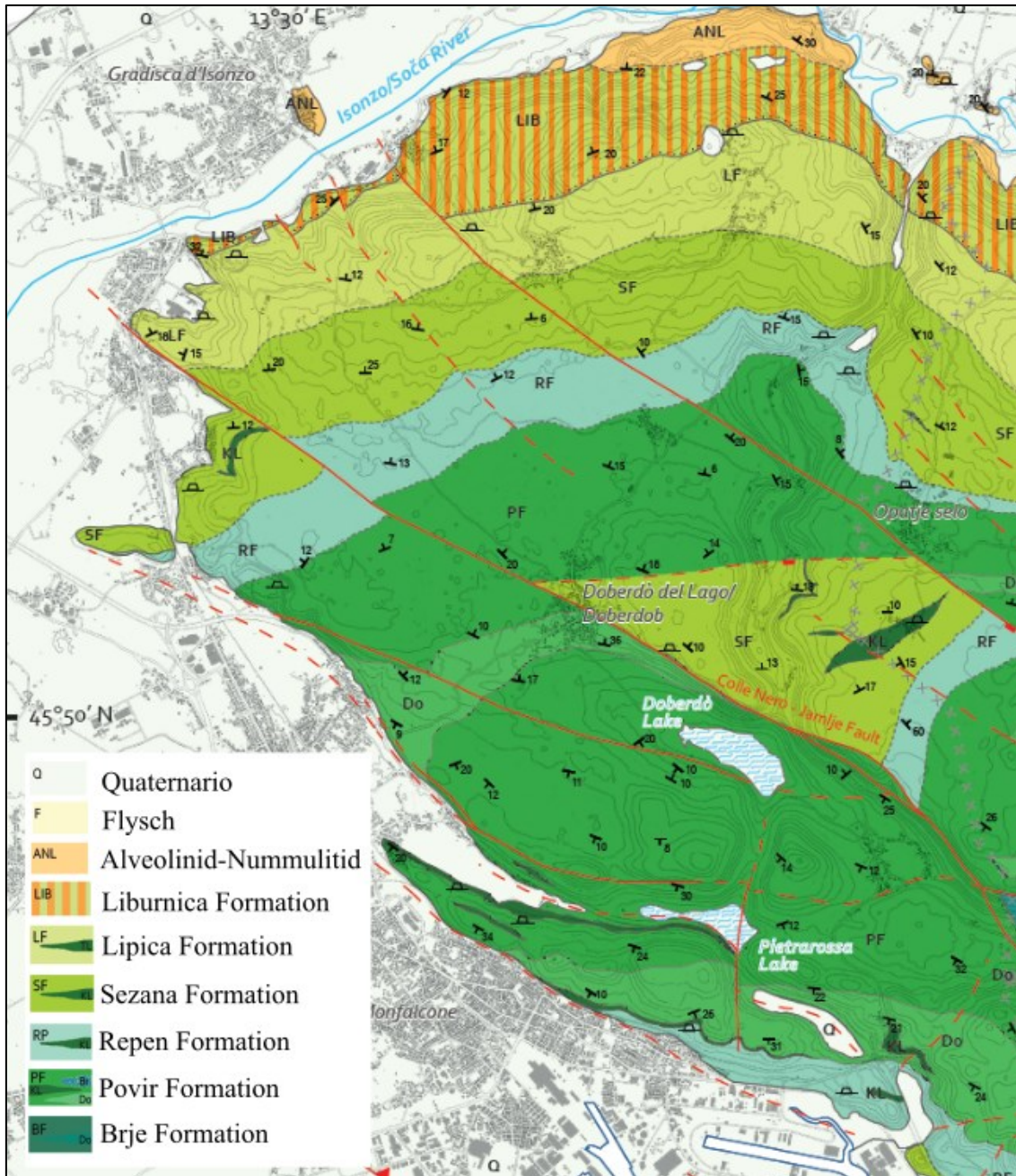


Figura 3.2: Carta Geologica del Carso Isontino con relativa legenda (Jurkovšek, et al., 2016).

La geometria odierna della zona del Carso è il risultato dell'avanzamento verso nord della microplacca Adria, che scontrandosi con la placca eurasiatica ha subito una progressiva rotazione antioraria (Cucchi et al., 2015). A partire dal Cretacico superiore la zona che oggi corrisponde a parte del Veneto e del Friuli Venezia Giulia fu interessata da due principali eventi deformativi di tipo compressivo (Cucchi et al., 2015):

1. Evento Dinarico (Cretacico superiore – Eocene superiore) con direzione di compressione NE-SW.
2. Evento Neoalpino (tardo Oligocene – attuale) con trend compressivo da NNE-SSW a N-S. Questa fase viene a sua volta suddivisa in due sottofasi.
 - a. Fase deformativa Insubrica (Oligocene superiore – Miocene medio);
 - b. Fase deformativa Neogenico – Quaternaria.

Il Carso Classico testimonia quindi l'evoluzione di una piattaforma carbonatica, in cui dall'Aptiano all'Eocene inferiore (121 – 50 milioni di anni fa circa), si verificò una sedimentazione di rocce carbonatiche. Tra i 30 e i 20 milioni di anni fa le orogenesi Alpina e Dinarica hanno causato l'innalzamento e il piegamento della successione carbonatica e del Flysch.

3.3 IL CARSO ISONTINO

Il Carso corrisponde ad un'anticlinale, denominata “*Trieste-Komen anticlinorium*”, orientato NW-SE (Jurkovšek et al., 2016). Questa è un'unità carbonatica che affiora dalla sinistra del Fiume Vipacco al Golfo di Trieste e dalla Pianura Isontina fino alla località di Vreme. Il Carso Isontino rappresenta la propaggine nord-occidentale del Carso Triestino-Sloveno ed è delimitato ad ovest dall'Isonzo e dalla Pianura Friulana, mentre a NE è delimitato dalla Valle del Vipacco. Convenzionalmente la foce del Fiume Timavo separa il Carso Triestino dal Carso Isontino.

L'altopiano carsico è il risultato di processi carsici che hanno agito per quasi 10 milioni di anni e, sebbene la velocità di dissoluzione sia estremamente bassa, circa 0,2 mm/anno (Furlani et al., 2009), il tempo ha reso le morfologie carsiche originali quasi irriconoscibili (Soldati et al., 2017). Il Carso Isontino è un altopiano in cui non è presente un reticolo di valli fluviali, mentre le acque scorrono in profondità, in una complessa rete di drenaggio sotterraneo. Il Fiume Timavo è l'esempio più significativo: scorre per circa 40 km sottoterra, inabissandosi presso le grotte di San Canziano, in Slovenia, e riemergendo poco a est di Monfalcone, dove sfocia direttamente nel Mar Adriatico (Cucchi et al., 2017).

Lo studio della successione stratigrafica (Figura 3.3) del Carso ha avuto inizio nell'Ottocento e gli studi si sono intensificati a partire dal Novecento. Qui di seguito vengono riportate le varie unità geologiche affioranti nel Carso Isontino (Cucchi, 2013).

SIGLA	UNITA'	ETA'
FT	Flysch di Trieste	Luteziano p.p.
ALV	Calcari ad Alveoline e Nummuliti	Thanetiano sup.(?) - Ilerdiano (?) – Cuisiano med.
LIB	Formazione Liburnica	Campaniano sup. p.p. – Thanetiano
AUR	Calcari di Aurisina	Cenomaniano sup. - Turoniano p.p. – Senoniano inf.
MRP	Formazione di Monrupino	Cenomaniano med. / sup.
CCS	Calcari di Monte Coste	Aptiano inf. p.p. / Albiano sup.

Figura 3.3: Successione stratigrafica del Carso Classico in cui sono riportate le sigle, le unità e le età delle formazioni geologiche (Cucchi, 2013).

- I Calcari di Monte Coste (CCS) (Figura 3.4A) rappresentano la porzione più antica affiorante sul Carso (Aptiano inferiore p.p – Albiano superiore). Sono rappresentati da calcari stratificati con associazioni di facies tipiche di un sistema deposizionale di piattaforma peritidale (Cucchi et al., 2013). In Slovenia affiora la Formazione di Brje.
- La formazione di Monrupino (MRP) (Figura 3.4B) viene datata al Cenomaniano medio-superiore. Deriva dalla piattaforma carbonatica da interna a marginale, con episodi di alta energia. È formata principalmente da dolomie grigio-nere con intercalazioni di lenti giallo-rossastre (Biolchi et al., 2015).
- I Calcari di Aurisina (AUR) (Figura 3.4C) risalgono al Cenomaniano superiore – Turoniano superiore – Senoniano inferiore. L’ambiente deposizionale è quello di piattaforma esterna, sono depositi limosi ricchi in fossili.
- La formazione Liburnica (LIBa e LIBb) è datata al Campaniano superiore – Thaetiano. Questa formazione si è messa in posto a seguito di un evento trasgressivo, che ha causato l’emersione dei Calcari di Aurisina. La LIBa è formata da lenti e calcari bioclastici e micritici di colore grigio-scuro, mentre la LIBb è formata da lenti sottili di calcari scuri bioclastici leggermente marnosi (Biolchi et al., 2015).
- I Calcari ad Alveoline e Nummuliti (ALV) (Figura 3.4D) sono datati al Thaetiano superiore – Ilerdiano – Cuisiano medio. Sono formati da calcari di colore chiaro, granulari e poco stratificati. *Alveoline* e *Nummuliti* diventano abbondanti nella

parte terminale della successione, dove si possono osservare anche scarsi apporti terrigeni (Cucchi et al., 2013). Alla base della formazione l'ambiente deposizionale è subtidale, mentre nella parte superiore l'ambiente diventa di mare aperto. La presenza di materiale terrigeno segna l'avvento della sedimentazione del flysch.

- Il Flysch di Trieste è datato al Luteziano. Nell'Eocene inferiore si ha l'annegamento della piattaforma carbonatica, si forma così l'avanfossa, in cui si ha sedimentazione di depositi torbiditici di bacino distale rispetto alle fonti di alimentazione, con presenza di emipelagiti (Cucchi et al., 2013).

La successione testimonia un'evoluzione complessa che ha coinvolto la piattaforma, passando da facies marine a lagunari, alternate a fasi di emersione. Gli ambienti di piattaforma interna protetta sono caratterizzati da condizioni anossiche e da intensa evaporazione (lenti e livelli dolomitici), mentre le facies relative ad emersione sono caratterizzate da lenti calcaree e breccie rosso giallastre, legate a processi carsici (Cucchi et al., 2015).

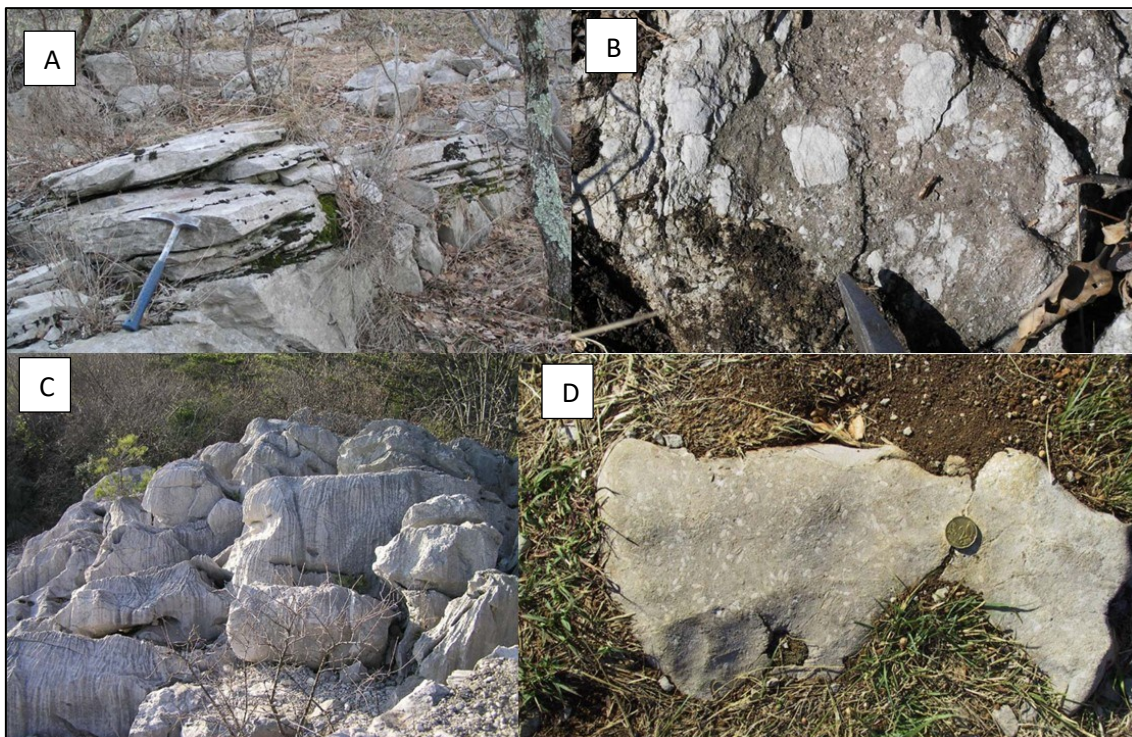
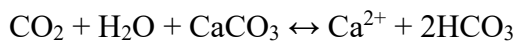


Figura 3.4: A) Calcari di Monte Coste, B) Formazione di Monrupino, C) Calcari di Aurisina, D) Calcari ad Alveoline e Nummuliti. (Cucchi et al., 2013).

3.3.1 REAZIONE DI DISSOLUZIONE CARSICA

La reazione più comune in ambienti carsici è la reazione di dissoluzione della roccia da parte dell'acqua, che percola nel suolo e nelle fratture della roccia stessa (Cucchi et al., 2012). Le acque arricchite in CO₂ e in generale di acidi organici possono causare un aumento della solubilità di alcuni minerali: questo processo è tipico per la calcite (CaCO₃) e per la dolomite (CaMg(CO₃)₂).

La reazione chimica che regola la dissoluzione nei carbonati è:



In questa reazione, tra i reagenti, sono presenti anidride carbonica (CO₂), acqua (H₂O) e carbonato di calcio (CaCO₃). Il carbonato di calcio viene disciolto grazie alla presenza dell'acqua contenente anidride carbonica, e si forma il bicarbonato di calcio Ca(HCO₃)₂, in soluzione come ioni (Ca²⁺ + 2HCO₃⁻).

La reazione di dissoluzione rimane un processo complesso, che dipende da molti altri fattori quali la temperatura, il pH, la pressione parziale della CO₂ e la quantità di CO₂ presente in atmosfera.

È importante tenere presente che la reazione può produrre deposizione, nel caso in cui la pressione parziale della CO₂ sia alta e soprattutto se la temperatura è bassa. Questo processo regola la formazione di concrezioni calcitiche, legate alla riprecipitazione del carbonato, la reazione sarà quindi inversa rispetto a quella di dissoluzione.

Il clima è uno dei principali fattori che regolano i processi carsici. Temperatura, umidità e tipo di suolo sono infatti condizionati dal clima. Anche la reazione di dissoluzione dipende in parte dal clima, infatti, in zone con climi caldo umidi, la reazione di dissoluzione sarà facilitata e la soluzione finale sarà instabile (Sauro, 1991). Questo causa una repentina corrosione delle superfici più esposte, ma anche la veloce riprecipitazione del carbonato di calcio a causa dell'instabilità della soluzione; questo limita la carsogenesi profonda.

In climi temperato freddi, invece, la reazione sarà più lenta e la soluzione finale sarà più stabile (Sauro, 1991). Questo processo si riflette in una corrosione più lenta delle superfici

rocciose più superficiali, ma grazie alla stabilità della soluzione si avrà percolazione più profonda dei fluidi all'interno delle rocce.

3.3.2 FORME CARSICHE DEL CARSO ISONTINO

Nella zona dell'area di studio le principali forme carsiche superficiali sono *polje* e doline, mentre altre forme carsiche tipiche della zona, ma ipogee, sono le grotte. Tra i *polje*, nel Carso Isontino, ha grande rilevanza quello che ospita il Lago di Doberdò, questo è l'unico lago carsico della regione Friuli Venezia Giulia e si trova all'interno di un graben orientato NW-SE, delimitato a NE dalla faglia di Colle Nero e ad ovest dai colli di Sopra Selz-M. Debelj-Arupacupa (Cucchi et al., 2007). Non vi sono immissari e emissari, questi sono sostituiti da una serie di sorgenti che si trovano sul lato SE e da inghiottitoi nel lato opposto (Cucchi et al., 2007). Grazie ad analisi chimiche e a misure del livello e della temperatura dell'acqua del lago si è scoperto che le modalità di riempimento e svuotamento del bacino sono legate alle precipitazioni e al regime delle acque profonde, provenienti da gallerie ipogee in pressione, alimentate dal Fiume Timavo (Samez et al., 2005).

Come si può osservare in Figura 3.5 l'area del Carso Isontino è interessata da una grande densità di doline, queste sono le forme carsiche più comuni nell'area e hanno dimensioni variabile, tra i 30 e i 215 m di diametro.

Un precedente lavoro di tesi magistrale in Geologia e Geologia Tecnica presso il Dipartimento di Geoscienze di Padova, svolto da Luisa Palumbo (2016-2017), si è concentrato sullo studio morfometrico delle doline nella zona del Carso Isontino. Di seguito vengono riportati in sintesi i risultati ottenuti da questo studio. Da un punto di vista areale le doline sono state suddivise in sei classi (Figura 3.6) e l'estensione areale media è pari a 4007 m². Più specificatamente, nell'area del Carso Isontino meridionale, che è argomento di questa tesi, prevalgono le doline di area compresa tra 2500-4500 m².

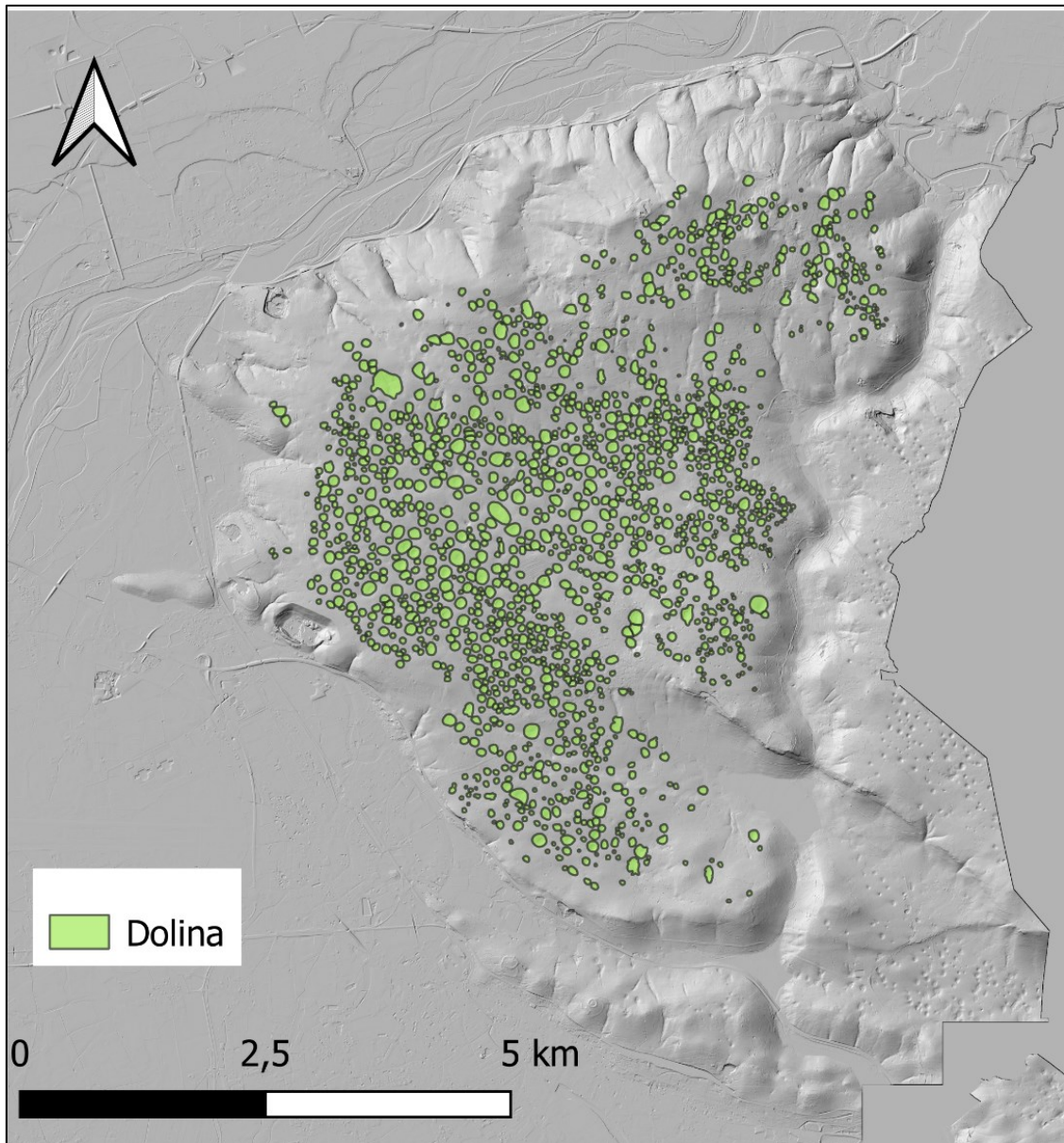


Figura 3.5: Hillshade ricavato dal LiDAR con indicazione delle doline presenti nel Carso Isontino in colore verde (Palumbo, 2017).

Si è notato che le doline delle classi areali più rappresentative tendono ad allinearsi lungo direzioni preferenziali che sono in accordo con le direzioni dinariche (Palumbo, 2017). Queste potrebbero rappresentare dei sistemi di fratturazione coniugati o altre strutture, come faglie e pieghe *en-échelon*, associate alle deformazioni principali, che al contrario non sembrano controllare lo sviluppo delle depressioni (Palumbo, 2017).

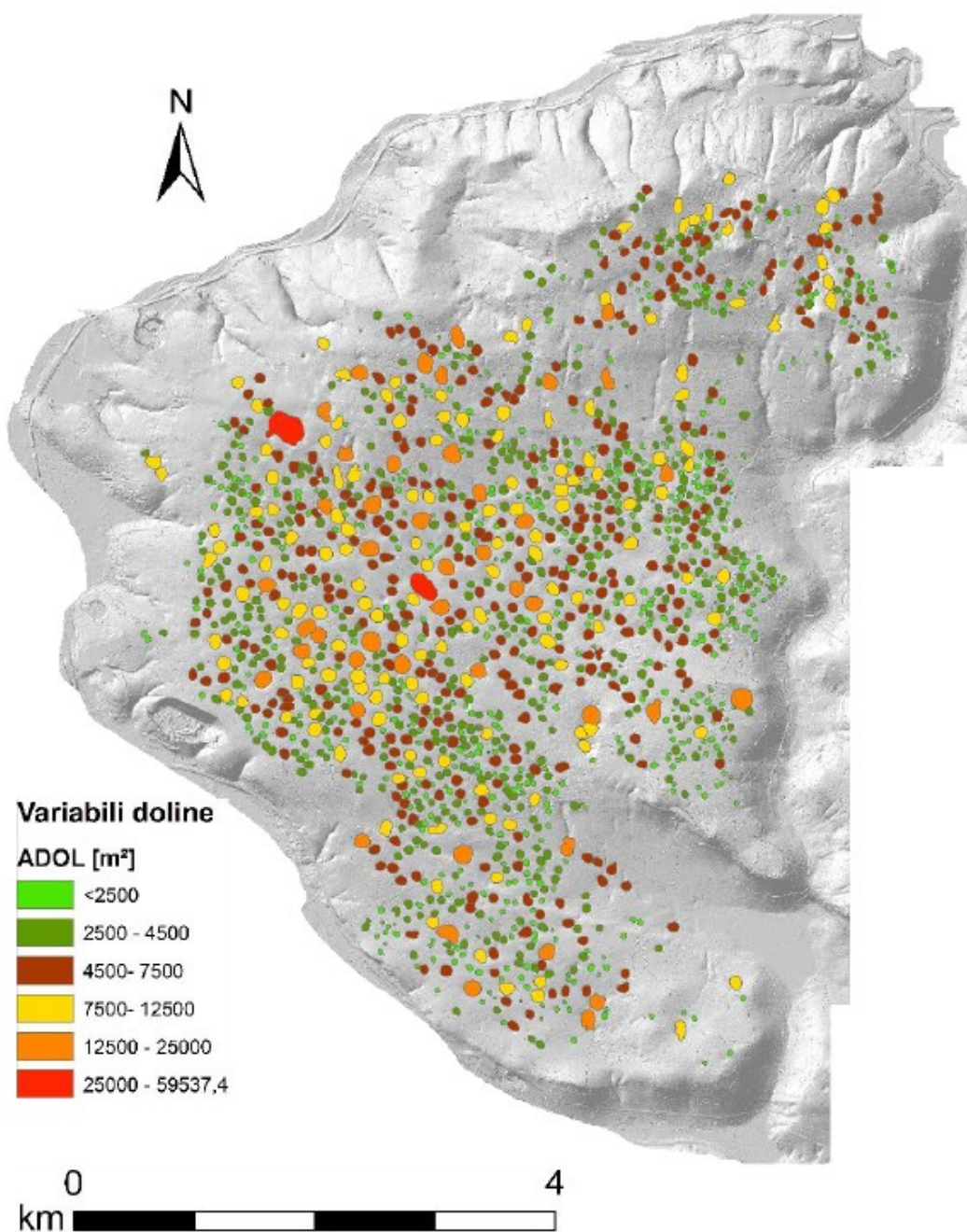


Figura 3.6: Mappa in cui le doline presenti nel Carso Isontino sono suddivise in sei classi areali (Palumbo, 2017).

Come si può notare in Figura 3.7, che rappresenta la carta geologica del Carso con evidenziati i lineamenti strutturali principali, le doline si concentrano maggiormente in corrispondenza di tre Formazioni: quella di Monte Coste, di Monrupino e di Aurisina. Le doline che si allineano lungo le faglie sono principalmente quelle di dimensioni areali medie, comprese tra 5000 e 10.000 m² e tra 10.000 e 25.000 m².

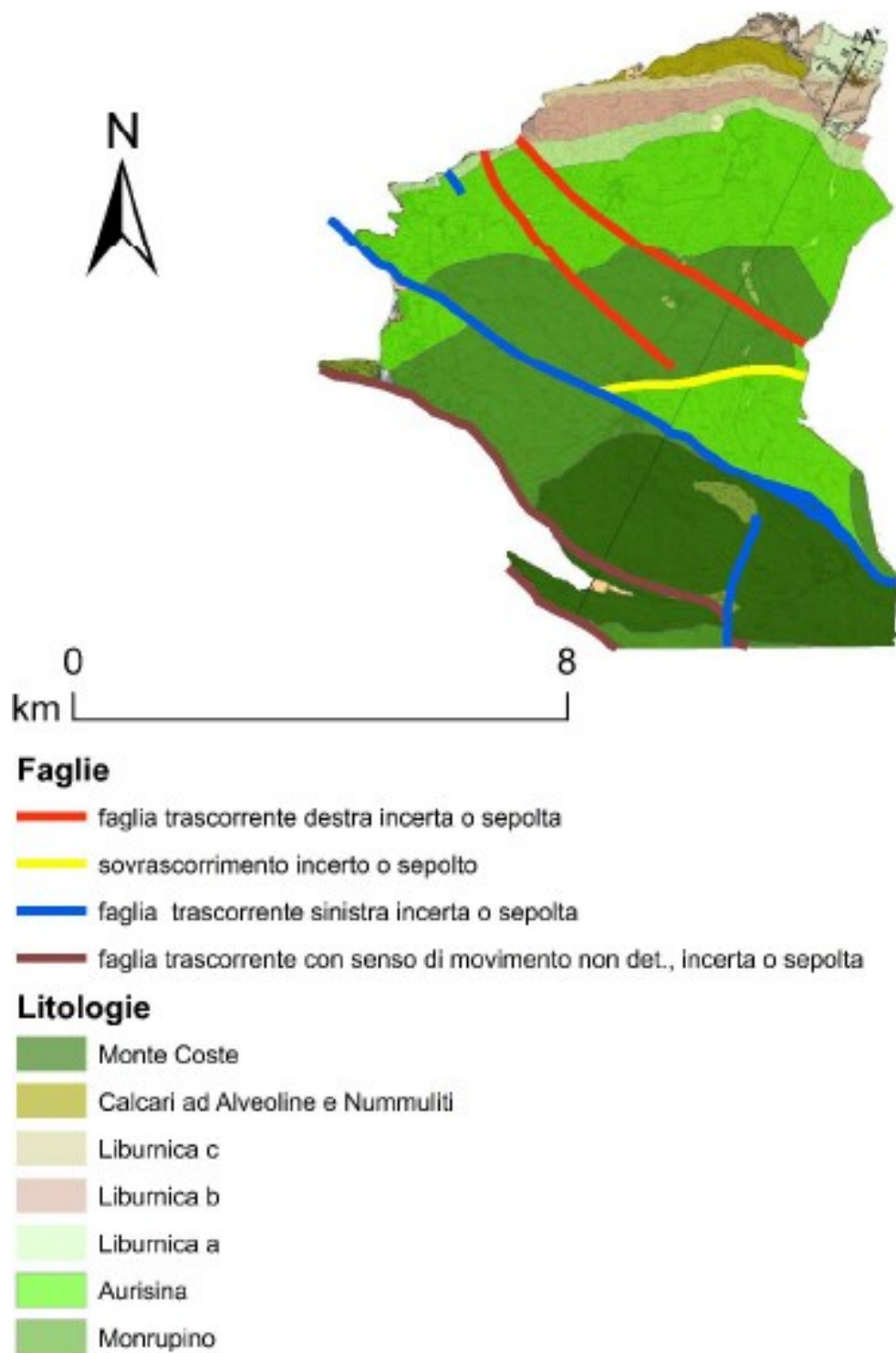


Figura 3.7: Carta geologica del Carso in cui sono riportate le litologie e le strutture deformative (Palumbo, 2017).

3.4 INQUADRAMENTO STORICO E ARCHEOLOGICO

La presenza dell'uomo nel territorio carsico risale almeno al Pleistocene medio, in quanto sono stati ritrovati resti di *Homo heidelbergensis*, presso il riparo di Visogliano, nel comune di Duino Aurisina, nel Carso Triestino (Mallegni et al., 2002, Peresani et al., 2018). Il territorio carsico ha evidenze di popolamento dal Mesolitico e poi nel Neolitico antico, a partire da circa 5500 a.C., anche se i reperti sono pochi per poter tracciare un giusto profilo del popolamento dell'area carsica.

Per avere un'idea dei periodi che hanno caratterizzato l'Italia nord-orientale, in Figura 3.8 sono riassunti in maniera schematica le età geologiche, le epoche, i periodi storici e le fasi climatiche che hanno caratterizzato questa zona.

SCHEMA CRONOLOGICO SEMPLIFICATO DELLE FASI ARCHEOLOGICHE IN ITALIA NORD-ORIENTALE						
Età	Epoca	Periodo	Fase	Inizio	Periodi climatici	Divisioni informali
Olocene	STORIA	Medioevo	basso	1000 d.C.	Subatlantico	Post - LGM
			alto	476 d.C.		
		Romana	tarda	200 d.C.		
			imperiale	40 a.C.		
			repubblicana	200 a.C.		
	PROTOSTORIA	Ferro	secondo	600 a.C.	Subboreale	
			primo	950 a.C.		
		Bronzo	finale	1150 a.C.		
			recente	1450 a.C.		
	medio		1800 a.C.			
	PREISTORIA	Eneolitico		3300 a.C.	Atlantico	
		Neolitico	finale	4500 a.C.		
			medio	4800 a.C.		
			antico	5500 a.C.		
Mesolitico		recente	7000 a.C.	Boreale		
		antico	9500 a.C.			
Pleistocene		Paleolitico superiore	Epigravettiano	20.000 BP	Periodi pre-olocenici	15.000 BP
			Gravettiano	27.000 BP		LGM
			Aurignaziano	35.000 BP		24.000 BP
		Paleolitico medio	Mousteriano	120.000 BP		Pre - LGM

Figura 3.8: Schema cronologico riassuntivo di epoche, periodi storici e fasi climatiche che hanno caratterizzato l'Italia nord orientale.

3.4.1 ETA' PREISTORICA

Le tracce della frequentazione preistorica nell'area sono quasi esclusivamente costituite da alcuni rinvenimenti effettuati all'interno di cavità carsiche. Essendo presenti numerose grotte nella zona del Carso, queste, molto spesso, sono sede di resti archeologici e paleontologici. In particolare, nell'area del Carso Isontino, sono stati condotti studi di tipo archeologico in alcune grotte principali. Queste hanno riportato alla luce diversi reperti, con tracce di frequentazione umana molto antica.

- Grotta Vivisce II. Età Mesolitica (VII – V millennio a.C.); età Neolitica (IV – III millennio a.C. circa); età del Bronzo. Si tratta di una grotta con tracce di frequentazione umana in epoca preistorica e protostorica. Per quanto riguarda il periodo protostorico si tratta probabilmente di una grotta frequentata stagionalmente per attività condotte nelle vicinanze. Sono stati recuperati manufatti litici e ceramiche.
- Grotta Vivisce I. Età mesolitica (VIII – V millennio a.C.); età Neolitica, età del Bronzo. Come per la grotta Vivisce II, il sito è relativo ad una frequentazione non stabile, ma utilizzata stagionalmente, soprattutto per il periodo protostorico. Sono stati recuperati principalmente ceramiche e manufatti litici.
- Grotta a N0 di Marcottini. Età preistorica, età romana. Il sito è stato probabilmente utilizzato come rifugio, soprattutto in età romana. Sono stati ritrovati manufatti litici (età preistorica), anfore in ceramica romane e laterizi.

Nella maggior parte dei casi le grotte hanno da sempre rappresentato ripari o rifugi temporanei dai pericoli o dalle condizioni climatiche, non venivano utilizzate come abitazioni stabili (Cucchi et al., 2024). Gli ambienti di grotta sono considerati tra i più favorevoli alla conservazione di resti paleontologici e archeologici, in quanto in queste zone prevale la deposizione rispetto all'erosione. Oltre a qualche manufatto litico, i principali ritrovamenti in grotta sono di origine animale, spesso associati all'operato dell'uomo: ad esempio a seguito di attività di macellazione. Per quanto riguarda il Carso Triestino si hanno testimonianze della presenza dell'uomo paleolitico, grazie al ritrovamento del cranio di un orso delle caverne “*con infitta nell'osso parietale destro una rozza cuspidi di selce*” (Marchesetti, 1907a). Non è da escludere che in futuro possano essere effettuati ritrovamenti simili anche in cavità carsiche dell'area Isontina. I

depositi di grotta consentono di conoscere le abitudini di vita degli uomini che nelle ultime decine di migliaia di anni hanno popolato il settore orientale della nostra penisola (Cucchi et al., 2024).

3.4.2 ETA' DEL BRONZO

La maggior parte dei reperti risalenti al Bronzo Antico (2300 a.C. – 1700/1600 a.C.) sono rappresentati da tumuli funerari, i quali potrebbero essere indice di stanziamento stabile delle popolazioni (Simeoni, 2017). In alcuni studi (Guida et al., 2011 Celka et al., 2011), è stato notato come il popolamento ancora instabile di ampi settori del territorio trova, ad un certo punto (non prima dell'inizio del II millennio), un forte motivo di coesione nella comune venerazione di personaggi eminenti che vengono inumati sotto individuali tumuli di pietrame (Borgna et al., 2018).

Durante il Bronzo Antico, si ha però anche la realizzazione dei primi castellieri, ovvero le prime forme di insediamenti abitativi fortificati. Nel periodo del Bronzo Medio (1700/1600 a.C.) il territorio è caratterizzato dalla diffusione di insediamenti fortificati, che si protraggono, in alcuni casi, fino all'età del Ferro (VIII sec. a.C.). Marchesetti (1903) nel suo libro “I castellieri preistorici di Trieste e della regione Giulia” identifica oltre 300 insediamenti, sparsi tra il Carso Isontino, il Carso Triestino e il Carso Sloveno.

L'area geografica che va dall'Alto Adriatico all'estremità orientale della Pianura Veneta fino all'Istria è detta *Caput Adriae*. Quest'area, durante il periodo protostorico, è stata sede dei castellieri: villaggi con vallo difensivo, costruito in pietra e generalmente localizzati su alture. Le loro dimensioni potevano essere variabili, solitamente comprese tra 1,5 e 3,5 ha (Iacono et al., 2022). Nell'area *Caput Adriae* il modello insediativo dei castellieri rimase invariato per tutto il periodo protostorico, in certi casi fino all'arrivo dei Romani nell'area (Simeoni, 2017, Mihovilić, 2013). La nascita dei primi castellieri è datata tra la fine del Bronzo Antico e gli inizi del Bronzo Medio (1800 – 1600 a.C.), la loro attività, in alcuni casi, si è protratta fino alle soglie dell'età romana.

Nel territorio del Carso Isontino i castellieri si dispongono grosso modo su due linee, una orientale interna sulle cime che dominano il Vallone di Doberdò, vicino al confine sloveno e una occidentale che si trova tra la Pianura Friulana e il limite del Carso Isontino meridionale (Figura 3.9).

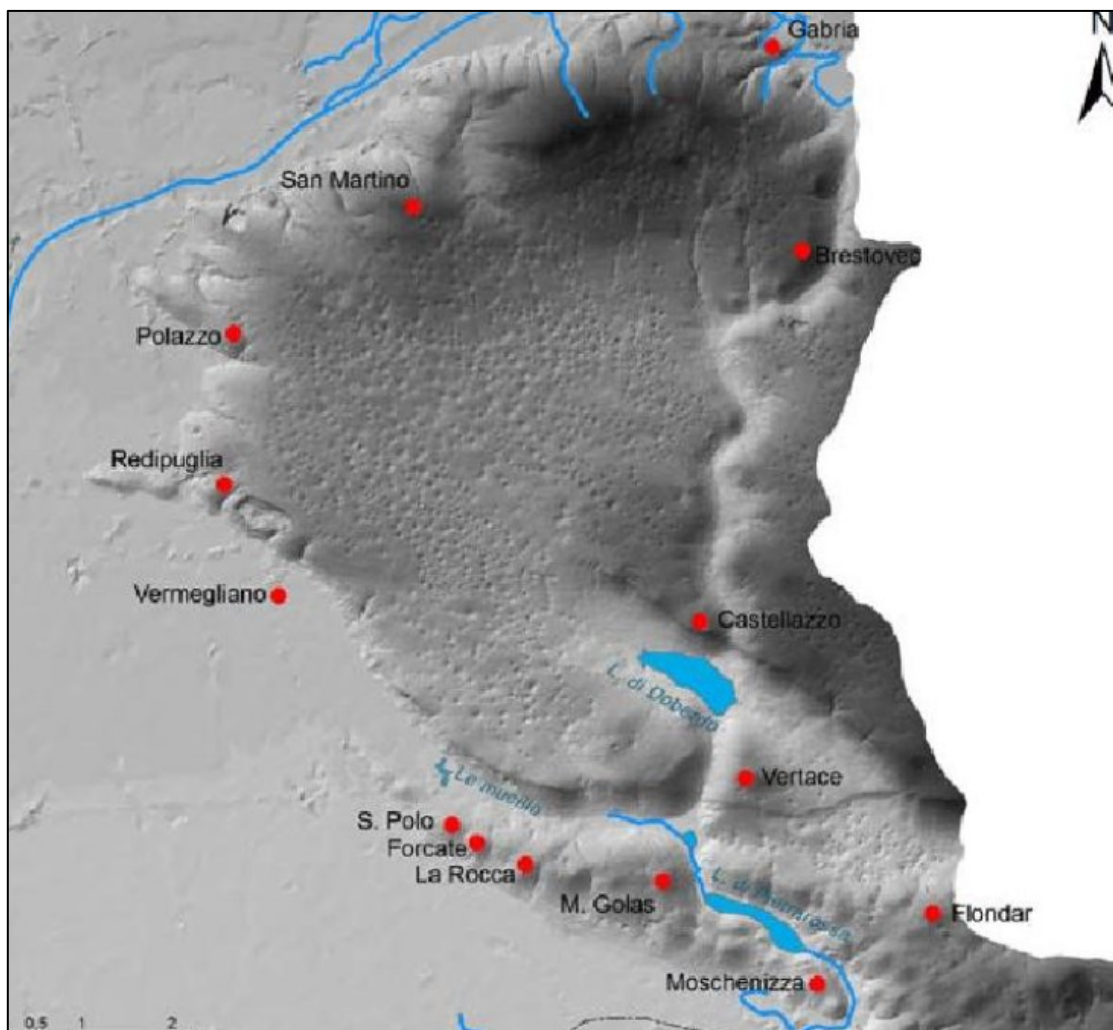


Figura 3.9: Disposizione dei castellieri presenti nell'area del Carso Isontino (Corazza & Calosi, 2011).

Nei periodi in cui iniziano a svilupparsi i castellieri, anche in gran parte dell'Europa ha inizio il fenomeno di aggregazione delle popolazioni, in cui piccoli gruppi sparsi in vaste aree si aggregano in aree più ristrette.

Il Castellazzo di Doberdò si trova nella zona del Carso Isontino meridionale, su un'altura calcarea (182,2 m) a sud-est del paese di Doberdò del Lago. Il rilievo si trova in una posizione strategica: nel punto di incrocio tra il cosiddetto Vallone carsico, una profonda e stretta incisione con andamento NNE-SSO, tra la conca del lago di Doberdò e il solco di Brestovizza (Montagnari, 1989). L'altura è formata da calcari a *Rudiste*, che fanno parte del lembo settentrionale dell'anticlinale del Carso Triestino.

I reperti ritrovati presso il sito di Castellazzo di Doberdò sono collocabili cronologicamente tra la fine del Neolitico e il Bronzo Medio. Questo periodo risulta documentato da numerosi ritrovamenti in Friuli. I materiali raccolti indicano una certa influenza della corrente facies della cultura di Lubiana (Montagnari, 1981). La cultura campaniforme di Lubiana si riferisce a un periodo della tarda età del Rame in cui si diffuse questo particolare tipo di ceramica. Gran parte dei reperti fittili rinvenuti a Castellazzo di Doberdò risulta databile al Bronzo Medio-Recente (Montagnari, 1989). I reperti databili al Bronzo Finale e all'età del Ferro sono molto scarsi, principalmente si tratta di frammenti ceramici. Sembrerebbe quindi plausibile presumere che il sito sia stato frequentato a partire dalla fine dell'età del Rame, o dagli inizi del Bronzo Antico perseguendo probabilmente con soluzione di continuità nel Bronzo Medio-Recente. Un dato di notevole importanza è relativo al ritrovamento di manufatti ceramici di importazione, dove prevalgono le ceramiche africane. Queste produzioni ceramiche possono essere inquadrare nella produzione tunisina, che inizia ad esportare a partire dal 325 – 350 d.C.. Un dato significativo è ascrivibile alla quasi totale assenza di prodotti di origine locale (Montagnari, 1989). Risulterebbe quindi abbastanza evidente che il sito di Castellazzo di Doberdò si trovasse tra le vie di traffico che percorrevano l'alto Adriatico in età tardoromana. Le indagini archeologiche hanno evidenziato la presenza di tre distinte cinte murarie. Il complesso murario più antico può essere databile al periodo protostorico, mentre il secondo e il terzo hanno caratteristiche simili e potrebbero essere attribuite al periodo romano. Lungo il percorso che conduce a Castellazzo di Doberdò sono ubicati due importanti centri religiosi: il mitreo posto in una grotta e la basilica paleocristiana, probabilmente dedicata a S. Giovanni Battista (Montagnari, 1989); questo potrebbe spiegare la presenza di materiali alto medievali, come le anfore africane e quelle orientali.

Il castelliere di Vertace si trova in prossimità del paese di Iamiano, su un'altura di 144 m. E' stato identificato per la prima volta da Marchesetti ed è stato datato all'età del Bronzo Medio-Recente. Le illustrazioni fatte dal Marchesetti indicano che il castelliere, prima dello scoppio della Prima Guerra Mondiale, era molto ben conservato rispetto al giorno d'oggi. La zona del Carso Isontino è stata intensamente segnata dagli scontri avvenuti durante la guerra e attualmente, infatti, i reperti ritrovati risultano molto pochi, si tratta per lo più di frammenti ceramici, che confrontati con altri reperti della zona del Carso

Isonzino e Triestino, sono databili all'età del Bronzo. Non si hanno evidenze di frequentazione del sito oltre il Bronzo Recente o Finale (Montagnari, 1989).

La Rocca di Monfalcone, situata in prossimità dell'omonima cittadina, come molti dei castellieri che si trovano in questa zona del Carso Isonzino, è stata illustrata per la prima volta dal Marchesetti. I reperti archeologici indicano una frequentazione del sito durante l'età del Bronzo, ma il periodo meglio documentato è quello che segna il passaggio tra il Bronzo Finale e la prima età del Ferro. Alcuni elementi indicano popolamento anche in una fase avanzata dell'età del Ferro. In conclusione è possibile affermare che le testimonianze dell'età del Bronzo sono molto scarse, mentre per quanto riguarda l'età del Ferro, un'occupazione del sito è attestata fin dalla sua fase iniziale (Montagnari, 1989). In epoche più recenti, nel 489, venne rieretta la nuova Rocca di Monfalcone dagli Ostrogoti, capitanati dal condottiero Teodorico. Si pensa che sia edificata dopo il suo passaggio dell'Isonzo (Belluno 2016). Nel 1409 passò sotto il controllo dei conti di Gorizia, fino al 1797 in passò poi sotto il controllo di Venezia. Durante questo periodo venne più volte rinforzata, in quanto fungeva da fortezza militare a difesa del confine orientale, soprattutto durante le invasioni turche. La rocca fu poi danneggiata dalla Grande Guerra e fu restaurata negli anni '50 del XX secolo.

Il castelliere di Forcate è localizzato a nord di Monfalcone, su un colle di 61 m. I reperti ritrovati nel sito sono molto scarsi, ma è possibile datarli ad un periodo avanzato dell'età del Ferro (Montagnari, 1989).

Il castelliere di S. Polo si trova a nord-ovest di Monfalcone su un'altura di 64 m. e a differenza degli altri castellieri sopra citati, esso rimane tuttora ben conservato. Sono infatti visibili le due cinte murarie che si estendono per quasi tutto il loro perimetro. L'insediamento è stato fondato presumibilmente nel Bronzo Medio (1700 – 1350 a.C.), questo è il periodo in cui nella zona del Carso iniziano ad essere comuni costruzioni fortificate e un gran numero di villaggi (Corazza & Calosi, 2011). Sono presenti tracce belliche della Prima Guerra Mondiale, ma queste non intaccano la cinta protostorica. La stragrande maggioranza dei reperti ceramici testimonia un'occupazione almeno a partire dal Bronzo Medio fino alla piena età del Ferro (Montagnari, 1989).

3.4.3 ETA' DEL FERRO

Nell'età del Ferro (950 – 181 a.C.) si compiono processi di differenziazione (politica, sociale, economica) a livello regionale e locale, che producono un nuovo assetto insediativo con chiare gerarchie tra gli insediamenti. Anche gli scambi commerciali si intensificano. L'attuale territorio del Carso ha evidenze di occupazione relative all'età del Ferro, probabilmente da parte di tribù celtiche appartenenti al gruppo dei Carni. Il sito più importante che riporta all'occupazione celtica di quest'area è la necropoli di San Servolo, in territorio triestino, utilizzata almeno dal VI secolo a.C. al I secolo d.C. (Bernardini et al., 2015).

Il bacino dell'Isonzo inizia ad acquisire una maggiore rilevanza come via di transito e di scambio, sono stati trovati reperti che indicherebbero ciò nella necropoli di Redipuglia (VIII – V secolo a.C.) e ad Aquileia, in prossimità del Natisone e del delta del Paleo Isonzo. Come testimoniato dalla cartografia storica (Desio, 1922; Venturini 2003), negli ultimi 1000 anni il fiume Isonzo si è progressivamente spostato verso est.

In questo periodo risulta attivo, nel territorio del Carso Isontino meridionale, il castelliere di S. Polo, che occupa una posizione dominante sull'intera area (Mizzan, 1989, Corazza & Calosi, 2011). Risultano attivi anche la Rocca di Monfalcone e il castelliere di Forcate (Montagnari, 1989).

L'età del Ferro risulta quindi essere un'epoca di grande stabilità nel territorio carsico Isontino, va fatta eccezione per un periodo limitato, tra il VIII e il VII secolo a.C., in cui si manifestano alcuni segni di crisi di varia intensità (Borgna et al., 2018).

3.4.4 ETA' ROMANA

Verso la fine del III secolo a.C. si insediano in questo territorio i Romani. Secondo gli storici dell'epoca il primo conflitto tra Romani e Istri avvenne nel 221 a.C., mentre nel 183 a.C. i romani sconfissero una tribù celtica insediatasi prossima alla futura cittadina di Aquileia. Ulteriori scontri hanno luogo in occasione della fondazione di Aquileia, nel 181 a.C., e pochi anni dopo, tra il 178 e il 177 a.C. l'Istria viene sottomessa (Bernardini et al., 2021). Poco dopo la conquista dell'Istria un contingente romano sarebbe stato inviato a *Tergeste*, per prevenire futuri attacchi alla cittadina di Aquileia.

L'arte di edificare accampamenti militari è forse uno dei principali punti di forza dell'esercito romano, i cosiddetti legionari. I campi (*castrum*) erano quei luoghi in cui l'esercito trovava protezione e rifugio durante gli spostamenti, gli assedi e le battaglie. Non lontano da Trieste, grazie ad indagini geofisiche, ricognizioni e scavi archeologici, sono stati identificati alcuni dei più antichi accampamenti militari conosciuti. Si tratta del campo militare posto sul colle di San Rocco, affiancato da due strutture minori, quelle di Grociana piccola e Monte d'Oro (Bernardini, 2019; Bernardini et al., 2021).

I legionari romani portavano dei robusti sandali chiamati *caligae* sulla cui suola erano fissati dei chiodi (Figura 3.10) che garantivano una buona presa sul terreno, che però venivano spesso persi. Questi chiodi rappresentano oggi dei reperti di grande importanza, grazie ad essi è possibile ricostruire i percorsi seguiti dai romani e identificare luoghi militari. Questi particolari chiodi erano diversi in base ai vari periodi, grazie a loro si può quindi anche fare una distinzione tra epoche repubblicane e imperiali. I chiodi delle *caligae* sono considerati oggetti che permettono di svolgere attività interdisciplinari, per quanto riguarda il territorio carsico. Grazie ad essi è stato possibile avere una più chiara visione geomorfologica durante il periodo romano. È stato scoperto un tratto di strada romana che oggi però è tagliato dalle doline, si pensa quindi che a quel tempo le doline dovessero essere riempite di sedimenti, permettendo il passaggio della strada, e che si sarebbero svuotate successivamente, in epoca post-romana (Bernardini et al., 2021).



Figura 3.10: Chiodi di Caligae romani. Si tratta di chiodi che venivano applicati sotto la suola dei sandali per permettere ai soldati di camminare anche sui terreni più impervi.

In epoca romana era uso comune suddividere i territori in parti uguali. Con il termine centuriazione (*centuriatio*) si intende un particolare tipo di delimitazione e divisione di terreni (*limitatio*), che venivano assegnati ai cittadini di una colonia (Gabba, 1985). Le tracce della centuriazione romana messa in opera tra il II sec. a.C. e il III sec. a.C. sono ancora oggi visibili in oltre 3000 km² di territorio italiano. Il reticolo di centuriazione equivaleva ad un reticolo a maglie quadrate di 710 m, orientato secondo i punti cardinali (*secundum caelum*), secondo elementi naturali quali fiumi e strade preesistenti oppure secondo l'inclinazione della superficie topografica (*secundum naturam*) (Cremaschi, 2000). Questo sistema era basato su un reticolo costituito da *limites*, ovvero vie perpendicolari dette decumani e cardini. Quelle principali erano dette *decumanus maximus* e *cardo maximus* (Bernardini et al., 2021).

3.4.5 ETA' MEDIEVALE

La valle del Vipacco ha da sempre rappresentato la chiave per aprire le porte del Friuli e della Pianura Padana. Nel 568 i Longobardi, migrati dalla Pannonia, entrarono nell'Italia nord-orientale e stabilirono qui la loro nuova patria. Essi si resero conto fin da subito dell'importanza strategica della valle del Vipacco e della catena dei monti oltre ai quali si apriva la pianura friulana. Il sistema di difesa del confine orientale messo in atto dai Longobardi si era imposto ad occidente, ai limiti della pianura friulana, un sistema diverso dal periodo tardo antico, in cui la difesa era posta sulle cime dei monti. Il territorio che comprendeva Gorizia e la valle del Vipacco passò sotto il dominio dei Franchi a partire dal 774, quando Carlo Magno si fece incoronare re dei Longobardi (Štih, 2004).

Tra l'898 e il 954 le orde dei cavalieri ungheresi irrupero più di venti volte dalle loro sedi pannoniche nell'Italia settentrionale, saccheggiando il Friuli (Štih, 1983). Le invasioni ungheresi ebbero gravi conseguenze: furono devastati estesi territori e furono pregiudicate le basi della vita economica della popolazione. La chiesa di Aquileia, che al tempo rappresentava la più importante delle istituzioni, nella seconda metà del X secolo diede inizio alla riparazione dell'intero territorio. Anche l'origine di Gorizia e dei suoi territori potrebbe derivare dalla ricostruzione del Friuli a seguito delle invasioni ungheresi. È proprio in questo periodo che la chiesa di Aquileia ricevette dalla corona molti castelli e fortezze nel Friuli, questi luoghi assunsero sia funzione militare che giurisdizionale. Già a partire dal VII secolo, nel territorio di Gorizia, la chiesa di Aquileia possedeva un

castello a Cormons e nel 964 ricevette dall'imperatore Ottone I anche il castello di Farra d'Isonzo. In questo modo la chiesa di Aquileia aveva il pieno controllo dalla pianura sulla riva destra dell'Isonzo, fino all'altopiano di Doberdò del Lago (Štih, 2004).

L'occupazione longobarda del Friuli aveva portato ad una divisione politica interna, la fascia lagunare rimase legata alla politica bizantina, mentre l'entroterra, con Aquileia stessa, era parte del ducato longobardo del Friuli (Tavano, 1972).

Agli inizi del XII secolo Gorizia divenne la località più importante del territorio e divenne sede dei conti omonimi, giunti dai territori bavaro-carinziani, che la elevarono così al rango di capitale dell'intero territorio (Härtel, 2001). E' bene ricordare che i conti di Gorizia esercitarono nel medioevo i propri diritti su tutto il territorio, ma che il vero signore era il patriarca di Aquileia, per conto dei quali i conti di Gorizia detenevano il titolo di feudo non soltanto il castello di Gorizia, ma anche, verso la metà del XIV secolo, tutta la contea.

Gorizia e i suoi territori rimasero sotto il potere del patriarca di Aquileia fino al 1420, anno in cui questo territorio fu conquistato e annesso alla Repubblica di Venezia.

I principali reperti archeologici da attribuire a questo periodo storico, nell'area del Carso Isontino, sono da attribuirsi a ceramiche rinvenute nella Rocca di Monfalcone e a materiali alto medievali trovati presso Castellazzo di Doberdò (Montagnari, 1989).

3.4.6 ETA' MODERNA

Il territorio friulano è stato sotto il controllo della Repubblica di Venezia fino al 1516, data in cui venne firmato il trattato di Noyon e alcuni territori, tra cui il Carso Isontino, passarono sotto il dominio dell'Impero Asburgico. È proprio sotto l'impero Asburgico che, nel 1817 venne creato il Catasto Austriaco Franceschino, un documento che raccoglie dati derivanti da una minuziosa campagna di rilevamento topografica che ha prodotto una serie di mappe e di registri ad esse collegati.

Il Catasto Austriaco Franceschino nasce nel 1817 per volere dell'imperatore Francesco I, che ordinò la creazione in tutto l'impero di una *“mappa per ogni comune, in cui si rappresentino graficamente nella posizione topografica, nella forma geometrica e nella scala stabilita, la dimensione, i confini, ogni singola superficie fondiaria all'interno*

d'ogni singolo comune, secondo i differenti generi di coltura , di proprietario, di confini naturali ed artificiali”.

3.4.7 ETA' CONTEMPORANEA - PRIMA GUERRA MONDIALE

Come è noto, la zona del Carso fu, durante la Prima Guerra Mondiale, luogo di numerosi scontri e battaglie. Nella zona del Carso Isontino furono costruite, tra il 1915 e il 1917, dagli italiani e dagli austriaci, numerosissime trincee.

La zona del Carso Isontino fu probabilmente uno dei luoghi dove avvennero gli scontri più cruenti durante la Prima Guerra Mondiale, in quanto l'esercito italiano sperava di aprirsi un varco per sfondare le difese austroungariche e conquistare Trieste. Sono infatti note le cosiddette dodici battaglie dell'Isonzo:

- Prima battaglia dell'Isonzo: 23 giugno – 7 luglio 1915
- Seconda battaglia dell'Isonzo: 18 luglio – 3 agosto 1915
- Terza battaglia dell'Isonzo: 18 ottobre – 4 novembre 1915
- Quarta battaglia dell'Isonzo: 10 novembre – 2 dicembre 1915
- Quinta battaglia dell'Isonzo: 9 – 15 marzo 1916
- Sesta battaglia dell'Isonzo: 6 – 17 agosto 1916
- Settima battaglia dell'Isonzo: 14 – 17 settembre 1916
- Ottava battaglia dell'Isonzo: 10 – 12 ottobre 1916
- Nona battaglia dell'Isonzo: 31 ottobre – 4 novembre 1916
- Decima battaglia dell'Isonzo: 12 maggio – 5 giugno 1917
- Undicesima battaglia dell'Isonzo: 17 agosto – 31 agosto 1917
- Dodicesima battaglia dell'Isonzo: 24 ottobre – 7 novembre 1917, conosciuta anche come battaglia di Caporetto, in cui l'esercito italiano subì una tragica disfatta e dovette rimpiegare fino al Fiume Piave.

Il 24 maggio 1915 l'esercito italiano oltrepassò il confine austriaco iniziando di fatto la sua partecipazione armata al conflitto e l'esercito austro-ungarico, che in quel periodo era impegnato sul fronte orientale della Galizia (battaglia di Leopoli), non potendo opporre una valida resistenza sul territorio, arretrò sull'altopiano di Doberdò. L'esercito italiano avanzò così fino alla città di Monfalcone, dove incontrò la resistenza austriaca, formata da rudimentali trinceramenti. Un grande vantaggio strategico dell'esercito austro-

ungarico, rispetto all'esercito italiano, era quello di contare su una grande esperienza speleologica. L'esercito austriaco, infatti, era solito utilizzare le cavità ipogee come rifugio dall'artiglieria. Molte di queste grotte, in un periodo pre-bellico, erano state considerate dagli studiosi come "grotte di interesse archeologico". A seguito della Prima e anche della Seconda Guerra Mondiale, molte di queste cavità vennero utilizzate come luoghi di bonifica dei residui bellici, pratica che distrusse buona parte del patrimonio archeologico presente nelle grotte del Carso (Gherlizza et al., 2018).

3.4.8 VIABILITA' ANTICA

Nel periodo protostorico i percorsi stradali non erano ben strutturati come in epoca romana, spesso venivano utilizzate come strade dei sentieri, percorsi sia da uomini che da animali, che molto raramente hanno lasciato qualche traccia fino ad oggi. È possibile che i percorsi migliori siano stati individuati durante il Mesolitico, periodo di grande mobilità delle popolazioni (Bakker et al., 1976).

La ricostruzione di resti viari protostorici di Bosio (1987) si basa principalmente sui pochi resti archeologici e sui centri abitativi riconosciuti. Bosio evidenzia inoltre come la morfologia della zona implicava la scelta di determinati percorsi rispetto ad altri. L'autore suggerisce che la presenza di percorsi viari fosse già presente prima della colonizzazione romana della zona, e che quindi che fossero presenti strade di maggiore e minore importanza.

I resti di strade protostoriche (Figura 3.11A) vengono a mancare nel record archeologico, uno dei plausibili motivi può essere la tradizione romana di riutilizzare percorsi già presenti, rimodernandoli.

Nel vallone di Doberdò, nel Carso Isontino, si ipotizza che la viabilità fosse ben strutturata, questo è suggerito principalmente dalla disposizione di un gran numero di Castellieri nella zona.

I secoli centrali del Medioevo sono contraddistinti da una rarefazione dei transiti e dei commerci a lungo raggio (Degrassi, 2004). Le strade più utilizzate erano quelle che collegavano Aquileia alla valle della Drava fino ad arrivare a Salisburgo, o tramite il valico di Monte Croce o dalla valle del Natisone fino alla valle dell'Isonzo.

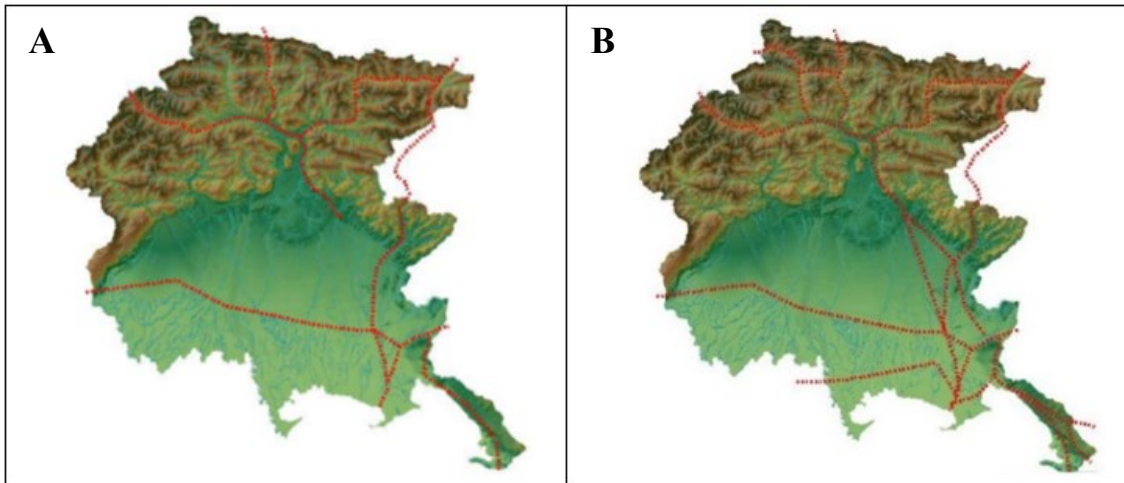


Figura 3.11: Le linee rosse rappresentano la viabilità. A) Tracce della viabilità protostorica, B) Tracce della viabilità romana (Boscarol, 2007).

4. METODI

In questo capitolo verranno descritti i metodi utilizzati nel lavoro di tesi, partendo dalla metodologia LiDAR e dai DEM utilizzati come base di lavoro in QGIS, soffermandosi anche sull'utilizzo del LiDAR in archeologia.

4.1 METODOLOGIA LiDAR

Il LiDAR (*Light Detection And Ranging*) è una particolare tecnica di rilievo topografico. Le prime applicazioni di questa tecnica vennero fatte in campo meteorologico e risalgono agli anni '60, mentre a partire dagli anni '80 sono iniziate le prime raccolte di dati topografici grazie al LiDAR aereo (Krabill et al., 1984; Bufton et al., 1991). Negli anni '90 sono diventati operativi i sistemi LiDAR aerei commerciali (Pfeifer & Briese 2007) e successivamente, a partire dai primi anni 2000, con lo sviluppo sempre più persistente di sistemi LiDAR più accurati, si è intensificato anche l'utilizzo di questi per produrre DEM (Sithole & Vosselman, 2003).

Il LiDAR è un sensore attivo, in quanto non necessita di una sorgente di energia esterna, ma trasmette attivamente impulsi di luce verso un oggetto e ne registra la radiazione riflessa di ritorno (Liu, 2008), consentendo di misurare con precisione la distanza tra la superficie colpita e il sensore stesso. La velocità della luce viene utilizzata come costante, conoscendo quindi il tempo impiegato dalla luce trasmessa dal sensore per compiere il percorso e tornare ad esso dopo essere stata e riflessa dall'oggetto è possibile calcolare la distanza tra il sensore stesso e l'oggetto di interesse (Liu, 2008). Questa tecnica si sta evolvendo rapidamente, consentendo di ottenere nuvole di punti molto dense che possono arrivare fino a varie decine di punti per metro quadro.

Il LiDAR utilizza tre tecnologie integrate:

- *Laser scanner*: è costituito da un generatore di impulsi laser con una lunghezza d'onda tipicamente compresa tra 0,8-0,6 μm e da un ricevitore che registra il segnale di diffusione e riflessione (Wehr & Lohr, 1999; Mukai et al., 2006; Pfeifer & Briese, 2007). Gli impulsi laser vengono emessi ad una frequenza che può arrivare fino a 250 kHz (Lemmens, 2007).

- Sistema di posizionamento satellitare (GPS) viene utilizzato per registrare la traiettoria dell'aeromobile su cui è montato il LiDAR.
- Sistemi di navigazione inerziale (INS): strumento che fornisce indicazioni sulla posizione di un dato veicolo.

I dati LiDAR di più recente sviluppo registrano una accuratezza di circa ± 15 cm di errore quadratico medio (RMSE) in verticale e di circa ± 20 cm di RMSE in orizzontale (BC-CARMS, 2006). L'RMSE (*Root Mean Square Error*) indica la discrepanza che si ottiene tra i valori dei dati osservati e i valori dei dati stimati.

All'inizio dello sviluppo della tecnologia LiDAR era possibile misurare solo la prima riflessione del raggio, ma con il successivo sviluppo tecnologico si è resa possibile la misurazione di riflessioni multiple dello stesso impulso. Oggi è quindi possibile ottenere misure relative a superfici poste ad altezze differenti (Doneus et al., 2008), come mostrato in Figura 4.1. Si hanno ritorni multipli quando un impulso colpisce un oggetto che non blocca del tutto il percorso dell'impulso stesso ed una parte dell'impulso procede sull'oggetto verso una quota inferiore e può essere riflesso da altri oggetti. Queste situazioni si verificano principalmente in aree coperte da vegetazione, dove sono presenti spazi tra rami e fogliame (Reutebuch et al., 2005).

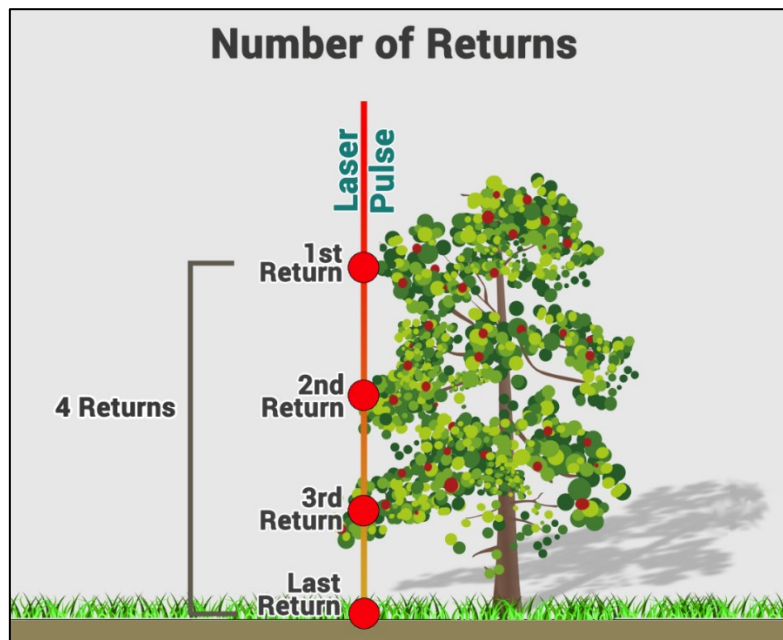


Figura 4.1: Riflessioni multiple dello stesso impulso nella tecnologia LiDAR (<https://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/>)

Uno dei vantaggi di questo strumento è quello di poter effettuare misure sia di notte che in presenza di una folta vegetazione.

Grazie a questa tecnica di rilevamento è possibile creare dei modelli digitali del terreno ad elevata precisione, come illustrato in Figura 4.2.

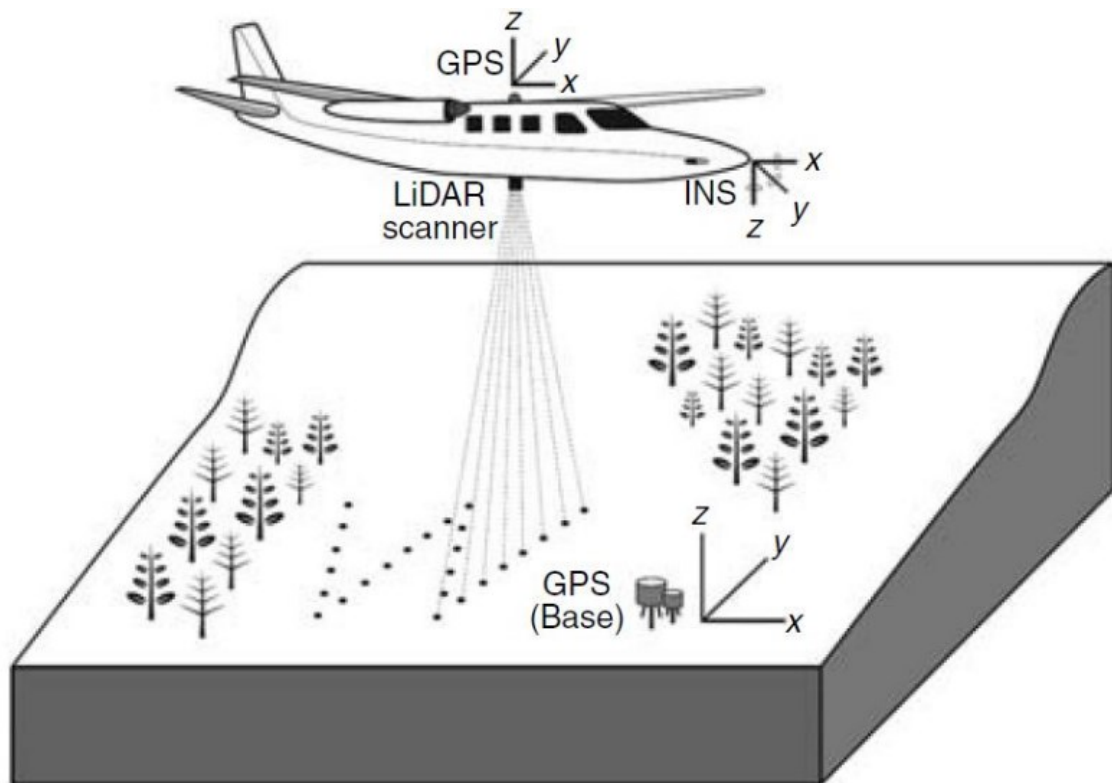


Figura 4.2: Illustrazione del funzionamento del sensore LiDAR. (Sopchaki & Sampaio 2016).

4.2 MODELLI DIGITALI DEL TERRENO (DTM)

I modelli digitali del terreno vengono studiati dalla geomorfometria, una branca della geomorfologia che si occupa dell'analisi quantitativa della superficie terrestre, anche definita "Digital Terrain Modelling And Analysis". La geomorfometria moderna si occupa del perfezionamento e dell'elaborazione di dati altimetrici. L'obiettivo principale è quello di estrarre misure e caratteristiche spaziali dalla topografia digitale attraverso tecniche statistiche e matematiche (Pike et al., 2009). In Figura 4.3 viene schematizzato il procedimento della creazione di un DTM o DEM.

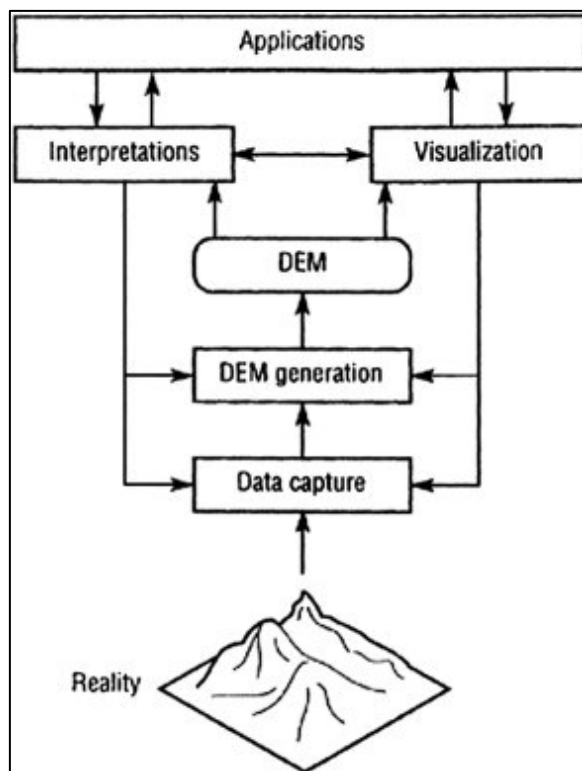


Figura 4.3: Schematizzazione della geomorfometria di base eseguita durante la creazione di un modello di elevazione digitale (DEM) (Wilson, 2012).

La funzione dei modelli digitali è quella di fornire una precisa distribuzione delle altimetrie topografiche georeferenziate correttamente. Esistono alcuni diversi tipi di modelli digitali:

- DEM (*Digital Elevation Model*) è un modello di elevazione digitale,
- DTM (*Digital Terrain Model*) è un modello digitale del terreno,
- DSM (*Digital Surface Model*) è un modello digitale di superficie,
- DTED (*Digital Terrain Elevation Data*) è meno utilizzato e si riferisce principalmente a dati satellitari Aster o Radar.

DEM e DTM sono spesso usati come termini equivalenti, indicano modelli di superficie a livello del suolo e cioè privi di qualsiasi oggetto che abbia quote relative più alte. I DSM, invece, indicano modelli digitali con valori di quota riferiti a ciò che ha la quota relativa più alta rispetto al suolo. In Figura 4.4 si ha una rappresentazione schematica della differenza tra DTM e DSM.

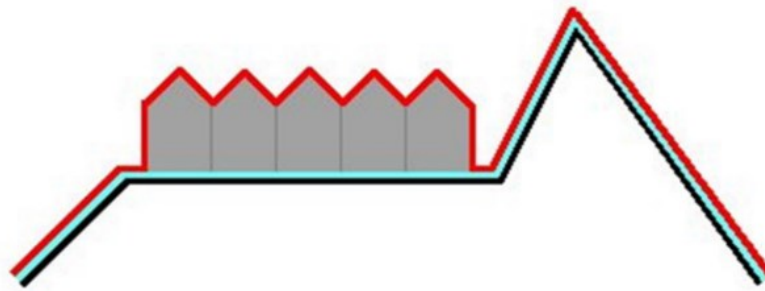


Figura 4.4: Schematizzazione della differenza tra DTM (in azzurro) e DSM (in rosso).

I modelli digitali (DEM, DTM e DSM) sono delle superfici continue, in cui ogni punto ha un valore diverso dai punti adiacenti, ma comunque simile. Le tecniche di interpolazione si basano sui principi di autocorrelazione spaziale, in cui si presume che punti vicini abbiano valori più simili rispetto ai punti più lontani (Arun, 2013). Più in generale si utilizza l'interpolazione quando bisogna passare da una forma discreta del dato ad una rappresentazione continua nello spazio. In letteratura si legge di un gran numero di metodi di interpolazione e questi vengono classificati come metodi locali e globali. I metodi locali si basano sulla predizione del valore di un determinato pixel, conoscendo i valori dei pixel adiacenti, mentre i metodi di interpolazione globale utilizzano tutti i punti disponibili per generare previsioni per un punto in particolare (Arun, 2013). Le tecniche locali sono generalmente considerate metodi esatti, in quanto forniscono risultati di miglior dettaglio, mentre le tecniche globali vengono considerate metodi inesatti.

Gli interpolatori a distanza pesata più utilizzati sono: IDW (*Inverse Distance Weight*) e DWA (*Distance Weighted Average*), i quali stimano il valore dei punti ignoti tramite una media ponderata dei punti noti più vicini. Il metodo *Spline* stima l'elevazione di un punto specifico utilizzando funzioni matematiche che minimizzano la curvatura complessiva della superficie, ottenendo una superficie liscia che passa esattamente attraverso i punti di input (Tan et al., 2014). Uno dei metodi di interpolazione più utilizzati e più semplici è il TIN (*Triangular Irregular Network*), il quale crea una rete a maglie triangolari unendo almeno tre punti quotati.

In seguito alla generazione del modello digitale, vengono eseguite delle analisi relative all'estrazione delle sue proprietà geometriche e topologiche, che possono essere utili in

diversi ambiti, dalla geologia alle scienze forestali. Le proprietà topografiche, come pendenza (*slope*), inclinazione ed esposizione (*aspect*) si ricavano dalle derivate prime parziali della superficie. Successivamente si possono ricavare anche variabili di contesto, come l'ombreggiatura (*hillshade*). Dalle derivate seconde della superficie si possono ricavare le curvature: la curvatura verticale indica quanto il profilo è concavo (valori negativi) o convesso (valori positivi), mentre la curvatura orizzontale indica la quantità di variazione dell'esposizione lungo le isoipse.

Dal LiDAR si ottiene quindi una nuvola di punti a tre coordinate, XYZ, che viene successivamente filtrata per rimuovere la vegetazione e produrre dei modelli digitali del terreno, DTM (Vinci et al., 2021). L'*hillshade* è un tipo di DEM in scala di grigi, creato in diversi toni di grigio, che mostrano le ombre proiettate sul terreno, in base alla posizione del Sole. Un importante fattore da tenere in considerazione quando si analizzano *hillshade* derivati da DTM è l'azimut. A seconda dell'angolo di incidenza della luce variano le condizioni di illuminazione, è quindi un fattore fondamentale che incide anche sul riconoscimento delle tracce. La *slope* riflette la pendenza in gradi di ogni pixel dalla superficie raster ed è rappresentabile attraverso una scala di colori a seconda del valore di ogni singolo pixel.

Il *Local Relief Model* (LRM) è un modello ad alta risoluzione che viene ricavato dai dati LiDAR (Figura 4.5). Il LMR rappresenta le differenze di elevazione locali su piccola scala, dopo aver rimosso le forme del paesaggio su larga scala di dati. L'LRM migliora notevolmente la visibilità delle caratteristiche su piccola scala e poco profonde, indipendentemente dall'angolo di illuminazione e consente di visualizzare direttamente le relative elevazioni (Hesse, 2015, Štular et al., 2012). Il LRM è stato usato in questo lavoro sia per l'identificazione che per la mappatura delle tracce, in quanto si è rivelato molto più utile ed efficace dell'*hillshade* (Figura 4.6).



Figura 4.5: Visualizzazione del Local Relief Model (LRM), il poligono tratteggiato indica l'area di studio analizzata.

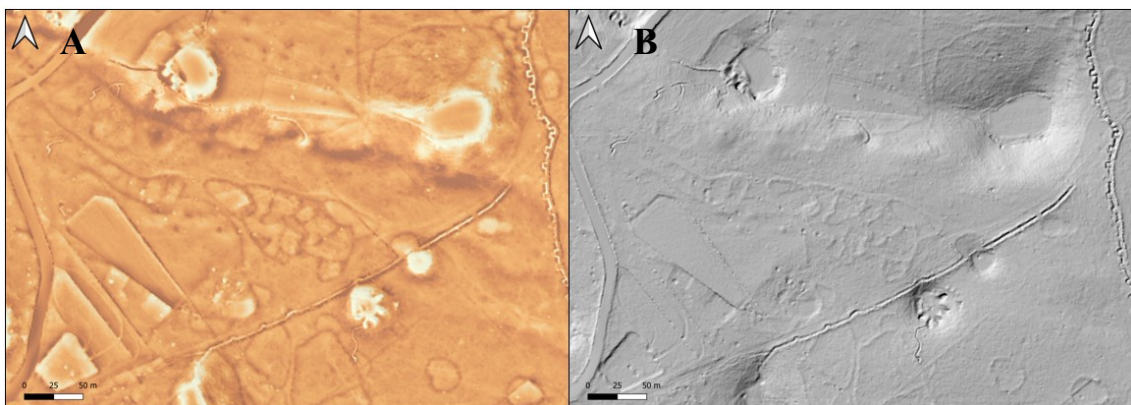


Figura 4.6: Confronto della stessa area tra: A) Local Relief Model B) Hillshade. Come si nota le tracce sono maggiormente visibili e identificabili dal Local Relief Model (LRM).

Nei modelli digitali gli errori sono comuni e sono dovuti a errori di quotatura di oggetti durante l'interpolazione o al momentaneo malfunzionamento degli strumenti di misura. Molto spesso però non è facile riconoscere questi errori come tali. Nei DEM derivati da

fotogrammetria si possono riscontrare errori nei versanti in ombra, dove i dati vengono generalizzati in poche tonalità di colore scuro. L'errore viene generalmente calcolato con la formula dell'errore quadratico medio (*Root Mean Square Error, RMSE*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z(s_i) - z_{REF}(s_i)]^2}{n}}$$

Dove $z(s_i)$ è la quota del DEM al punto i e $z_{REF}(s_i)$ è la quota di riferimento al punto i .

Il valore dell'errore è strettamente connesso alla tecnica utilizzata per produrre il dato. La tecnica LiDAR consente di creare ed elaborare modelli digitali di elevata precisione con errori relativamente bassi e costi inferiori, a differenza della fotogrammetria, che produce errori più consistenti a prezzi più elevati (Figura 4.7).

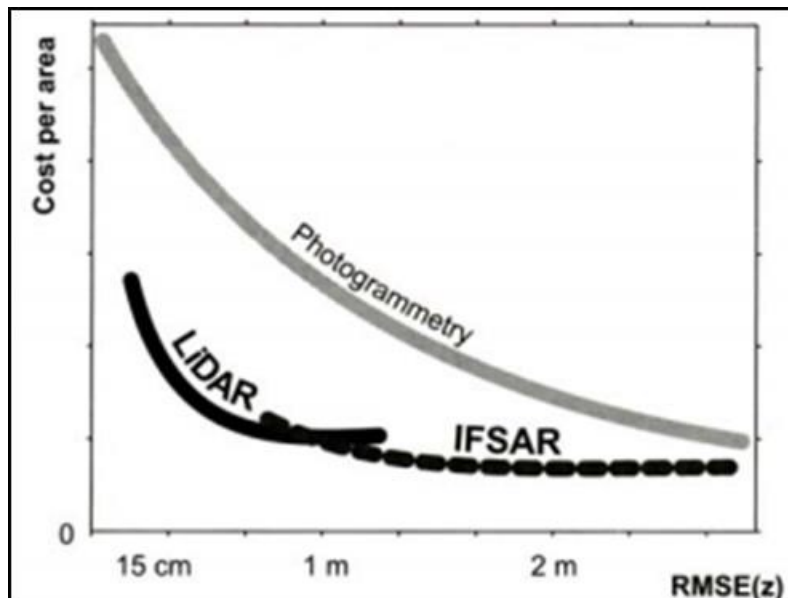


Figura 4.7: Grafico che illustra la relazione tra costi e accuratezza in diverse tecniche topografiche (Hengl et al., 2008).

4.2.1 USO DEI DATI LiDAR IN STUDI GEOARCHEOLOGICI

Nel Carso, come in gran parte del mondo, negli ultimi anni si è iniziato ad utilizzare la tecnologia LiDAR anche in ambito archeologico. Le immagini derivate dal LiDAR hanno permesso di identificare numerose strutture fino a quel momento sconosciute, mettendo in luce un complesso “palinsesto” di evidenze di diversa tipologia ascrivibili a diversi periodi cronologici (Bernardini et al., 2013). Queste recenti scoperte testimoniano l'importanza e l'efficacia di queste tecniche relativamente recenti.

In Figura 4.8 viene riportato un esempio dell'efficacia della tecnologia LiDAR in ambito archeologico. Nell'immagine a sinistra (Figura 4.8A) è rappresentato un *hillshade* ottenuto dal LiDAR. Si vede come questo vada oltre la copertura vegetale e si notano delle strutture articolate, tracce archeologiche. Queste tracce non sono visibili nell'immagine a destra, dove la superficie è coperta dalla vegetazione.

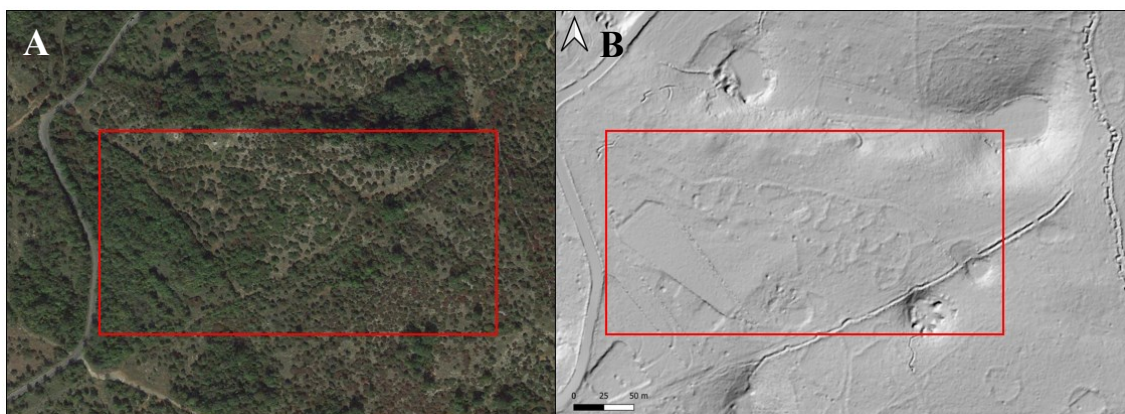


Figura 4.8: A) Immagine satellitare ottenuta da Google Earth; B) Hillshade. I poligoni rossi indicano un'area dove al suo interno sono presenti tracce archeologiche, si vede come queste siano facilmente riconoscibili dall'hillshade, mentre sono totalmente invisibili dall'immagine satellitare.

La tecnologia LiDAR svolge un ruolo chiave nell'identificazione delle tracce relitte del paesaggio. Il suo funzionamento si basa sulla registrazione in tre dimensioni della posizione degli oggetti che vengono colpiti da raggi laser emessi dall'aeromobile.

I DFM sono un particolare tipo di DEM, prodotti dall'elaborazione di dati LiDAR, ma sono specifici per l'archeologia (Štular et al., 2021). Nel DFM vengono tipicamente rappresentati quattro tipi morfologici delle caratteristiche archeologiche (Tabella 1, Figura 4.9).

TYPE	DESCRIPTION	EXAMPLES
Embedded f.	Slight positive or negative bulges typically with up to 0.5 m rise over 5 to 20 m run	Trench, ditch, fossil field, past land division, track
<u>Partially</u> Embedded f.	Positive or negative spikes typically with more than 0.5 m rise over 5	Dwelling, rampart, terrace, burial mound
Standing f.	Off-terrain objects characterized by a sharp discontinuity in the ground	Individual wall, castle ruins, collapsed building
Standing <u>objects</u>	Large non-ground structures characterized by a sharp discontinuity in the ground and a significant diameter	Mayan monumental architecture

Tabella 1: Tabella che si riferisce alla Figura 4.9. Sono riportati i quattro tipi di strutture riscontrabili in un DFM, con le relative descrizioni e alcuni esempi di tracce associabili (Štular et al., 2021).

Le strutture *embedded* (incorporate) sono quelle caratterizzate da lievi rigonfiamenti positivi o negativi, tipicamente fino a 0,5 m su un tracciato da 5 a 20 m e sono tipicamente trincee, fossati, divisione di campi e tracce generiche. Le strutture *partially embedded* (parzialmente incorporate) sono dei picchi positivi o negativi, con un aumento di oltre 0.5 m su un tracciato di 5 m. Le strutture *standing* (in piedi) sono caratterizzate da una netta discontinuità rispetto al terreno: muretti singoli e rovine di edifici. Gli *standing objects* (oggetti in piedi), invece, sono strutture intatte ancora presenti. In questo lavoro di tesi la maggior parte delle tracce analizzate appartiene alla classe delle strutture incorporate nel terreno (*embedded*).

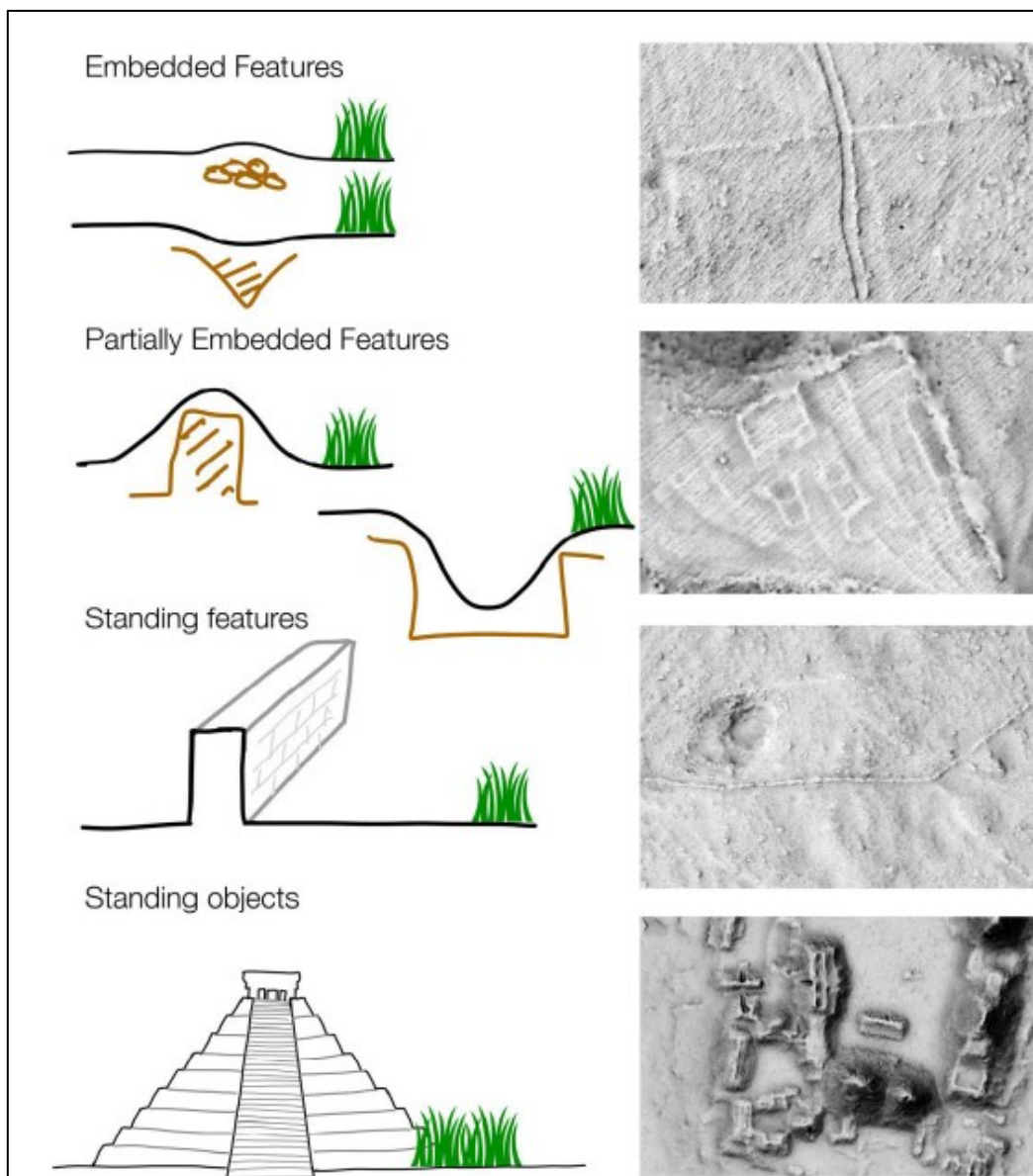


Figura 4.9: Tipologie di tracce identificabili con un DFM (Štular et al., 2021).

4.3 INTERPRETAZIONE DEL PALINSESTO DEL PAESAGGIO DI DATI LiDAR

La superficie del suolo che vediamo al giorno d'oggi è il risultato di processi antropogenici e naturali, che nel corso di millenni hanno modificato la topografia (Doneus et al., 2022). Il termine “palinsesto” è utilizzato da decenni per descrivere il paesaggio basandosi su diverse discipline, tra cui l'archeologia, la geografia e la geomorfologia (Bailey, 2007; Brierley, 2010; Clevis et al., 2006; Goudie & Viles 2010; Hunt & Royall, 2013; Johnson, 2008; Massey, 2005; Schein, 1997). Il termine viene anche usato per riferirsi al paesaggio osservato attraverso il LiDAR (Barnes, 2003; Bernardini et al., 2013;

Ladefoged et al., 2011; Megarry & Davis 2013; Mlekuž, 2013a; Mlekuž, 2013b; Johnson & Ouimet, 2018). Un palinsesto è un “manoscritto o parte di materiale di scrittura su cui la scrittura originale è stata cancellata per far posto ad una scrittura successiva, ma di cui rimangono tracce” (OED, 2017).

Il LiDAR fornisce una nuova visione del palinsesto paesaggistico (Johnson et al., 2018). Concettualizzare il paesaggio visto attraverso il LiDAR come un palinsesto aiuta a comprendere il maggior numero possibile di oggetti, processi ed eventi che si sono verificati nel paesaggio.

4.4 HARRIS MATRIX

L'attuale superficie terrestre è rappresentata da molteplici superfici distinte, che sono il risultato dell'azione umana diretta e indiretta.

In ambito archeologico la sovrapposizione delle tracce è un fattore molto comune, si tratta di strutture che vengono costruite su strutture più antiche, in molti casi anche riutilizzando i materiali. Anche utilizzando immagini telerilevate è possibile osservare questa sovrapposizione. Nel 1973 è stato coniato il termine “*Harris Matrix*”, che rappresenta la stratigrafia di uno scavo archeologico (Harris, 1975). Si tratta di un diagramma sequenziale che definisce le relazioni tra le unità stratigrafiche. È un importante modello che consente di documentare la stratificazione distrutta dai processi di scavo (Traxler et al., 2008). Harris delinea quattro leggi della stratigrafia archeologica, ciascuna delle quali può essere applicata anche all'interpretazione su DTM o DFM.

1. Legge di sovrapposizione: le unità stratigrafiche che si trovano più in alto sono le più recenti, quelle più profonde sono invece le più antiche
2. Legge dell'orizzontalità originaria: ogni strato archeologico non consolidato tende ad assumere una disposizione orizzontale
3. Legge di continuità originaria: i bordi dei depositi eretti sulla superficie superiore possono essere ammorbiditi, rendendoli difficili da discernere in un'interpretazione archeologica.
4. Legge della successione stratigrafica: ogni unità stratigrafica trova posto nella sequenza stratigrafica di un sito nella posizione compresa tra la più bassa e la più alta; tutte le altre relazioni di sovrapposizione possono essere considerate ridondanti.

4.4.1 SOVRAPPOSIZIONE DELLE TRACCE ARCHEOLOGICHE

La sovrapposizione delle tracce riprende il concetto di *Harris Matrix* citato poco fa, in cui è possibile effettuare datazioni approssimative tenendo conto dell'ordine di sovrapposizione degli orizzonti archeologici, nel caso di scavi. Questo concetto, però, può essere applicato perfettamente anche a studi tramite DEM, come nel caso di questo lavoro.

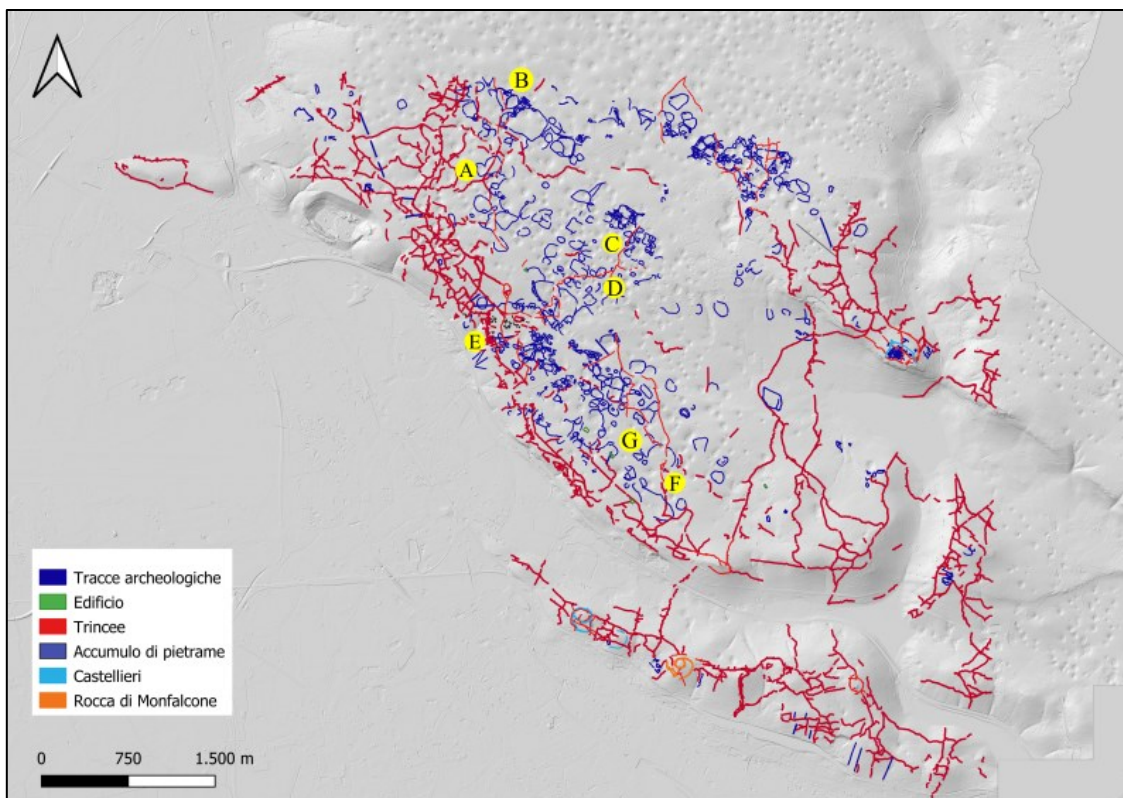


Figura 4.10: Mappa del Carso Isontino meridionale in cui le lettere rappresentano i punti da cui derivano gli esempi di sovrapposizione delle tracce che seguono.

Nell'area analizzata si notano in molti casi sovrapposizioni di tracce relative al paesaggio antico, definite tracce geoarcheologiche. Il loro riconoscimento e mappatura permette di apprezzare i rapporti di cronologia relativa tra le diverse tipologie di tracce e questo fatto consente di effettuare delle datazioni relative, non precise, ma che spesso possono indicare la preesistenza o la posteriorità rispetto ad un periodo di riferimento. In Figura 4.10 è riportata la mappa di tutta l'area analizzata, con riferimenti ai punti analizzati successivamente. Il caso più emblematico è la sovrapposizione delle linee di trincea rispetto ad altre tracce (Figura 4.11). Questo consente in maniera inequivocabile di

stabilire se una certa traccia risale a prima o dopo la Grande Guerra. In molti casi le trincee sono tra le strutture più recenti e tagliano altre tracce, quindi precedenti ad esse.

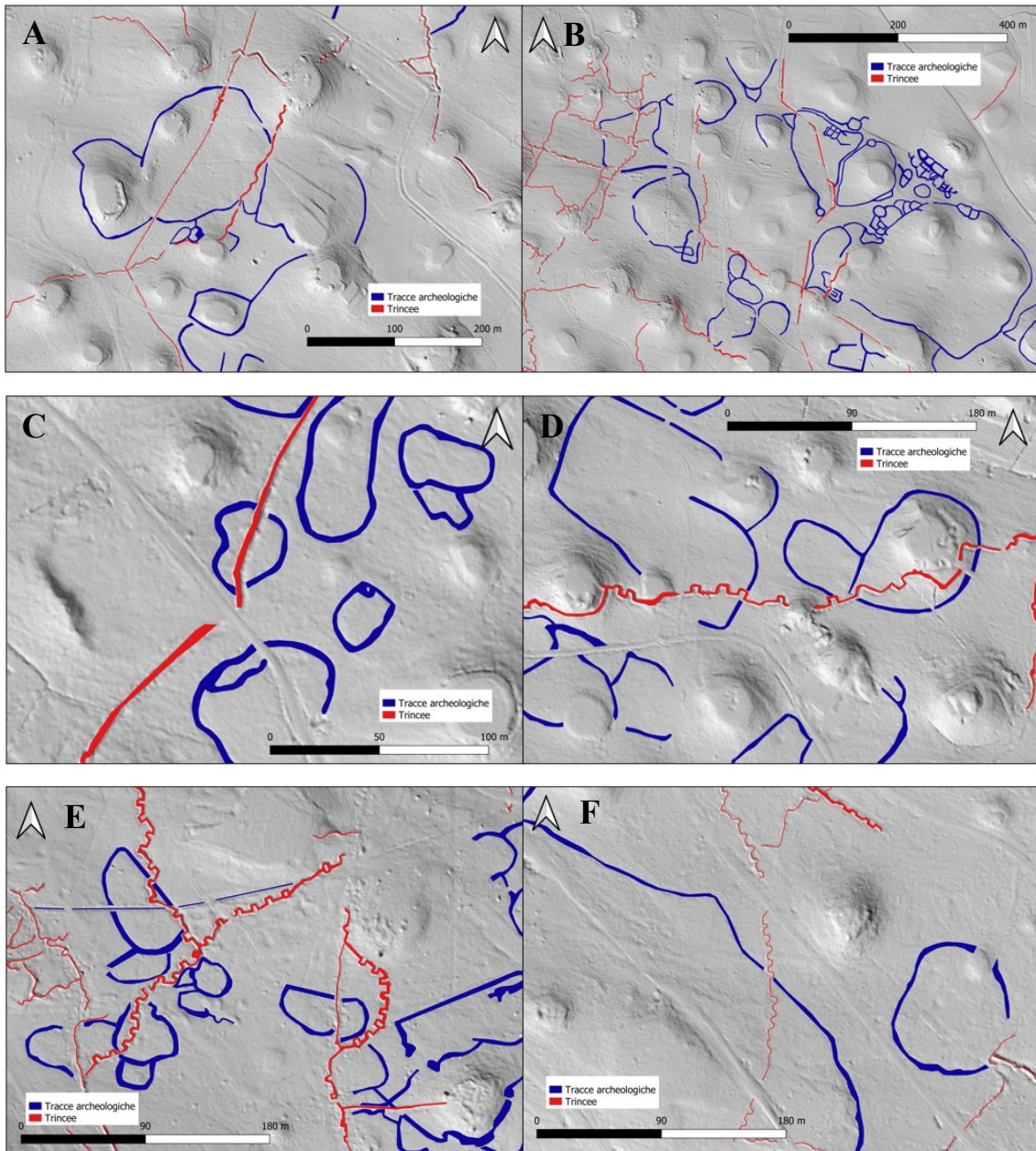


Figura 4.11: Esempi di sovrapposizione di trincee ad altre tracce archeologiche. In tutte e sei le figure riportate i poligoni blu rappresentano tracce geoarcheologiche di possibili divisioni agrarie, mentre le tracce rosse sono trincee. La basemap è per tutte le figure l'hillshade. In tutte e sei le figure le trincee tagliano le divisioni agrarie, si può quindi concludere che le trincee siano state costruite in un momento successivo alle altre tracce.

In Figura 4.12 è riportato un altro esempio di sovrapposizione di tracce archeologiche, dove si vede come la trincea (colore rosso) tagli la traccia rettilinea (colore blu), che a sua volta taglia la traccia identificata come edificio (colore verde). È quindi possibile in questo caso stabilire un ordine cronologico: la traccia più antica è quella in colore verde, successivamente è stata realizzata quella in colore blu, mentre la trincea è la più recente. L'edificio e la traccia in colore blu sono quindi sicuramente precedenti alla Prima Guerra Mondiale.

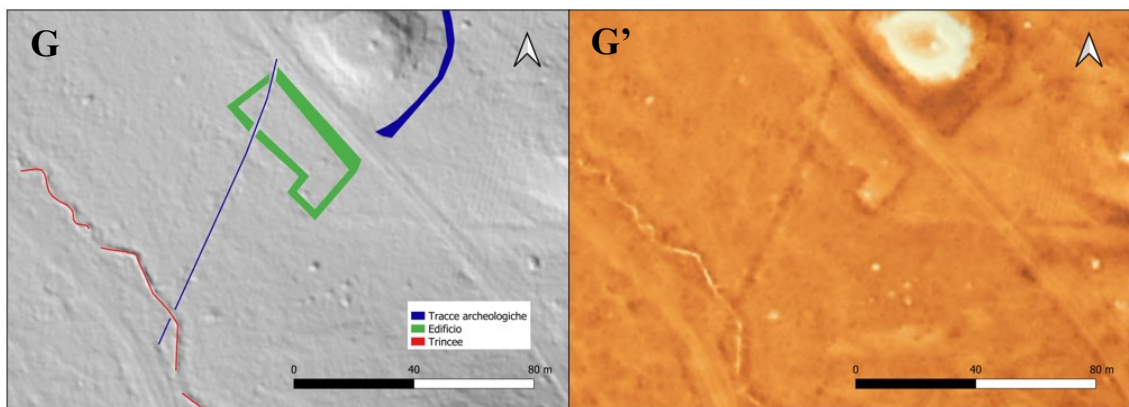


Figura 4.12: Esempio di sovrapposizione di tre tracce differenti. G) tracce desunte, hillshade come basemap; G') visualizzazione del LRM non interpretato. In verde è rappresentato un presunto edificio, la traccia in blu è una traccia archeologica non identificata e la traccia in rosso rappresenta una trincea.

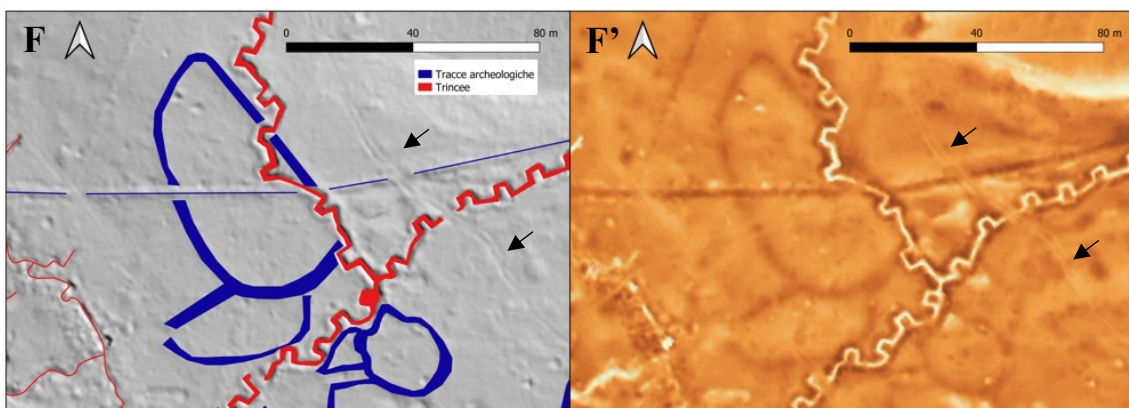


Figura 4.13: Esempio di sovrapposizione di quattro tracce differenti. F) Tracce desunte, hillshade come basemap; F') visualizzazione del LRM non interpretato. Le tracce in blu rappresentano divisioni agrarie, la linea blu rappresenta una traccia non identificata e la traccia in rosso è una trincea. Le frecce indicano la strada attuale.

In Figura 4.13 viene riportato un ulteriore esempio della sovrapposizione di tracce archeologiche. Anche in questo caso è possibile stabilire un ordine cronologico: la traccia in blu risulta la più antica, questa viene infatti tagliata dalla traccia rettilinea blu, che a sua volta viene tagliata dalla trincea (colore rosso). La trincea, infine, viene a sua volta tagliata dalla strada attuale indicata dalle frecce.

4.5 CATASTO FRANCESCHINO

Il Catasto Austriaco Franceschino rappresenta un documento di grande importanza, perché consente di stabilire quali tracce si possano attribuire all'inizio del XIX secolo. Queste mappe, infatti, riflettono la situazione catastale dei territori Asburgici. È possibile scaricare le immagini dall'Archivio di Stato di Gorizia, per la zona di interesse di questa tesi sono state scaricate le immagini delle mappe del paese di Doberdò del Lago (Figura 4.14).

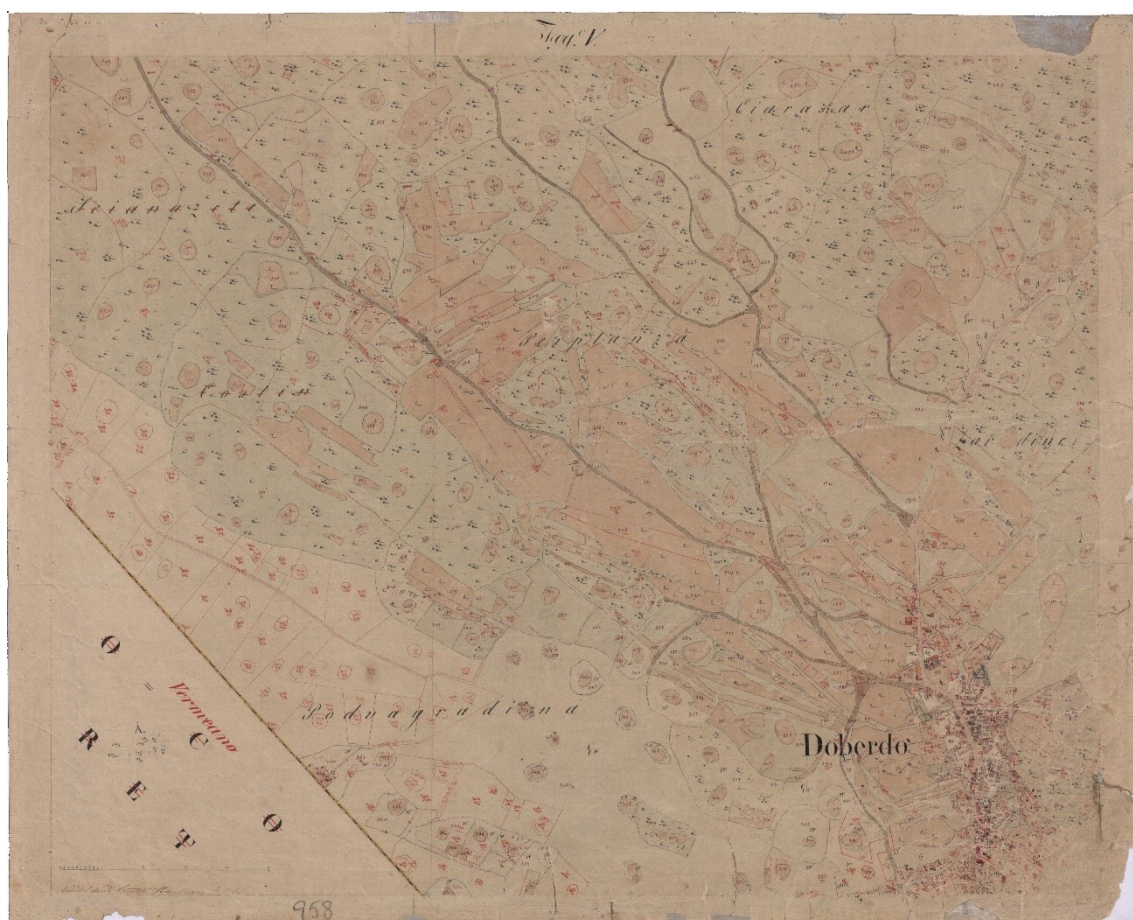


Figura 4.14: Esempio di mappa del Catasto Franceschino di Doberdò del Lago. Archivio di Stato di Gorizia.

Le immagini del Catasto Franceschino saranno in seguito confrontate con il DEM ottenuto da LiDAR, per verificare quali tracce siano attribuibili a questo periodo storico. Queste mappe consentono inoltre di valutare tutte le forme coperte o tagliate da strutture registrate nel Catasto come anteriori al XIX secolo. Alcune zone dell'area analizzata in questo lavoro di tesi sono state confrontate con le mappe catastali presenti sul sito *EagleFvg*, in quanto non erano presenti mappe del Catasto Franceschino e potrebbero dunque rappresentare divisioni contemporanee. Durante l'elaborazione di questi dati sarà utilizzato il software Inkscape per effettuare le sovrapposizioni tra i dati elaborati in QGIS e le mappe originarie.

4.6 ELABORAZIONI DEI DATI LiDAR

Il Sistema di Informazione Geografica (GIS) è uno strumento che consente l'acquisizione, la registrazione e l'analisi di un grande numero di informazioni spaziali. È considerato un Database, più precisamente è una forma di DBMS (*Database Management System*), ovvero un sistema di gestione di dati.

Sono stati fatti numerosi tentativi per definire un GIS (Cowen, 1990, Longley et al., 2017; Heywood et al. 2005, Malczewski, 2004). Il GIS è convenzionalmente visto come un insieme di strumenti per l'input, l'archiviazione, il recupero, la manipolazione, l'analisi e l'output di dati spaziali. La componente di input dei dati ha lo scopo di convertire i dati dalla loro forma grezza in una che può essere utilizzata in un GIS. La componente di archiviazione e gestione dei dati include tutte quelle funzioni necessarie per l'archiviazione e il recupero di dati dal database. Il database può essere definito come una raccolta di dati organizzata in modo da poter essere ampliata e aggiornata in modo continuo. La componente di output di dati in GIS fornisce un metodo per visualizzare i dati. Le mappe rappresentano in molti casi il formato di output più standard (Malczewski, 2004).

4.6.1. PRE-ELABORAZIONI

Il modello digitale del terreno (DTM) dell'area di studio è stato scaricato dal sito della Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia in scala 1:10.000. Una volta scaricato il DEM si è proceduto a caricarlo sul software QGIS, da cui si è ricavato l'*hillshade* (Figura 4.15). Ogni pixel del DEM rappresenta un quadrato di dimensione di 0,5x0,5 m. Il DEM è stato utilizzato anche in scala di colori, per avere una più chiara idea delle quote. Sono

state estrapolate le isoipse ogni 2 m, ogni 5 m e ogni 10 m, utilizzate in base alle dimensioni dell'area presa in esame.



Figura 4.15: Visualizzazione dell'hillshade ricavato dal DEM dell'area del Carso Isontino meridionale. Il poligono rosso indica l'area di studio.

4.6.2 INDIVIDUAZIONE DELLE TRACCE GEOARCHEOLOGICHE

Una volta creato l'*hillshade* si è proceduto ad individuare le tracce geoarcheologiche. Questa scrematura è stata eseguita in primo luogo confrontando il DTM con la superficie della zona presa in esame tramite le immagini di *basemap* disponibili nella piattaforma Google Earth. Tutto ciò che non era visibile da Google Earth è stato considerato come un qualcosa che meritava più attenzione. Grazie alla tecnologia LiDAR è infatti possibile individuare tutto ciò che non è visibile sulla superficie perché coperto da vegetazione. Questo ha dato modo di scoprire un gran numero di tracce che altrimenti non sarebbero mai venute alla luce. Il *Local Relief Model* si è rivelato il più utile nell'identificazione delle tracce.

5. RISULTATI

In questo capitolo verranno esposti i risultati ottenuti da questo lavoro di tesi, tramite l'utilizzo del software QGIS. Nella parte iniziale verranno delineate le modalità con cui sono state selezionate alcune categorie principali di tracce.

Verranno mostrati i risultati ottenuti dallo studio dei castellieri presenti nell'area: Castellazzo di Doberdò, il castelliere di S. Polo, il castelliere di Forcate e la Rocca di Monfalcone.

L'area di studio è stata successivamente suddivisa in quattro aree principali (Figura 5.12), suddivise poi a loro volta in altre aree di minori dimensioni, per avere un maggior dettaglio visivo. Si è scelto di fare questa suddivisione in quanto le quattro aree rappresentano le zone dove la concentrazione di tracce è maggiore.

Una sezione dei risultati verrà inoltre dedicata al confronto delle mappe del Catasto Franceschino con le tracce riscontrabili nell'area, in modo da poter attribuire in maniera certa queste tracce all'epoca moderna-contemporanea.

Successivamente si passerà alle tracce attribuibili al periodo contemporaneo, in cui verranno analizzate le linee di trincea che verranno confrontate con l'avanzamento del fronte durante le prime nove battaglie dell'Isonzo.

Un piccolo paragrafo verrà inoltre dedicato all'utilizzo delle doline per scopi agricoli, e come fonte di riparo durante la Grande Guerra.

Infine verrà brevemente trattato il frammento di traccia associato al reticolo di centuriazione romano.

5.1 SUDDIVISIONE DELLE PRINCIPALI TIPOLOGIE DI TRACCE GEOARCHEOLOGICHE

La suddivisione delle principali tipologie di tracce geoarcheologiche si basa principalmente sulla forma di quest'ultime. La distinzione che ne è derivata comprende sei principali categorie: trincee, divisioni di campi, suddivise a loro volte in regolari e irregolari, edifici, accumuli di pietrame, i quali potrebbero anche rappresentare in alcuni casi tumuli funerari, castellieri ed infine le tracce riscontrabili sul Catasto Austriaco

Franceschino. I castellieri sono le uniche strutture precedentemente studiate dell'area, per cui la loro identificazione è stata eseguita basandosi su lavori già esistenti (Marchesetti, 1903; Montagnari, 1989), anche se in generale possono essere ben riconoscibili, in quanto solitamente posizionati su alture e caratterizzati da cinte murarie esterne.

5.1.1 TRINCEE

Le trincee sono ben visibili e riconoscibili dal DTM, in quanto strutture abbastanza recenti rispetto alle altre tracce e quindi ben conservate. Hanno solitamente una struttura caratteristica (Figura 5.2): il loro andamento non è rettilineo, ma a “zigzag” o “dentellato”, in quanto assicurava alle truppe una maggiore difesa dall'artiglieria avversaria. Le trincee principali erano poi collegate ad altre secondarie tramite camminamenti. Questi ultimi consentivano di spostarsi da trincee principali ad altre e inoltre garantivano una maggiore protezione per persone e cose. La differenza tra le trincee principali e quelle di collegamento sta nella loro forma, infatti quelle principali sono più articolate e progettate per starci dentro più a lungo, mentre quelle di collegamento molto spesso sono più semplici, quindi linee rette e non a zigzag.

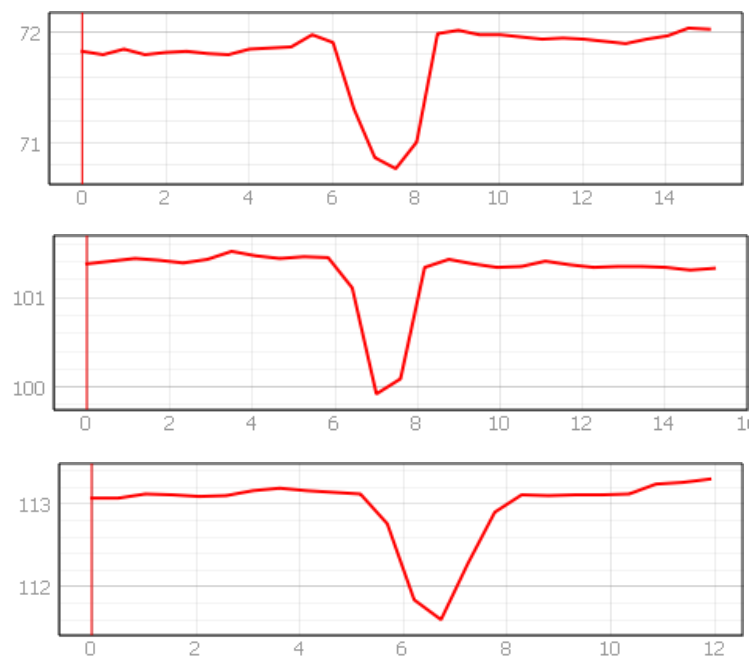


Figura 5.1: Esempi di profili trasversali alle trincee in cui si nota come l'attuale profondità sia di circa 1,5 m.

La loro profondità attuale è di circa 1,5 m (Figura 5.1). Inizialmente la loro profondità poteva raggiungere anche 2 metri. La profondità attuale deriva dal riempimento di detriti negli ultimi decenni. In Figura 5.3 viene riportata una fotografia dell'aspetto attuale delle trincee. Come si osserva le trincee è riempita da sedimenti e fogliame.

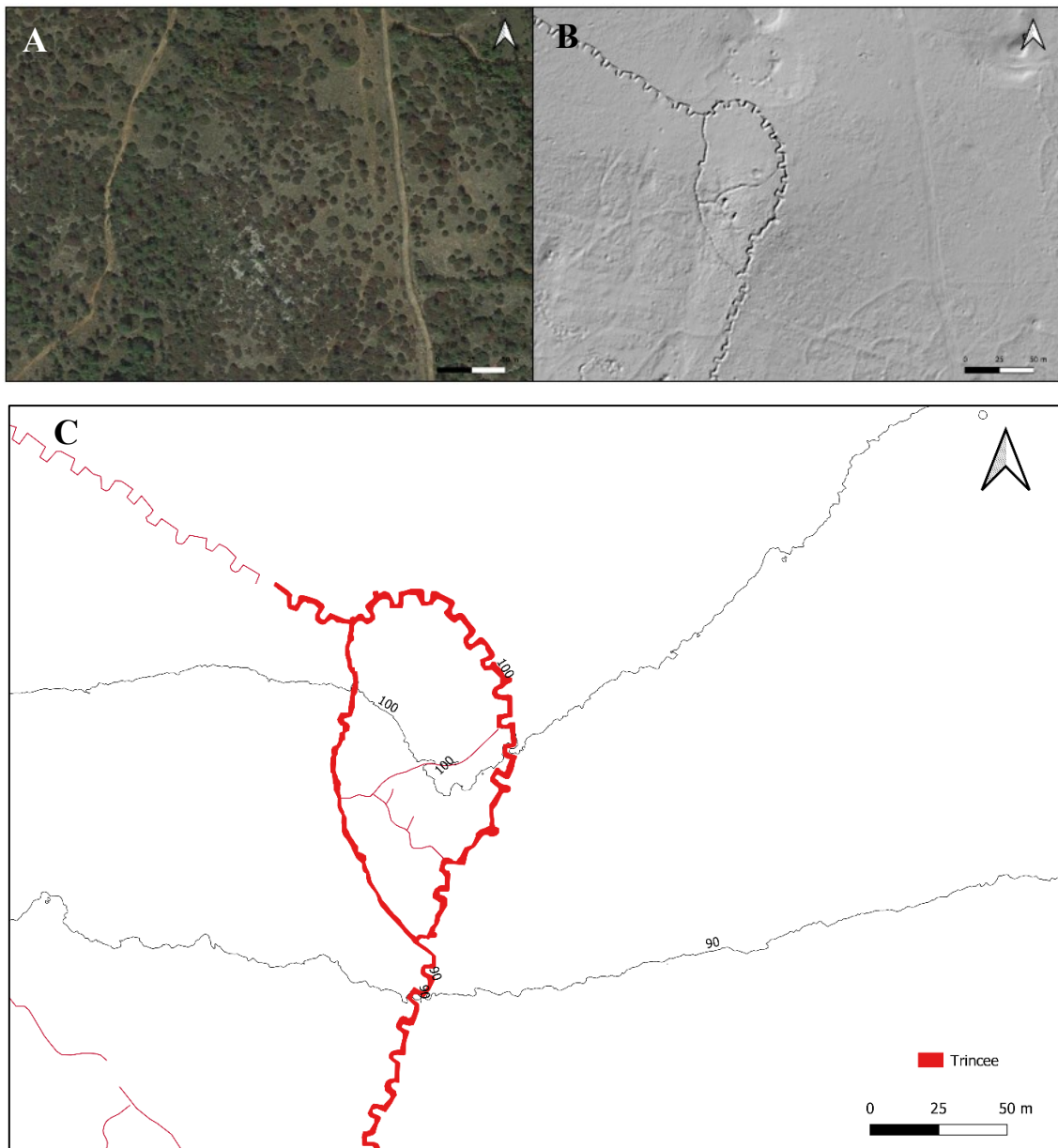


Figura 5.2: Tipiche forme delle trincee principali e di collegamento. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: le tracce delle trincee principali sono più chiare, quelle di collegamento meno, si intravedono al centro dell'anello formato da trincee principali; C) Interpretazione delle trincee in colore rosso.



Figura 5.3: Tratto di trincea nell'area del Castellazzo di Doberdò caratterizzata da una doppia direzione.

5.1.2 DIVISIONI DI CAMPI

Queste aree sono riferibili a zone delimitate da muri o terrapieni. Le loro forme sono in genere molto variabili, da forme circolari o in alcuni casi anche rettangolari o quadrate (Mlekuž 2015). Si possono osservare sia in *cluster*, dove le forme prevalenti sono di piccole dimensioni e molto variabili, o anche come forme singole, in questo caso solitamente di dimensioni maggiori circa dai 90 ai 150 metri di diametro e di forma circolare o semi-circolare.

Queste tracce sono state suddivise in regolari e irregolari. Per quanto riguarda le divisioni di campi regolari (Figura 5.4) si intendono tutte quelle che hanno forme semplici e solitamente circolari. Le divisioni di campi irregolari, invece, sono quelle che hanno forme più articolate e complesse, come si può osservare in Figura 5.5. In Figura 5.6 viene mostrata una fotografia dello stato attuale della maggior parte dei muretti a secco.

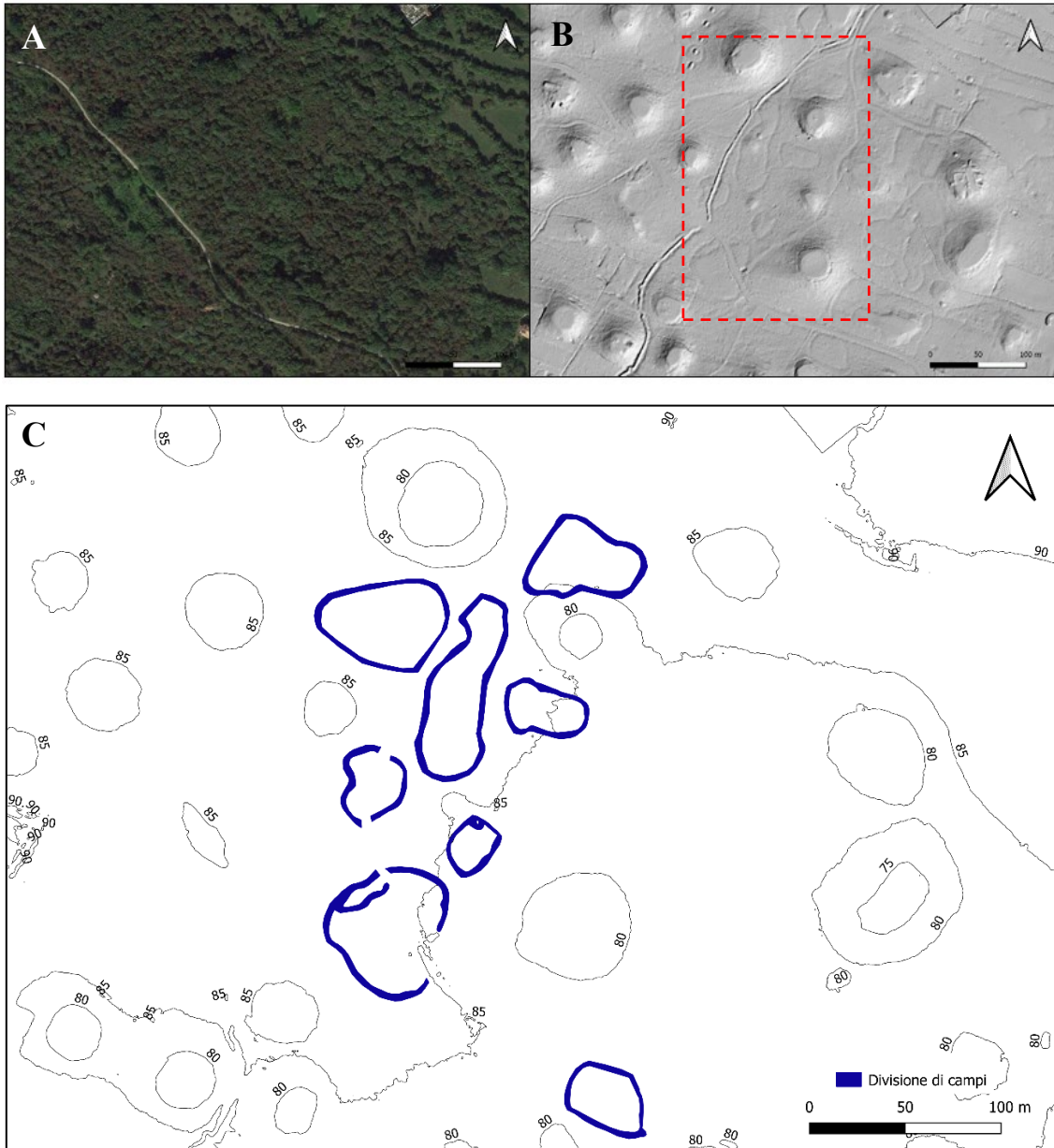


Figura 5.4: Divisioni di campi regolari. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono le tracce delle divisioni di campi; C) Interpretazione dell'immagine, in colore blu sono tracciate le divisioni dei campi regolari.

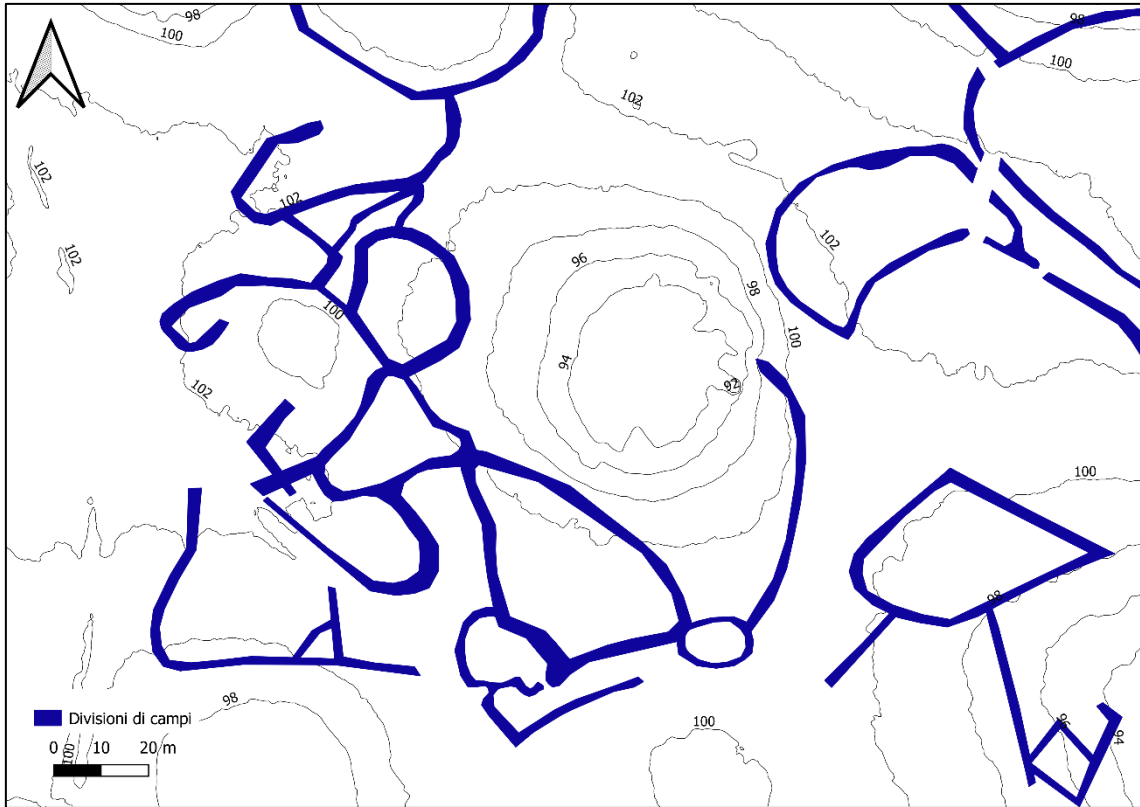


Figura 5.5: Divisione di campi irregolari tracciate in colore blu.



Figura 5.6: Evidenza sul terreno di una delle strutture interpretata come una antica divisione agro-pastorale nella zona delle Altire di Selz (45°50'10.17"N-13°31'39.48"E). Si tratta probabilmente di un muro a secco crollato, forse in parte smantellato e ora completamente ricoperto dalla cotica erbosa e da cespugli.

5.1.3 EDIFICI

Gli edifici (Figura 5.7) identificati come tali sono rari, solitamente di forma quadrata o rettangolare e hanno dimensioni che variano generalmente da 10 a 50 m di lato.

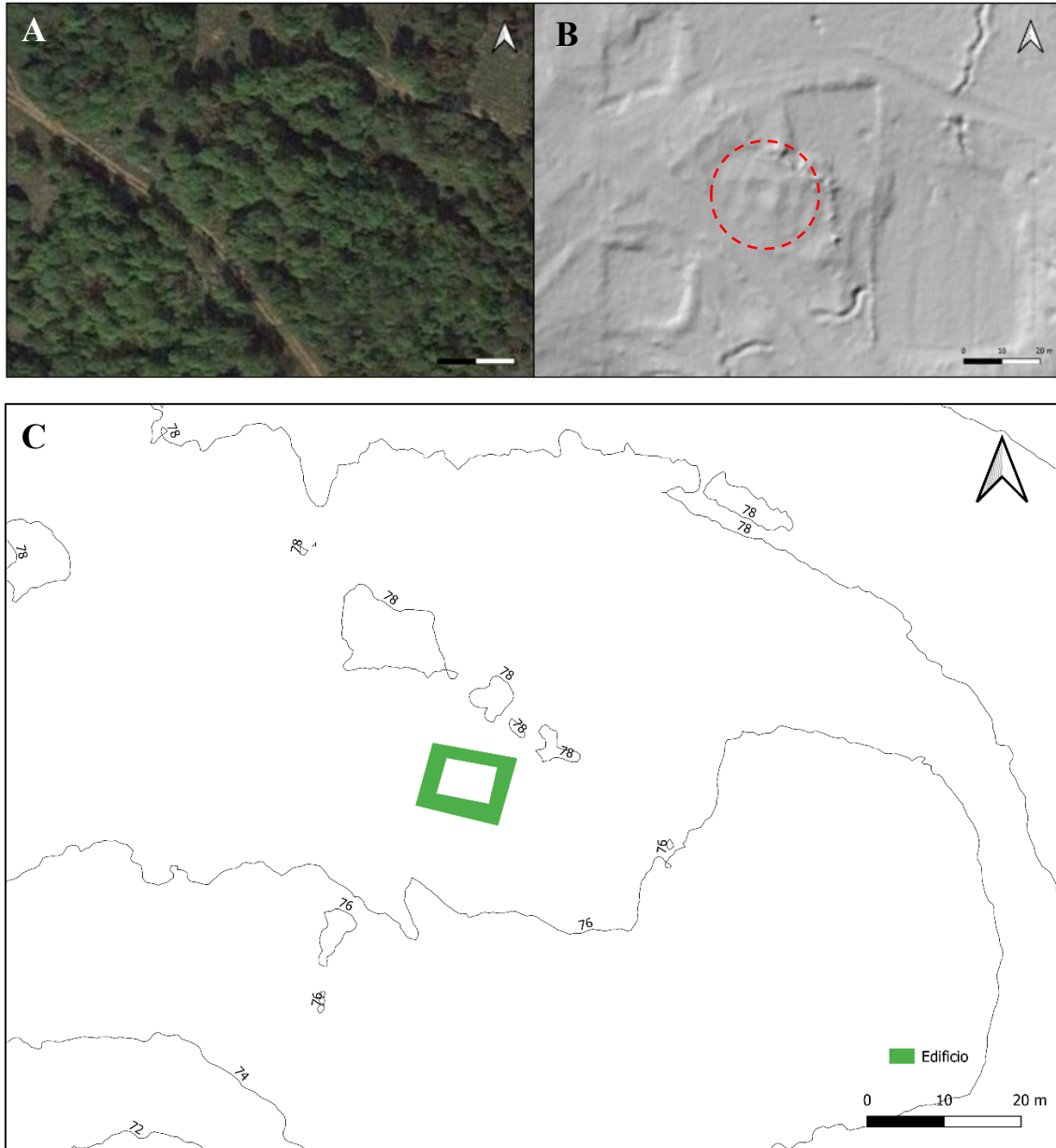


Figura 5.7: Esempio di edificio. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravede una traccia di edificio di forma rettangolare al centro dell'immagine; C) Interpretazione dell'immagine, in colore verde è rappresentato l'edificio.

5.1.4 ACCUMULI DI PIETrame

L'accumulo di pietrame, detto anche spietramento, (Figura 5.8) è una tecnica che consiste nel rimuovere massi di grandi dimensioni dal terreno per migliorarlo e per consentirne l'utilizzo a scopi agricoli o di allevamento. In passato, i massi rimossi a seguito dello spietramento venivano utilizzati per creare recinti agro-pastorali o per la realizzazione di capanne (Gisotti, 2003).

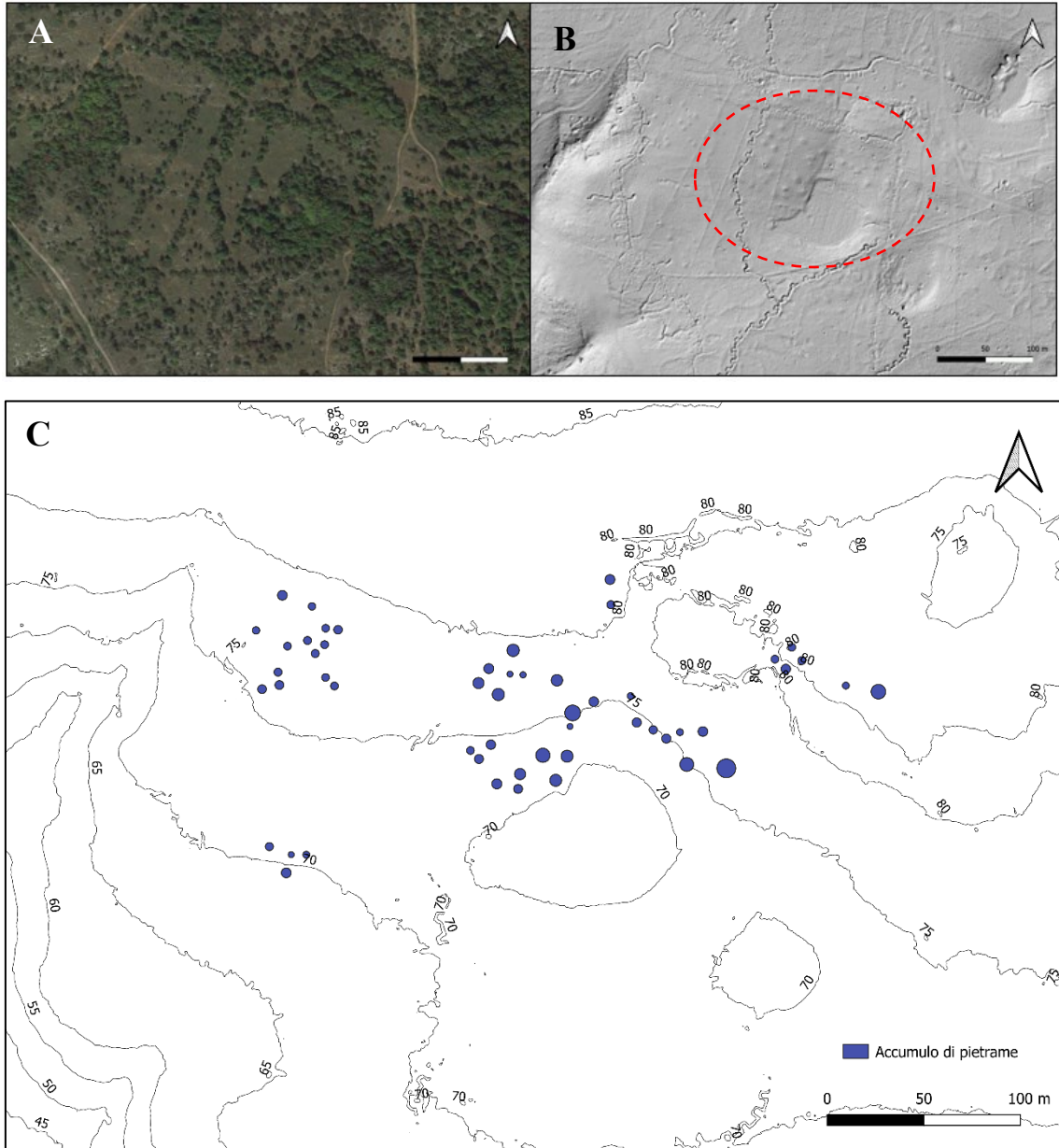


Figura 5.8: Accumuli di pietrame. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono le tracce di accumulo di pietrame; C) Interpretazione dell'immagine, in colore viola i cerchi rappresentano i possibili accumuli di pietrame.

5.1.4.1 TUMULI FUNERARI

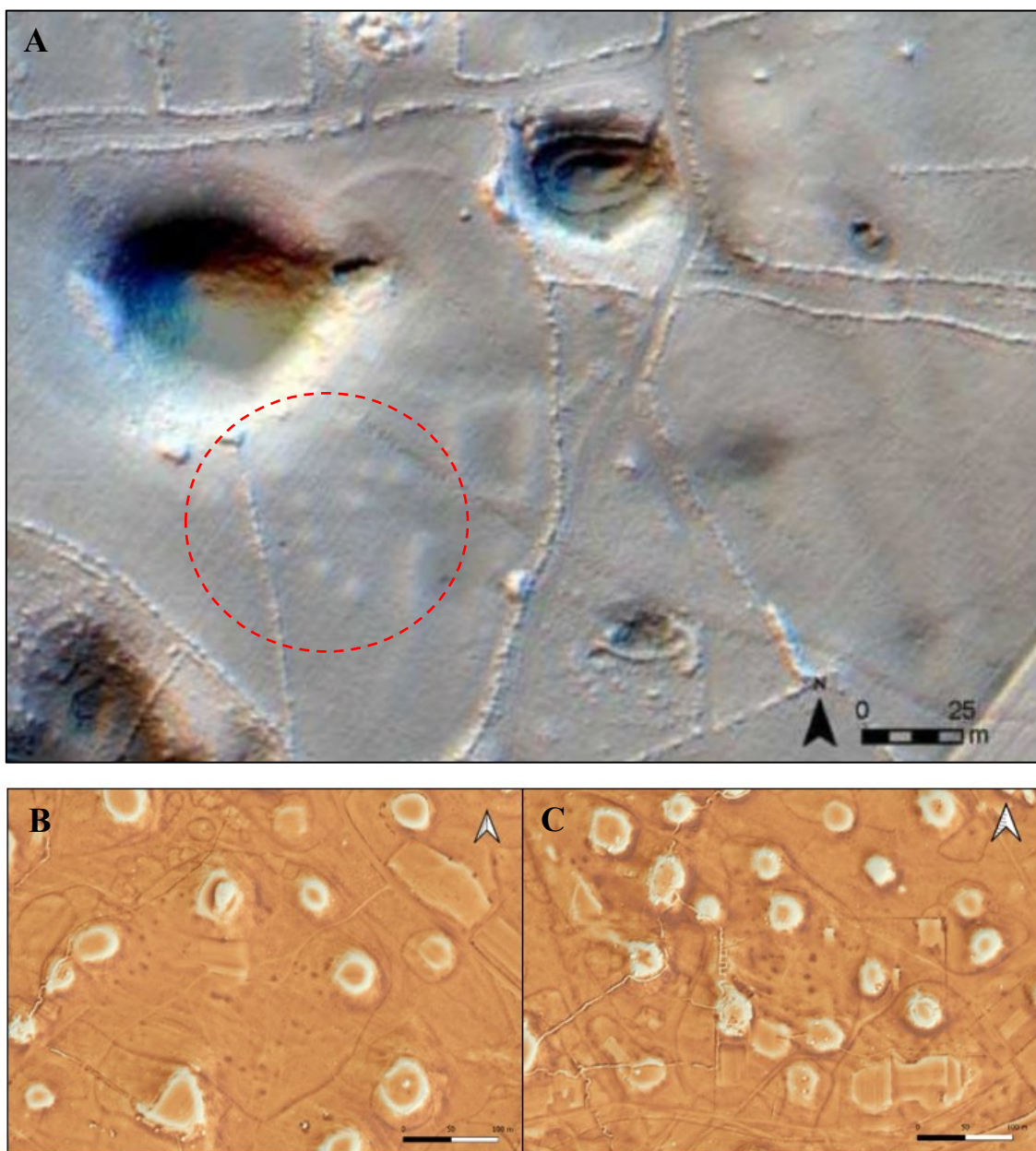


Figura 5.9: A) Tumuli funerari, immagine presa dal lavoro di Mlekuž (2015); B) e C) Local Relief Model dell'area del Carso Isontino meridionale in cui si possono osservare dei punti più scuri, questi sono dei cumuli e potrebbero rappresentare dei tumuli funerari.

Confrontando l'area con il lavoro di Mlekuž (2015) sono state notate delle somiglianze tra alcuni *cluster* di tracce: potrebbe trattarsi di tumuli funerari. I tumuli funerari, si presentano come pali rotondi con un diametro compreso tra 5-25 metri e un'altezza compresa tra 0,3-1 metro. In alcune zone i tumuli funerari appaiono delimitati da probabili

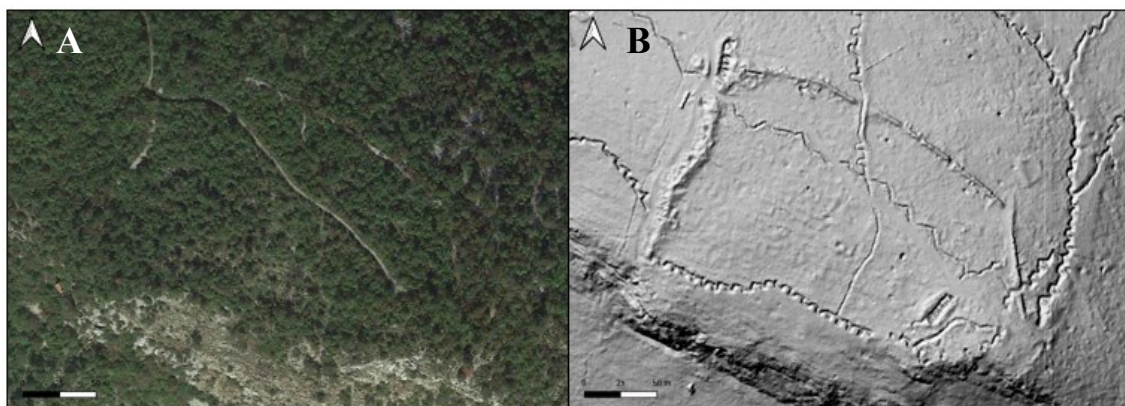
muretti a secco in pietra (Mlekuž, 2015). Come si vede in Figura 5.9A, nell'immagine del lavoro di Mlekuž, i tumuli funerari sono rappresentati da cerchi in colore grigio chiaro, leggermente rialzati rispetto al piano di campagna; questi si trovano all'interno di un possibile muretto a secco e le loro dimensioni sono di circa 5 metri di diametro. Anche nelle Figure 5.9B e 5.9C si notano delle similitudini con il lavoro di Mlekuž: in entrambe le immagini si vedono queste strutture circolari rialzate rispetto al piano di campagna, di circa 5 metri di diametro e sono delimitati all'interno di una recinzione.

Queste strutture potrebbero essere sia tumuli funerari protostorici che accumuli di pietrame, la semplice analisi tramite DEM non è sufficiente per l'interpretazione finale di queste tracce. Solo un mirato lavoro sul campo potrebbe mettere a punto la vera genesi di queste tracce.

5.2 CASTELLAZZO DI DOBERDO'

Il Castellazzo di Doberdò è già stato studiato in passato, come si evince dalla letteratura (Marchesetti, 1903; Montagnari, 1989). Il sito è stato parzialmente intaccato dalla costruzione delle trincee durante la Prima Guerra Mondiale, ma si possono comunque notare delle particolari tracce all'interno di quelle che sembrerebbero le mura esterne, in colore azzurro, visibili in Figura 5.10.

Le tracce sembrano avere un'orientazione preferenziale NW-SE, anche se alcune, come quelle centrali più rettilinee, potrebbero riflettere la giacitura della testata degli strati calcarei che formano il colle. Le tracce sono divisioni interne al castelliere, potrebbero essere pertinenti soprattutto a resti di abitazioni o altre strutture connesse all'insediamento. Ovviamente lo studio di queste tracce meriterebbe un approfondimento in futuro, eventualmente anche tramite campagne di scavo archeologiche.



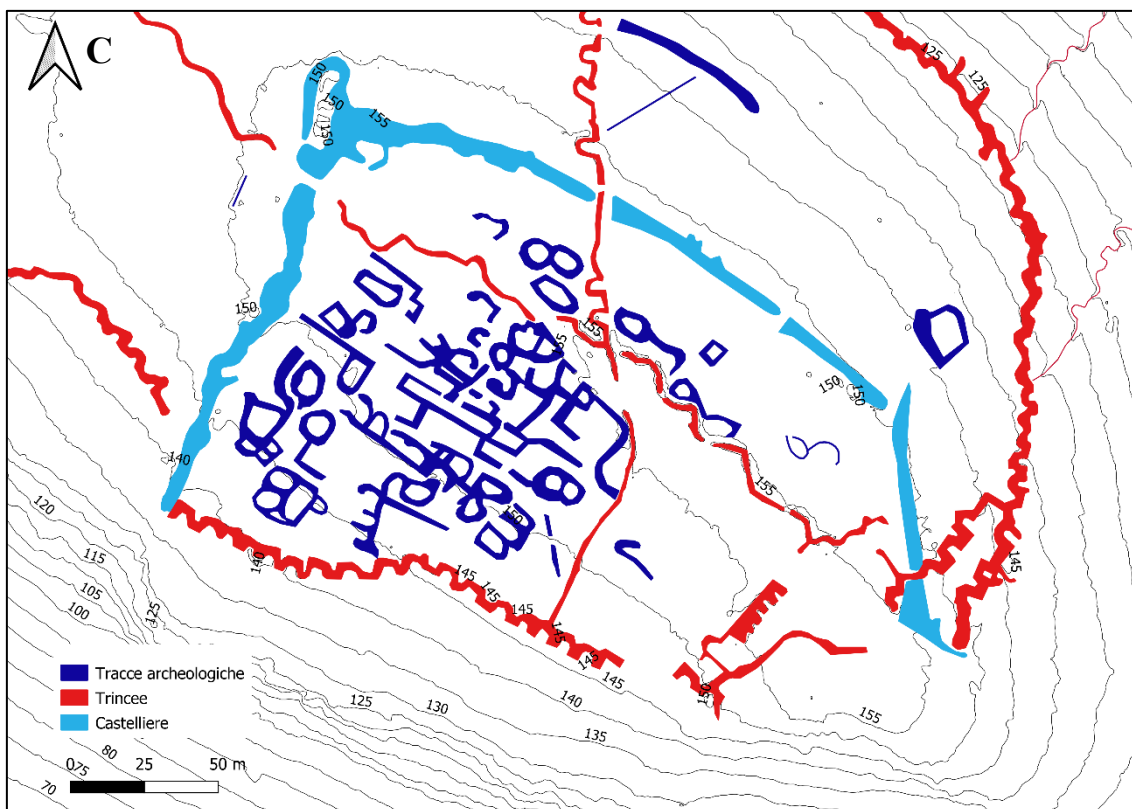


Figura 5.10: Castellazzo di Doberdò. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono le tracce delle trincee, della cinta muraria e delle tracce interne alla cinta; C) Interpretazione dell'immagine, in colore blu scuro le tracce interne al castelliere, in colore azzurro la cinta muraria esterna e in colore rosso.

5.3 CASTELLIERI S. POLO E FORCATE; ROCCA DI MONFALCONE

Il castelliere di S. Polo, di Forcate e la Rocca di Monfalcone (Figura 5.11) sono descritti in letteratura, nel volume edito da Montagnari (1989).

Le tracce delle mura del castelliere di S. Polo, il primo castelliere da sinistra nella Figura 5.11, sono abbastanza ben conservate, come si vede sia dai poligoni disegnati nella mappa elaborata, sia già dal DTM. Le tracce del castelliere di Forcate, il castelliere centrale, sono invece molto poco conservate e quindi anche poco visibili dal DTM. Per quanto riguarda la rocca di Monfalcone, la cinta muraria esterna risulta ben conservata in quanto si tratta di una struttura molto più recente rispetto ai due castelli, è stata infatti restaurata negli anni '50.

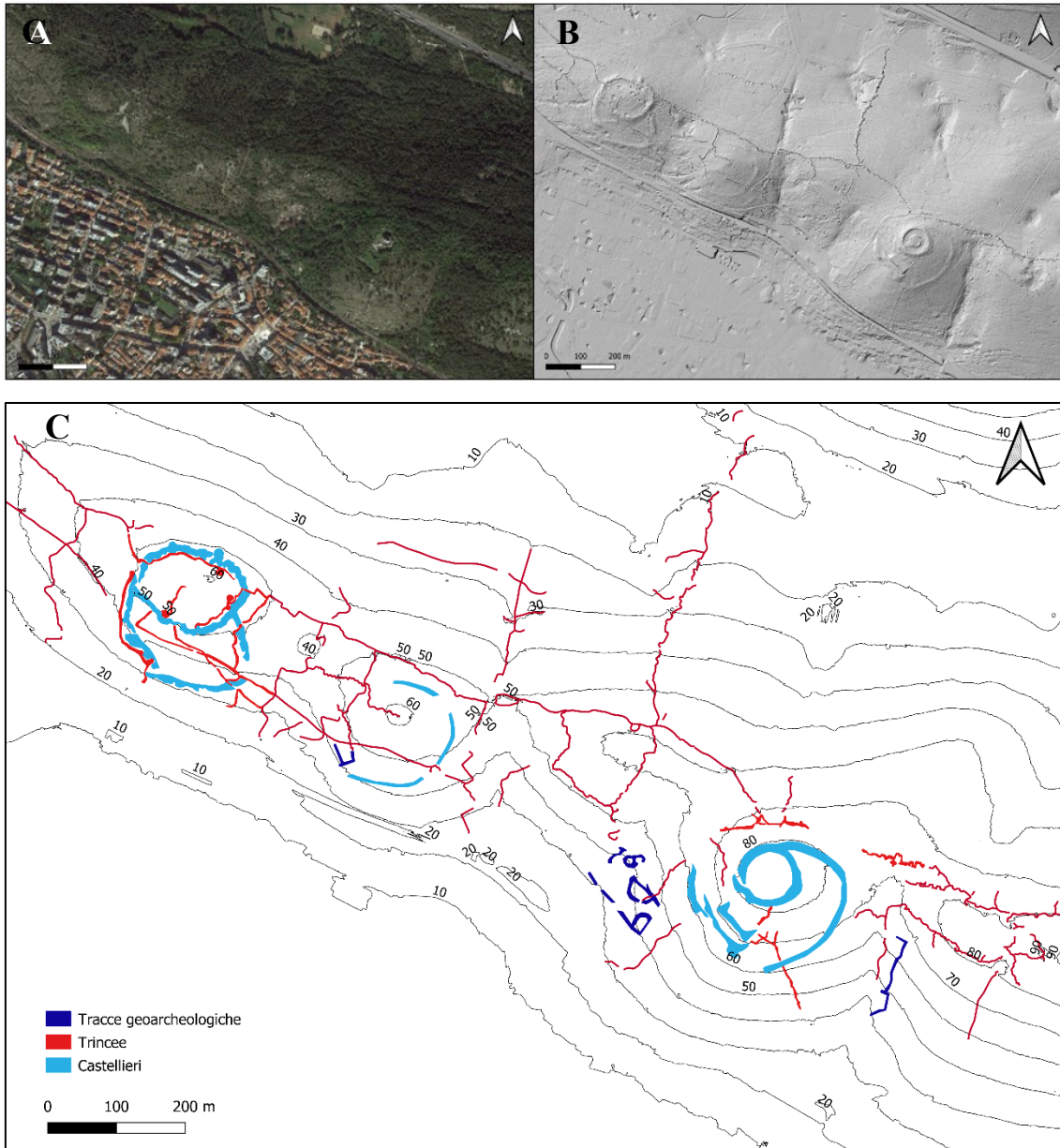


Figura 5.11: Da sinistra: Castelliere di S. Polo, Castelliere di Forcate e Rocca di Monfalcone. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono le tracce delle trincee, delle cinte murarie dei due castellieri e della Rocca di Monfalcone; C) Interpretazione dell'immagine, in colore blu scuro le tracce archeologiche, in colore azzurro le cinte murarie esterne di S. Polo e di Forcate e della Rocca di Monfalcone.

5.4 DIVISIONI DI CAMPI

Nell'area analizzata sono state selezionate quattro aree principali (Figura 5.12) e al loro interno si sono poi individuate delle zone più limitate che vengono di seguito riportate con un maggior dettaglio. Le quattro aree corrispondono a quei settori in cui si è rilevata una maggior concentrazione di tracce.

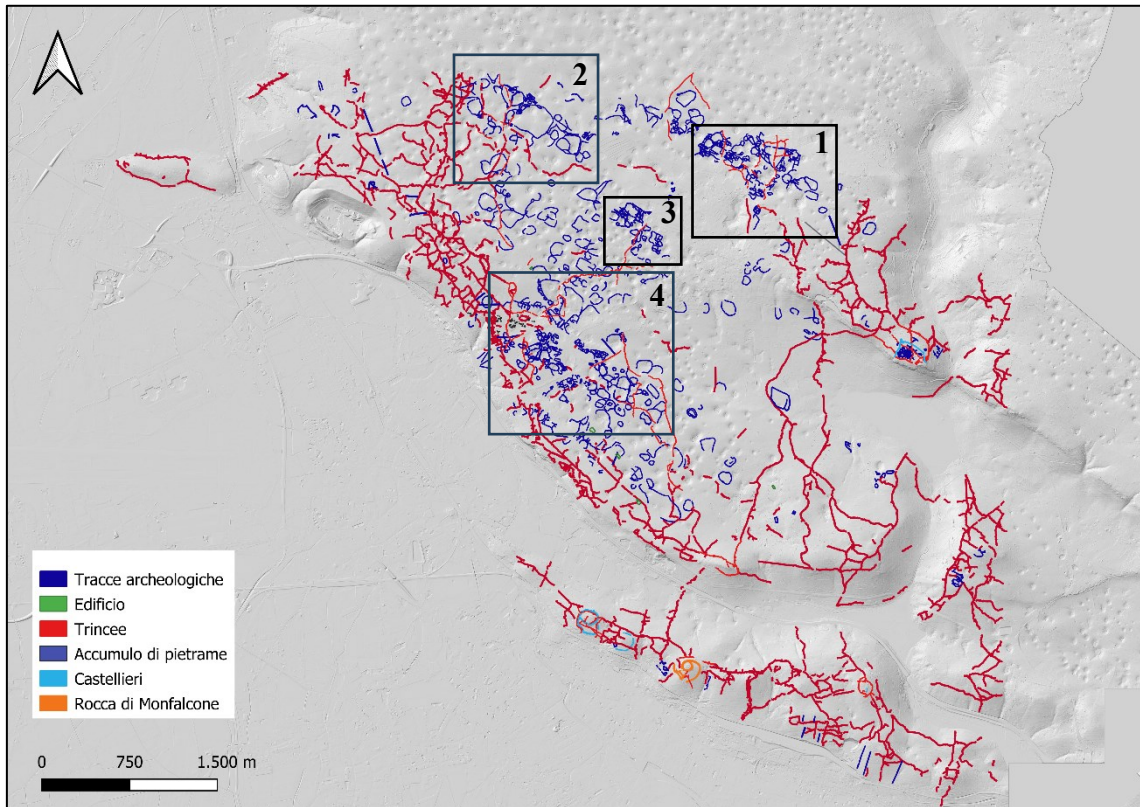


Figura 5.12: Mappa delle tracce riscontrate nell'area. Hillshade come basemap. I riquadri identificano le quattro aree analizzate nel dettaglio: Area 1, Area 2, Area 3, Area 4.

5.4.1 AREA 1

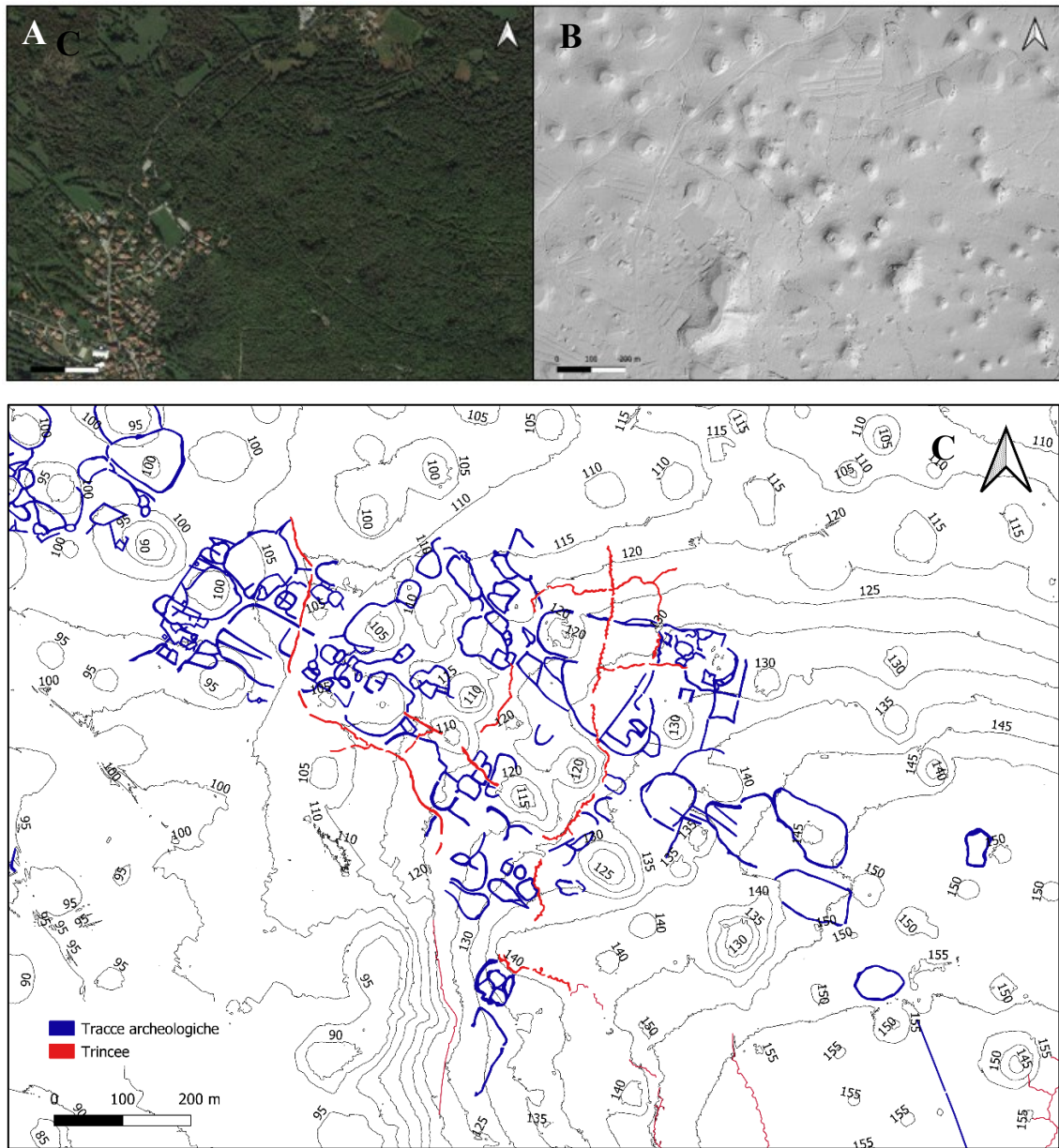


Figura 5.13: Area 1 A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono le tracce delle divisioni dei campi e delle trincee; C) Interpretazione dell'immagine, in colore blu scuro le tracce archeologiche e in colore rosso le trincee.

L'Area 1 (Figura 5.13; Figura 5.14) è caratterizzata da abbondanti tracce, principalmente corrispondenti a muretti di divisioni agrarie, sia regolari che irregolari. In alcuni casi le tracce vengono tagliate dalle trincee, questa è una prova del fatto che le strutture siano antecedenti alla Grande Guerra. L'area totale ha dimensioni di circa 1300x1050 m.

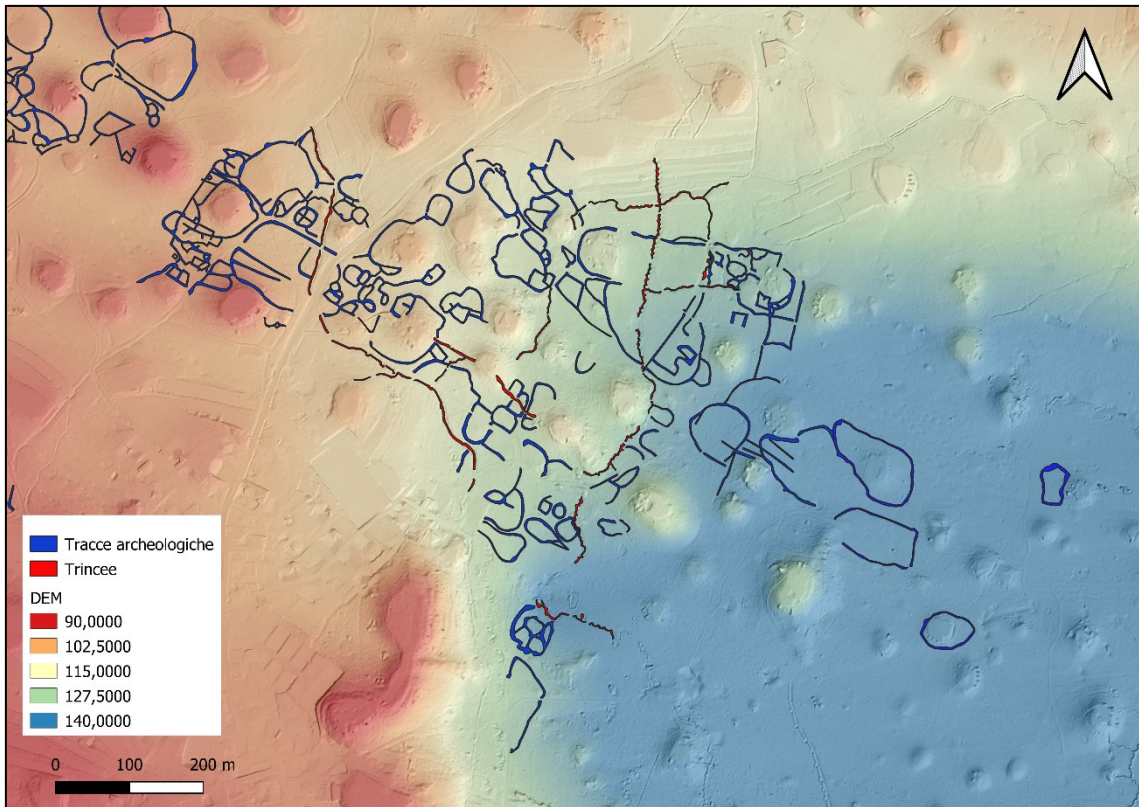


Figura 5.14: Area 1. DEM con le quote usato come basemap su cui sono state disegnate le tracce.

5.4.1.1 AREA 1a

In Figura 5.15 è rappresentato un ingrandimento di un settore dell'Area 1 in cui si notano strutture complesse, alcune circolari e di grandi dimensioni, altre, invece, che rappresentano la maggior parte, sono tracce di dimensioni ridotte e irregolari.

In basso a sinistra dell'immagine, dove le quote sono più basse, si notano delle tracce che per la loro forma rettangolare potrebbero far pensare a degli edifici (A), potrebbe trattarsi di case. Poco sopra si vede una traccia particolare formata da una linea che poi si dirama in linee più corte, il tutto è contornato da una traccia semi-curvilinea (B), questa è stata denominata traccia a "lisca di pesce" per la sua forma caratteristica. Poco sopra a quest'ultima è presente una traccia circolare (C) che delimita una dolina (si riconosce per la quota inferiore rispetto all'area circostante) e questa traccia potrebbe racchiudere un'area coltivata, come in genere si usava e si usa infatti anche oggi, in quanto l'interno delle doline corrisponde alle poche aree abbastanza adatte per la coltivazione. Sopra e adiacente alla traccia descritta, ci sono delle divisioni agrarie di dimensioni più piccole e

di forme diverse tra loro, alcune circolari o semi-circolari e altre più squadrate, quasi rettangolari (D). Spostandosi poi leggermente verso destra è presente un'altra divisione di campi circolare di dimensioni maggiori e vicino ad essa una traccia circolare, divisa al suo interno in quattro settori (E). Il secondo blocco di tracce sulla destra si trova a quote maggiori, circa 100 m e come si vede dalla Figura 5.15 è separato da quello precedentemente descritto da una strada attuale e da una linea di trincea, rappresentata col colore rosso. Qui le divisioni sono di dimensioni inferiori e sono principalmente circolari e semi-circolari, si tratta prevalentemente di tracce di diametro intorno ai 10-30 m. È presente anche una traccia aperta che sembra in parte circondare una dolina (F).

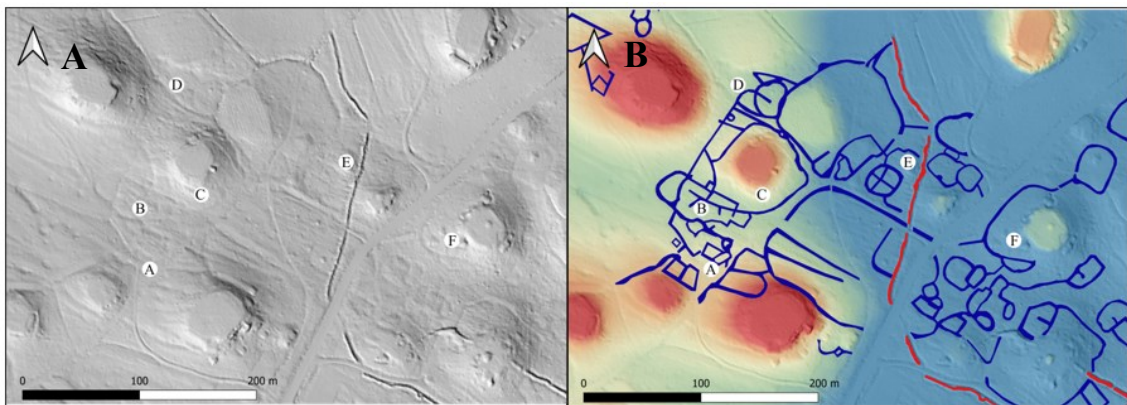


Figura 5.15: Area 1a: ingrandimento di un settore dell'AREA 1 in cui sono riportate 6 lettere che identificano i punti di maggior interesse descritti. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.14: in blu le divisioni di campi e in rosso le trincee, ma cambiano le quote: da 95 m (colore rosso) a 105 m (colore blu).

5.4.1.2 AREA 1b

Osservando la Figura 5.16, partendo da sinistra in alto si possono osservare delle divisioni circolari e semi-circolari di dimensioni diverse tra loro, molto ravvicinate (A). Nella parte destra della mappa sono presenti altre divisioni circolari e semi-circolari di piccole dimensioni (B), sono presenti anche due divisioni agrarie aperte di forma quasi rettangolare, una di dimensioni maggiori sul lato destro e una di dimensioni minori sul lato sinistro (C). Nella parte bassa della Figura 5.16 si nota una divisione di campi particolare, denominata a “fiore” (D), questa particolare struttura è formata da quattro campi adiacenti tra loro; è una struttura che verrà ritrovata anche in altre parti dell'area

del Carso Isontino meridionale. Tutta la zona è caratterizzata dalla presenza di linee di trincea, che vanno ad intaccare e a modificare il paesaggio di tracce più antiche.

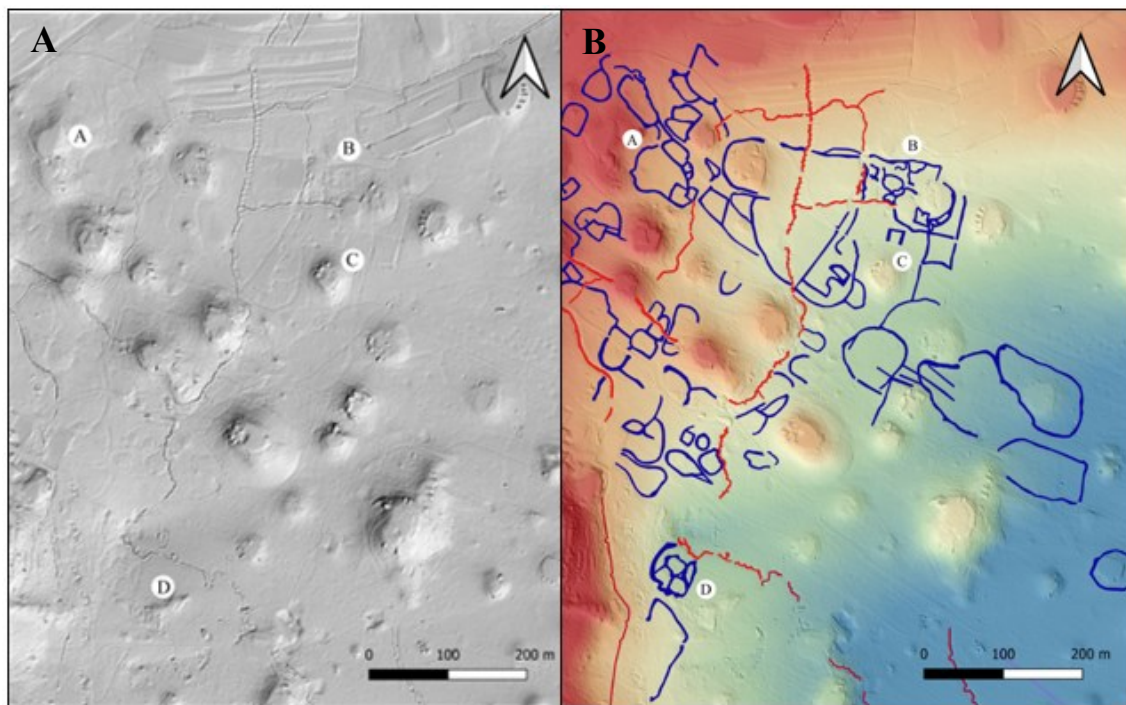


Figura 5.16: Area 1b: ingrandimento di un settore dell'AREA 1 in cui sono riportate 4 lettere che identificano i punti di maggior interesse. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.14: in blu le divisioni dei campi e in rosso le trincee, ma cambiano le quote: da 110 m (colore rosso) a 150 m (colore blu).

5.4.2 AREA 2

L'Area 2 (Figura 5.17, Figura 5.18) copre una superficie di circa 1300x1200 m ed è caratterizzata da strutture diverse tra loro, rappresentate da tracce di divisioni di campi regolari e irregolari. Anche in quest'area ci sono strutture più particolari che meritano una maggiore attenzione.

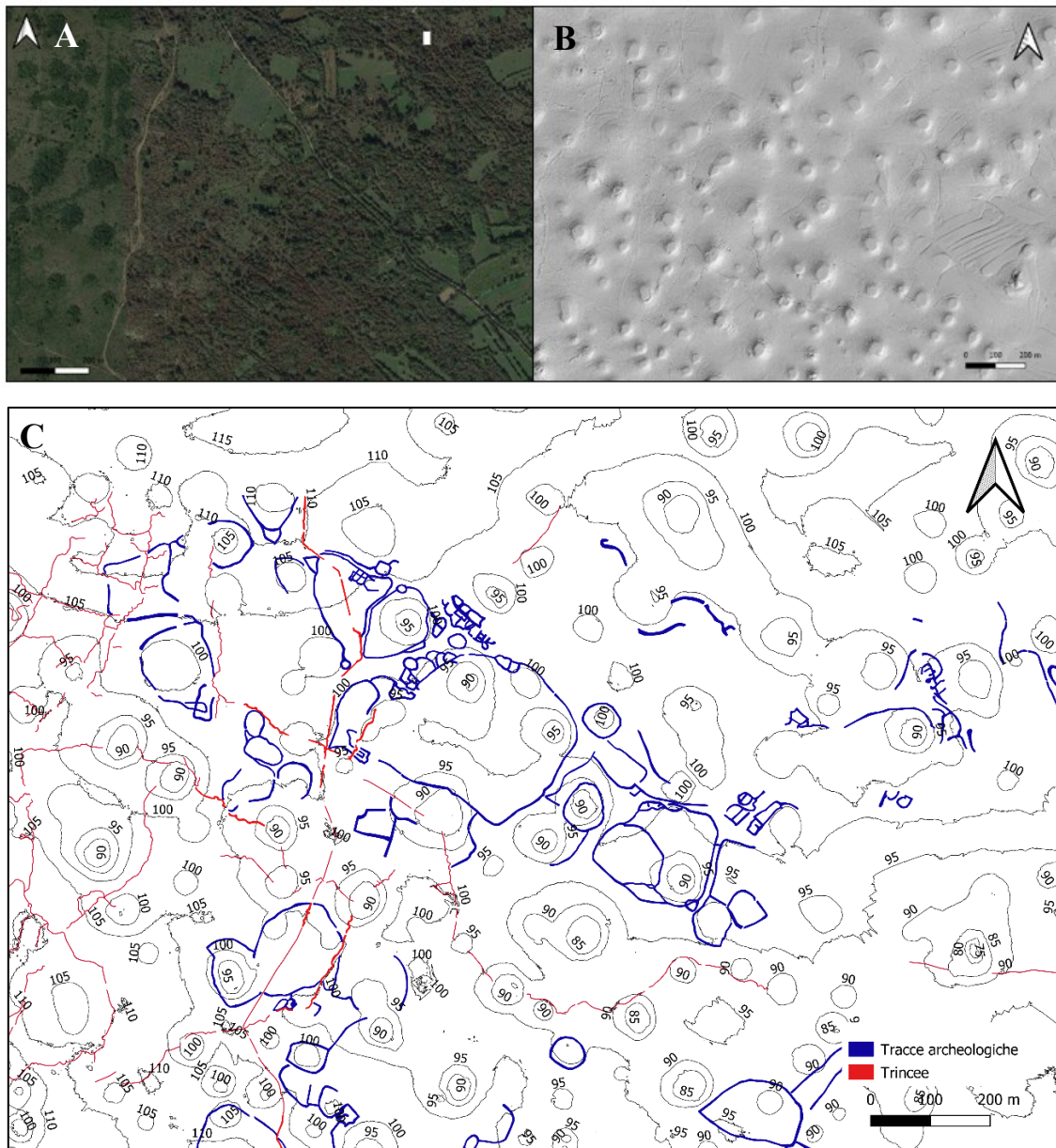


Figura 5.17: Area 2. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono le tracce delle divisioni dei campi e delle trincee; C) Interpretazione dell'immagine, in colore blu scuro le tracce archeologiche e in colore rosso le trincee.

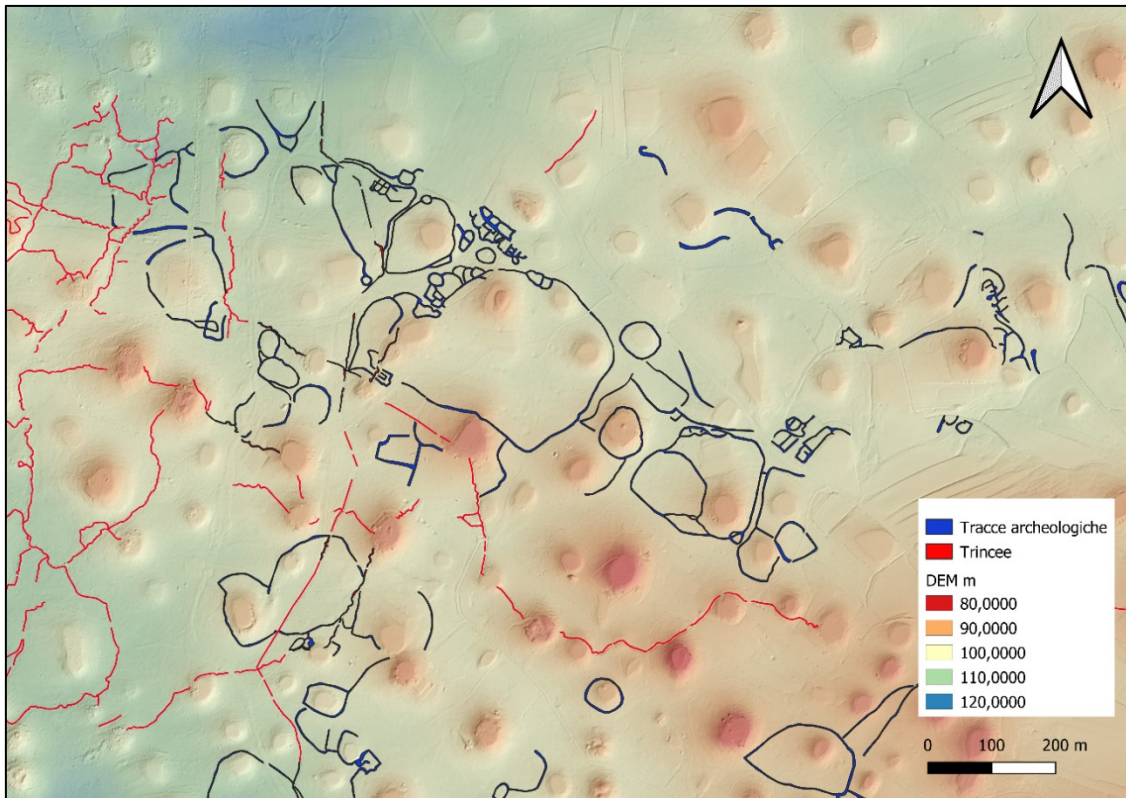


Figura 5.18: Area 2. DEM con le quote usato come basemap su cui sono disegnate le tracce.

5.4.2.1 AREA 2a

Le strutture più interessanti osservabili in Figura 5.19 si trovano nel settore centrale dell'area. Nella parte in alto a sinistra è visibile, come nella mappa dell'Area 1a (Figura 5.15), una struttura semi-circolare (in questo caso più squadrata della precedente), divisa all'interno in quattro settori (A). Proseguendo verso destra si nota una divisione di campi di grandi dimensioni che delimita una dolina (B), questo risulta abbastanza frequente in tutte le aree analizzate. Ancora a destra di quest'ultima struttura è presente una divisione agraria particolare: si tratta di una struttura allungata divisa in tre settori al suo interno (C). A questa sono collegate altre tracce, alcune chiuse come quella rettangolare ed altre invece aperte. Poco sotto a questa è presente un'altra traccia particolare: una forma rettangolare divisa in due a cui è collegata un'altra traccia (D). Nella parte bassa dell'immagine è presente una grande divisione di campi circolare, che contiene al suo interno 4 doline (E). Sul bordo di questa traccia sono presenti divisioni in campi circolari e semi-circolari di dimensioni variabili.

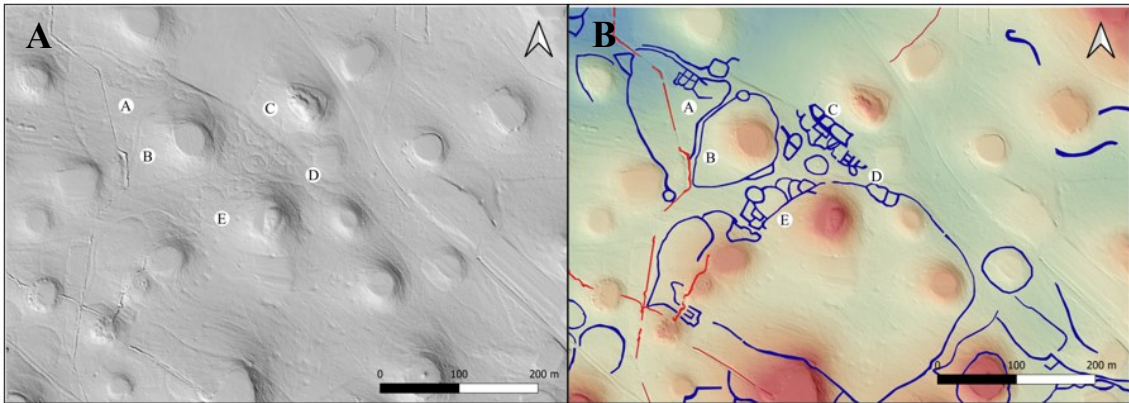


Figura 5.19: Area 2a: ingrandimento di un settore dell'AREA 2 in cui sono riportate 5 lettere che identificano i punti di maggior interesse. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.18: in blu le divisioni di campi e in rosso le trincee, ma cambiano le quote: da 90 m (colore rosso) a 110 m (colore blu).

5.4.2.2 AREA 2b

In Figura 5.20 si osserva questa particolare traccia a “lisca di pesce”. È rappresentata da una linea centrale da cui lateralmente si diramano linee più corte. Si trova tra tre doline. Si tratta probabilmente di divisioni di campi a scopo agro-pastorale. Una traccia simile è stata riscontrata anche nell'Area 1a (Figura 5.15).

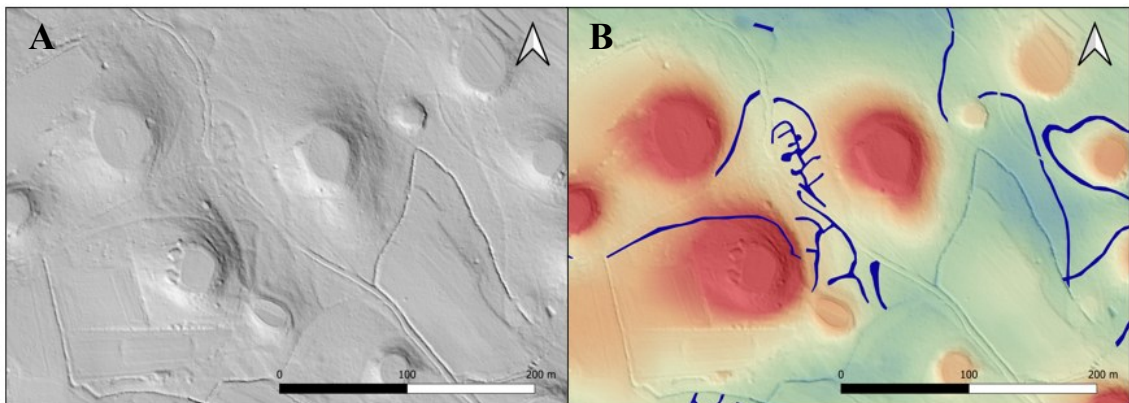


Figura 5.20: Area 2b: ingrandimento di un settore dell'AREA 2. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.18: in blu le divisioni di campi, ma cambiano le quote: da 95 m (colore rosso) a 105 m (colore blu).

5.4.3 AREA 3

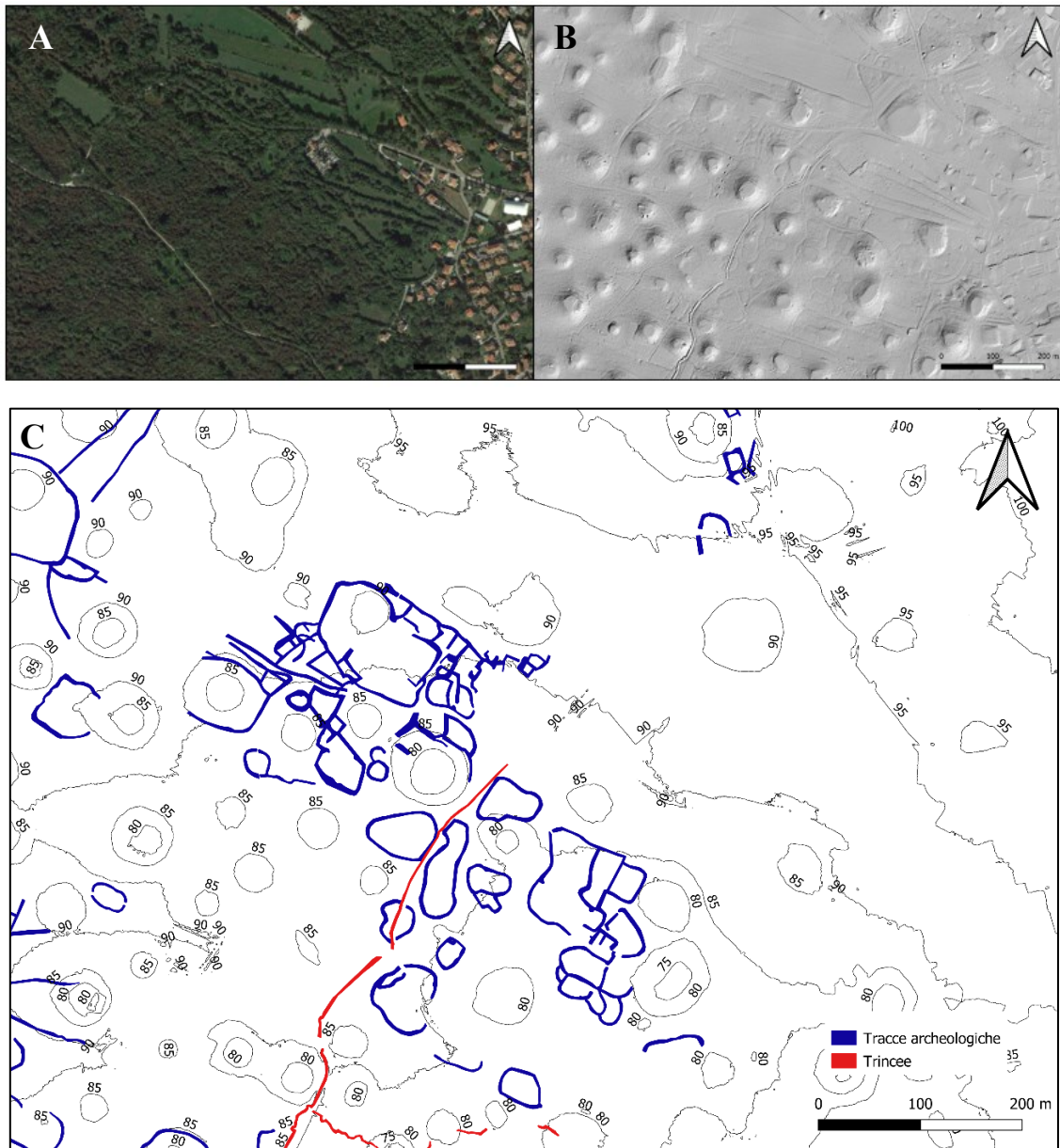


Figura 5.21: Area 3. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono le tracce delle divisioni dei campi e delle trincee; C) Interpretazione dell'immagine, in colore blu scuro le tracce archeologiche e in colore rosso le trincee, le isoipse sono tracciate ogni 5 m.

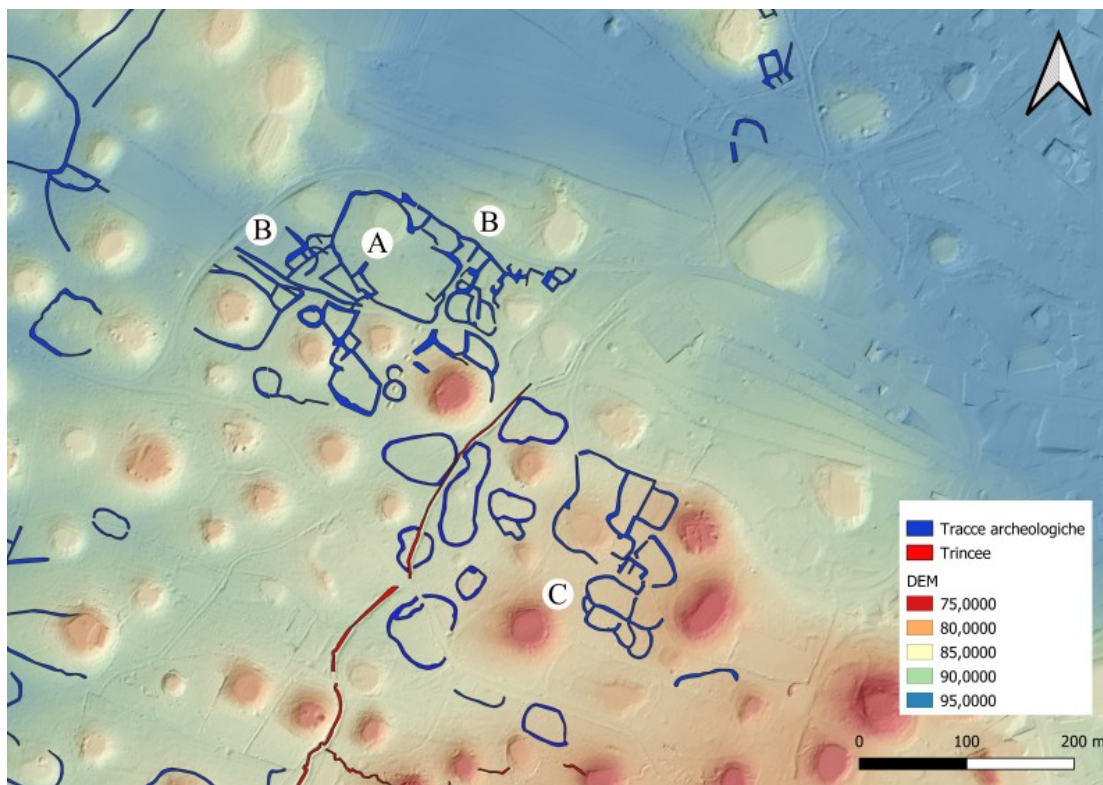


Figura 5.22: Area 3. DEM con le quote usato come basemap su cui state disegnate le tracce. Le lettere rappresentano i principali punti di interesse.

L'Area 3, osservabile in Figura 5.21 e in Figura 5.22, viene divisa per semplicità in due settori sulla base delle dimensioni, in cui quello più a nord risulta il più esteso. Le due zone sono separate da una trincea visibile in colore rosso. L'area totale è di circa 700x600 m.

Nel settore settentrionale si ha una maggiore concentrazione di tracce archeologiche di dimensioni diverse, anche se prevalgono quelle piccole e si tratta per lo più di divisioni di campi irregolari, in quanto sono forme particolari. È presente una traccia che delimita un'area maggiore delle altre (A) e attorno a questa ci sono numerose tracce pseudo-rettangolari (B) che delimitano aree di piccole dimensioni. Queste si trovano sia sul lato destro che sul lato sinistro e potrebbero corrispondere a divisioni di campi agro-pastorali.

Il settore meridionale ha dimensioni minori ed è caratterizzato da divisioni di campi circolari e semi-circolari sparse e fra esse si riscontra una particolare struttura a "fiore" (C). Questa è caratterizzata da quattro divisioni chiuse e una aperta, che convergono però in un unico punto centrale. Essa è confrontabile per certi aspetti con quella visibile nell'Area 1b in Figura 5.16.

5.4.4 AREA 4

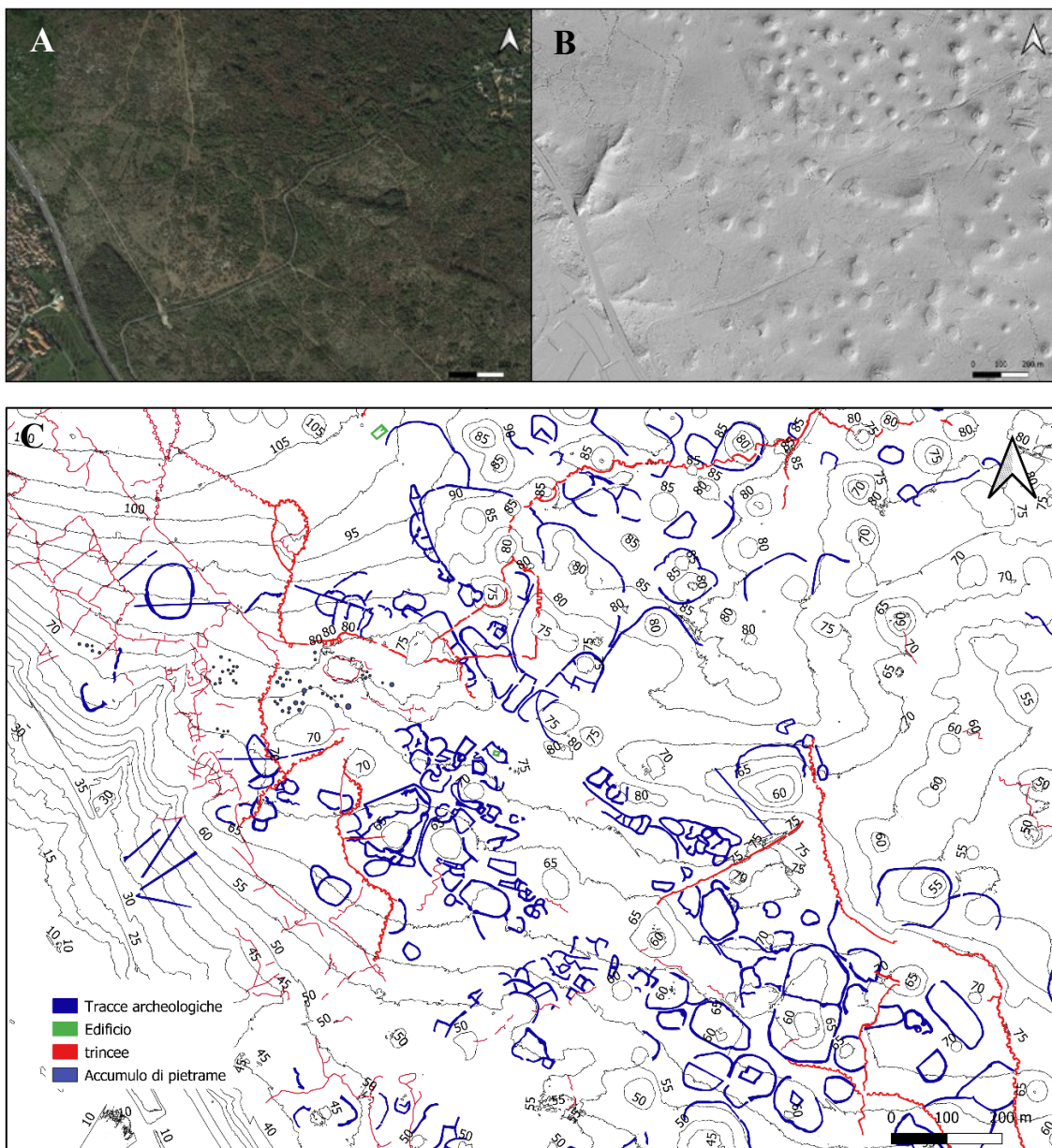


Figura 5.23: Area 4. A) Immagine satellitare da Google Earth; B) DTM dell'area: si intravedono principalmente le tracce delle divisioni dei campi e delle trincee; C) Interpretazione dell'immagine, in colore blu scuro le tracce archeologiche, in colore rosso le trincee, in colore verde l'edificio e in colore viola, i possibili accumuli di pietrame (rappresentati da cerchi).

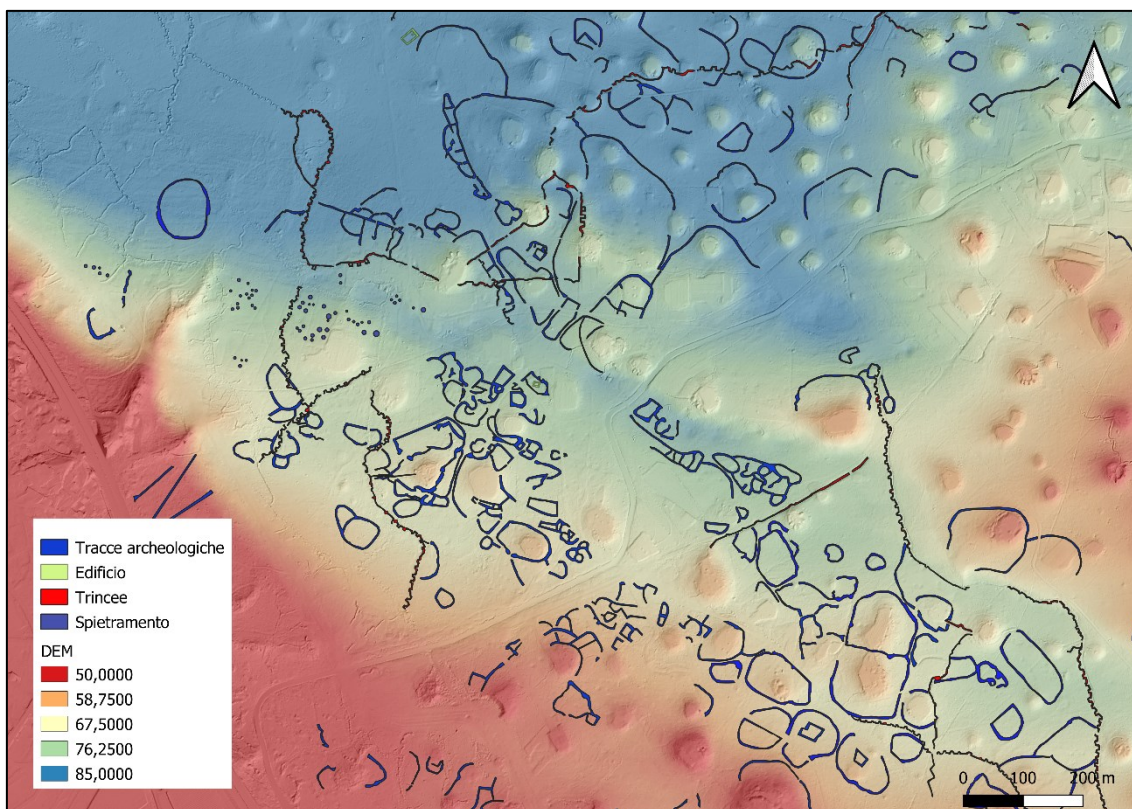


Figura 5.24: Area 4. DEM con le quote usato come basemap su cui sono state disegnate le tracce.

L'Area 4 (Figura 5.23, Figura 5.24), copre una superficie di circa 1650x1400 m, un'area più estesa rispetto alle altre zone analizzate. Questa è stata a sua volta suddivisa in quattro aree di particolare interesse.

5.4.4.1 AREA 4a

In Figura 5.25, nel settore più a sinistra, si osservano due linee di trincea perpendicolari tra loro (A), che sembrano essere trincee principali, data la loro forma a zigzag ben definita e che tagliano le divisioni di campi in colore blu. Proseguendo verso destra si intensificano le tracce più antiche, in quanto anch'esse sono tagliate dalle trincee. Nella parte alta dell'immagine, come descritta in precedenza (Figura 5.16 e Figura 5.22), si trova questa particolare divisione a "fiore" (B), essa è riconoscibile anche dal DEM. In questo caso la struttura risulta molto più complessa delle precedenti, ma per il suo aspetto particolare è stata comunque attribuita a questa particolare tipologia. A destra della struttura a "fiore" ci sono due divisioni agrarie, una delle quali contiene una traccia rettangolare (C) identificata come un edificio (in colore verde), potrebbe trattarsi di un

appezzamento di terreno privato in cui è stata costruita l'abitazione. Sotto a queste ultime tracce descritte sono presenti altre divisioni di campi, di cui tre sono di grandi dimensioni e contornano doline (D). In basso a destra dell'immagine è presente una traccia di divisione agrarie di piccole dimensioni (E), che potrebbe ricordare la struttura a fiore descritta in precedenza, anche se non completa.

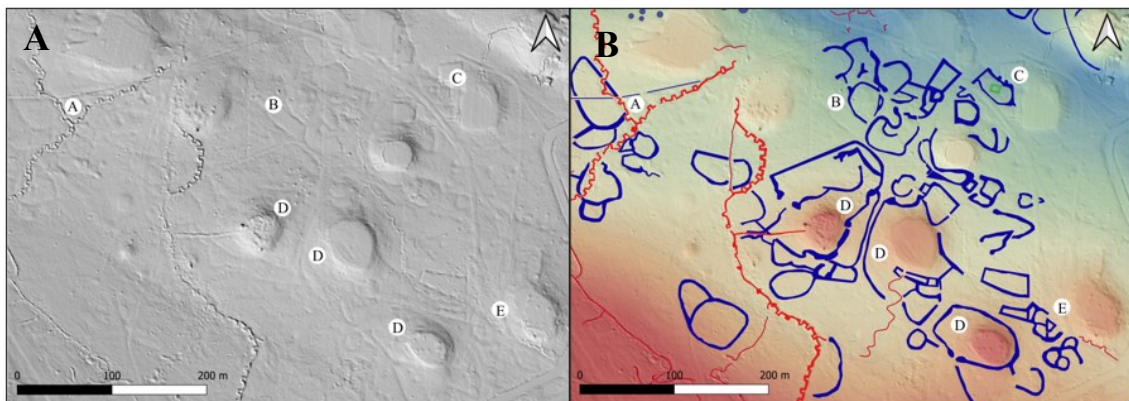


Figura 5.25: Area 4a: ingrandimento di un settore dell'AREA 4, in cui sono riportate 5 lettere che identificano i punti di maggiore interesse. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.24: in blu le divisioni di campi, in rosso le trincee, in verde l'edificio e i cerchi viola rappresentano zone di spietramento o tumuli funerari, ma cambiano le quote: da 60 m (colore rosso) a 80 m (colore blu).

5.4.4.2 AREA 4b

Nella zona a sinistra della mappa (Figura 5.26), dove le quote sono maggiori, si vede una particolare struttura di forma irregolare e allungata, divisa al suo interno in quattro settori chiusi e uno aperto (A). Proseguendo verso destra si vede anche un altro insieme di tracce più complesso, formato da un perimetro esterno curvilineo, dove al suo interno sono presenti sei divisioni di aree sub-circolari chiuse e altre aperte (B). Tutti questi sistemi complessi di divisioni di campi potrebbero riferirsi ad antiche aree adibite all'allevamento di animali, quindi recinti, oppure a zone di coltivazione di campi.

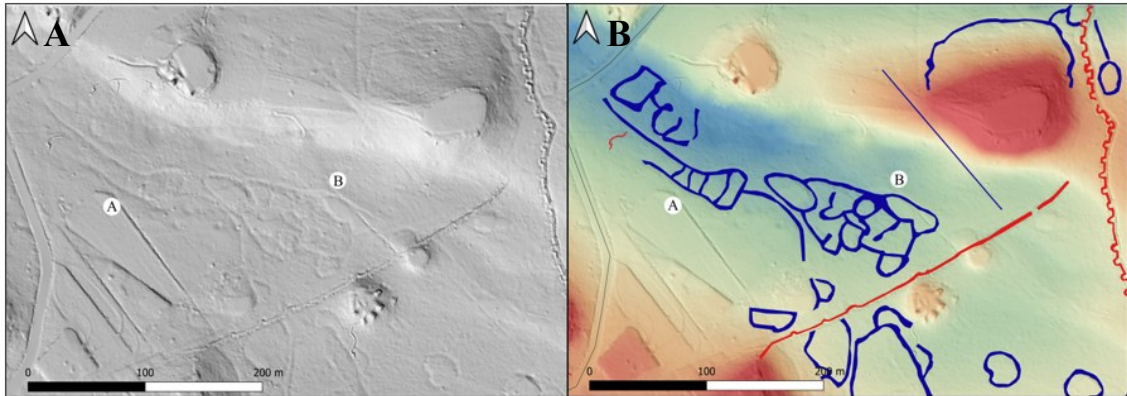


Figura 5.26: Area 4b: ingrandimento di un settore dell'AREA 4, in cui sono riportate 2 lettere che identificano i punti di maggiore interesse. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.24: in blu le divisioni di campi e in rosso le trincee, ma cambiano le quote: da 65 m (colore rosso) a 80 m (colore blu).

5.4.4.3 AREA 4c

Nella parte più a sinistra della Figura 5.27 si notano delle tracce di divisioni di campi irregolari che delimitano aree ristrette, alcune delle quali di forma semi-rettangolare, altre invece circolari o semi-circolari (A). Proseguendo verso destra le divisioni in campi diventano principalmente regolari e circolari di dimensioni maggiori. In alcuni casi le divisioni di campi circondano doline, come accade spesso. Nella parte centrale della mappa si vedono due tracce circolari non chiuse, al cui interno sono presenti delle tracce semi-rettangolari (B), potrebbe trattarsi di edifici, anche se le forme non rispecchiano quelle ideali. Anche nella parte bassa della mappa, in colore verde, è presente una struttura semi-rettangolare (C), identificata come un edificio, sia per le dimensioni tipiche, sia per la forma.

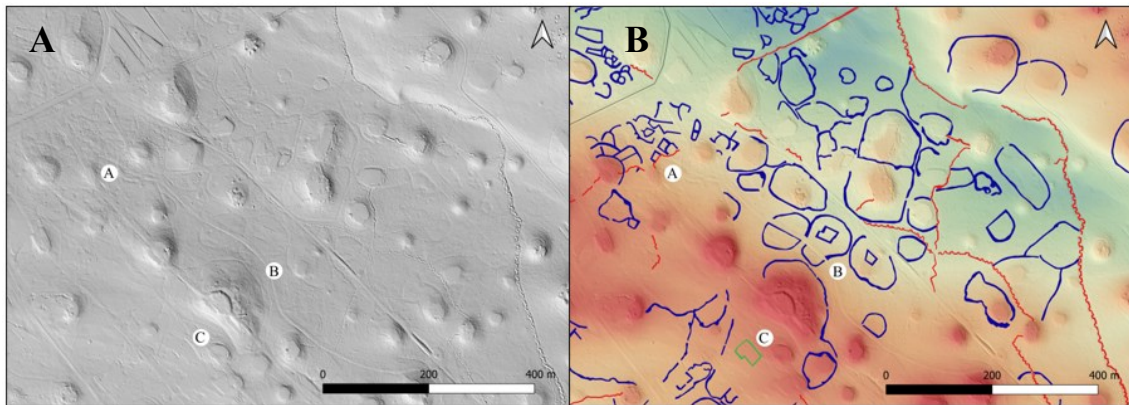


Figura 5.27: Area 4c: ingrandimento di un settore dell'AREA 4, in cui sono riportate 3 lettere che identificano i punti di maggiore interesse. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.24: in blu le divisioni di campi, in rosso le trincee e in verde un possibile edificio, ma cambiano le quote: da 50 m (colore rosso) a 80 m (colore blu).

5.4.4.4 AREA 4d

Nella parte sinistra della Figura 5.28 si vede una struttura che ricorda quella a “lisca di pesce” (A), già riscontrata in precedenza nell'Area 1a e nell'Area 2b (Figura 5.15 e Figura 5.20): è composta da una linea retta da cui partono alcune linee perpendicolari più corte ed altri segmenti curvilinei. In alto nell'immagine si nota una grande divisione di campi circolare (B), che contiene 5 doline. Poste sul lato sinistro di quest'ultima traccia sono presenti altre divisione agrarie di dimensioni minori (C), alcune semi-circolari ed altre più squadrate. Questa grande divisione in campi è sicuramente precedente alla Prima Guerra Mondiale, in quanto viene tagliata da una linea di trincea. Al centro della mappa è presente una struttura quasi quadrata (D), a cui è collegata una traccia curvilinea aperta. Questa traccia, data la forma squadrate, potrebbe essere attribuita ad un edificio, anche se molto particolare. Anche nella parte bassa dell'immagine si osservano tracce tagliate da trincee e quindi quasi tutte le strutture presenti in quest'area potrebbero essere precedenti alla Grande Guerra. In basso a sinistra sono infine presenti tracce di accumulo di pietrame o di possibili tumuli funerari (E).

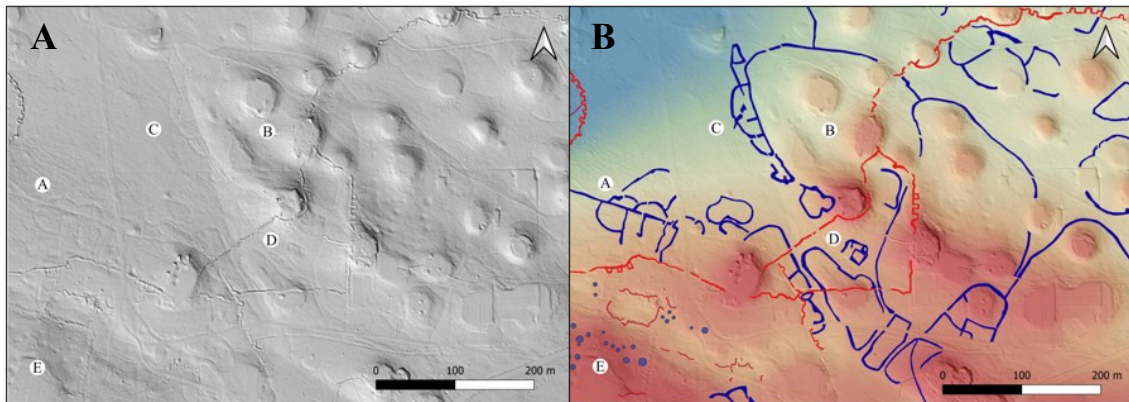


Figura 5.28: Area 4d: ingrandimento di un settore dell'AREA 4, in cui sono riportate 5 lettere che identificano i punti di maggiore interesse. A) DEM non interpretato; B) Immagine interpretata, la legenda è la stessa della Figura 5.24: in blu le divisioni di campi, in rosso le trincee e in viola le possibili tracce di accumulo di pietrame o tumuli funerari, ma cambiano le quote: da 75 m (colore rosso) a 100 m (colore blu).

5.4.5 TRACCE PARTICOLARI

Alcune tracce particolari di divisioni agrarie sono state riscontrate più volte: si tratta delle strutture a “lisca di pesce”, a “fiore” e le strutture semi-circolari divise in quattro settori interni. Nell'area di studio le tracce a “lisca di pesce” (Figura 5.29) mappate sono tre, si trovano: nelle Aree 1a, 2b e 4d. Anche la cosiddetta traccia a “fiore” (Figura 5.30) è stata individuata tre volte, rispettivamente nell'Area 1b, 3 e 4a. Un'altra traccia caratteristica è quella rappresentata da una struttura esterna circolare o semi-circolare, divisa al suo interno in quattro settori (Figura 5.31), che è stata riconosciuta in due casi, nelle Aree 1a e 2a.

In Figura 5.29 sono riportate le tre tracce a “lisca di pesce” ritrovate nell'area. Le due più simili tra loro sono la B e la C, mentre la A è leggermente diversa, questa traccia appare infatti racchiusa da un muretto a secco. Le tre strutture hanno in comune una linea retta centrale da cui si diramano altre linee più corte, rettilinee o anche curvilinee. Le tracce a “lisca di pesce” B e C hanno anche dimensioni abbastanza simili, la prima infatti ha una lunghezza complessiva di 180 m circa, se invece non si considera il secondo segmento staccato che va verso il basso, allora la lunghezza totale del primo segmento è di circa 100 m. La “lisca di pesce” C ha una lunghezza di circa 110 m. La dimensione della “lisca di pesce” A risulta diversa dalle precedenti, infatti questa è più corta, raggiunge una lunghezza di circa 60 m.

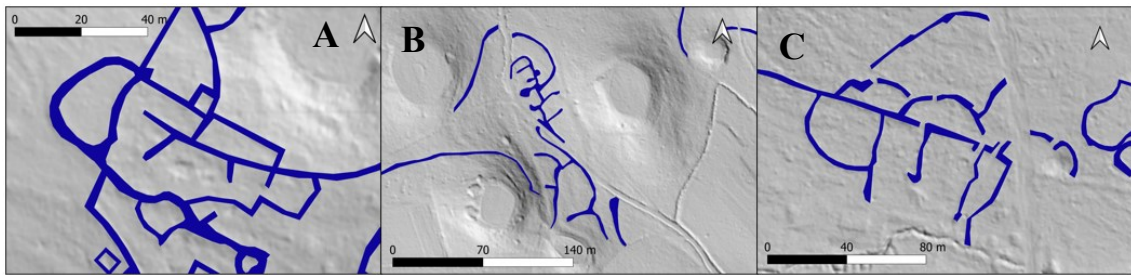


Figura 5.29: Strutture a “lisca di pesce” mappate nell’area. Hillshade usato come basemap. A) Area 1a; B) Area 2b; C) Area 4d.

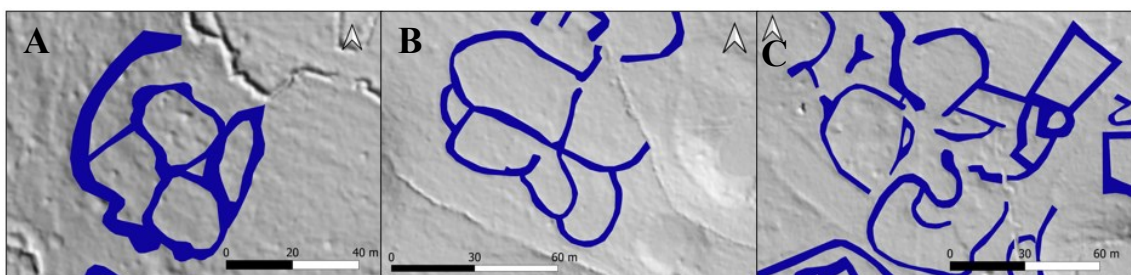


Figura 5.30: Strutture a “fiore” mappate nell’area. Hillshade usato come basemap. A) Area 1a; B) Area 3; C) Area 4a.

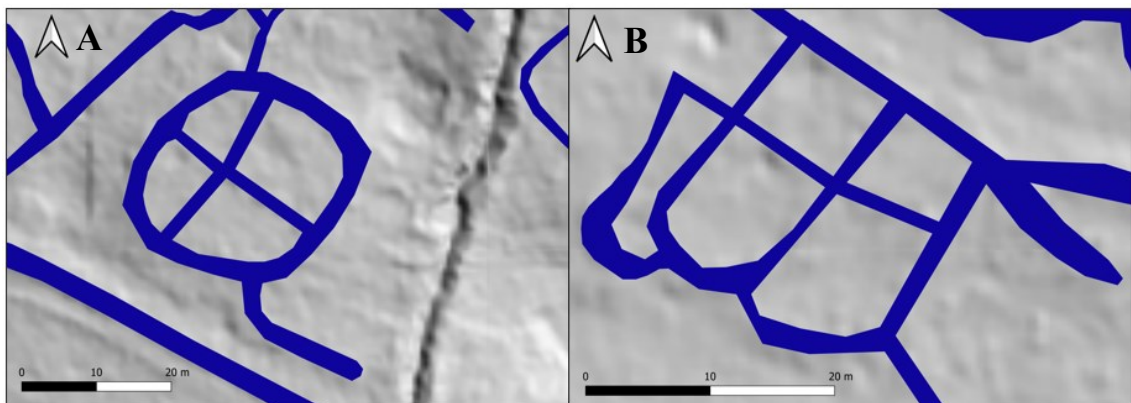


Figura 5.31: Struttura circolare e semi-circolare divisa in quattro settori interni. Hillshade usato come basemap. A) Area 1a; B) Area 2a.

In Figura 5.30 sono riportate invece le strutture a “fiore”. Queste tre sono diverse tra loro, ma si può comunque riconoscere una morfologia che le accomuna. Tutte e tre le tracce sono caratterizzate da linee curvilinee che convergono verso un punto centrale. Le dimensioni delle tre tracce sono di circa 50 m di diametro per la traccia A, di circa 70 m per la traccia di diametro la B e di circa 90 m di diametro per la C.

Le tracce rappresentate in Figura 5.31 hanno invece dimensioni molto più simili, la traccia A ha un diametro di circa 28 metri, mentre la B ha un diametro di circa 23 m. Si tratta quindi di strutture molto simili sia per forma che per le dimensioni.

5.5 TRACCE RELATIVE AL RETICOLO CENTURIALE DI ETA' ROMANA

L'area di studio è stata analizzata anche per trovare tracce di centuriazione, avendo a disposizione il reticolo. È stata trovata una traccia (Figura 5.32), che potrebbe corrispondere ad una linea di centuria, anche se questa non è esattamente sovrapposta al reticolo. La traccia è difficilmente riconoscibile dal DEM, in quanto rappresentata da una linea molto sottile e poco netta, potrebbe quindi trattarsi di una traccia antica. In Figura 5.32 le linee nere rappresentano il reticolo di centuriazione, mentre il poligono di colore viola rappresenta la traccia identificata come possibile frammento di centuriazione. La traccia e il reticolo sono molto ravvicinati e quasi paralleli, queste sono indicazioni del fatto che potrebbe effettivamente trattarsi di una linea di centuriazione romana, serviranno comunque accertamenti effettuati sul campo per poterne avere piena conferma.

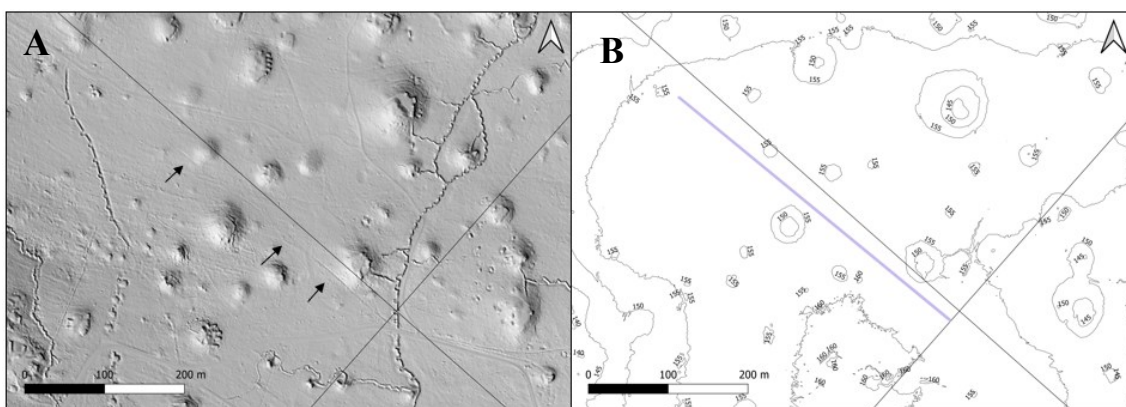


Figura 5.32: Traccia di un possibile frammento di reticolo centuriale A) DEM non interpretato in cui si intravede la possibile traccia di centuriazione indicata dalle frecce; B) Interpretazione del possibile frammento della traccia di centuriazione in colore viola.

5.6 TRACCE DI EPOCA MODERNO-CONTEMPORANEA

L'area di studio è stata confrontata con le mappe del Catasto Franceschino dell'archivio di Stato di Gorizia. In alcune zone si vede come le tracce visibili dal DEM corrispondano con le divisioni agrarie riportate dal Catasto Franceschino.

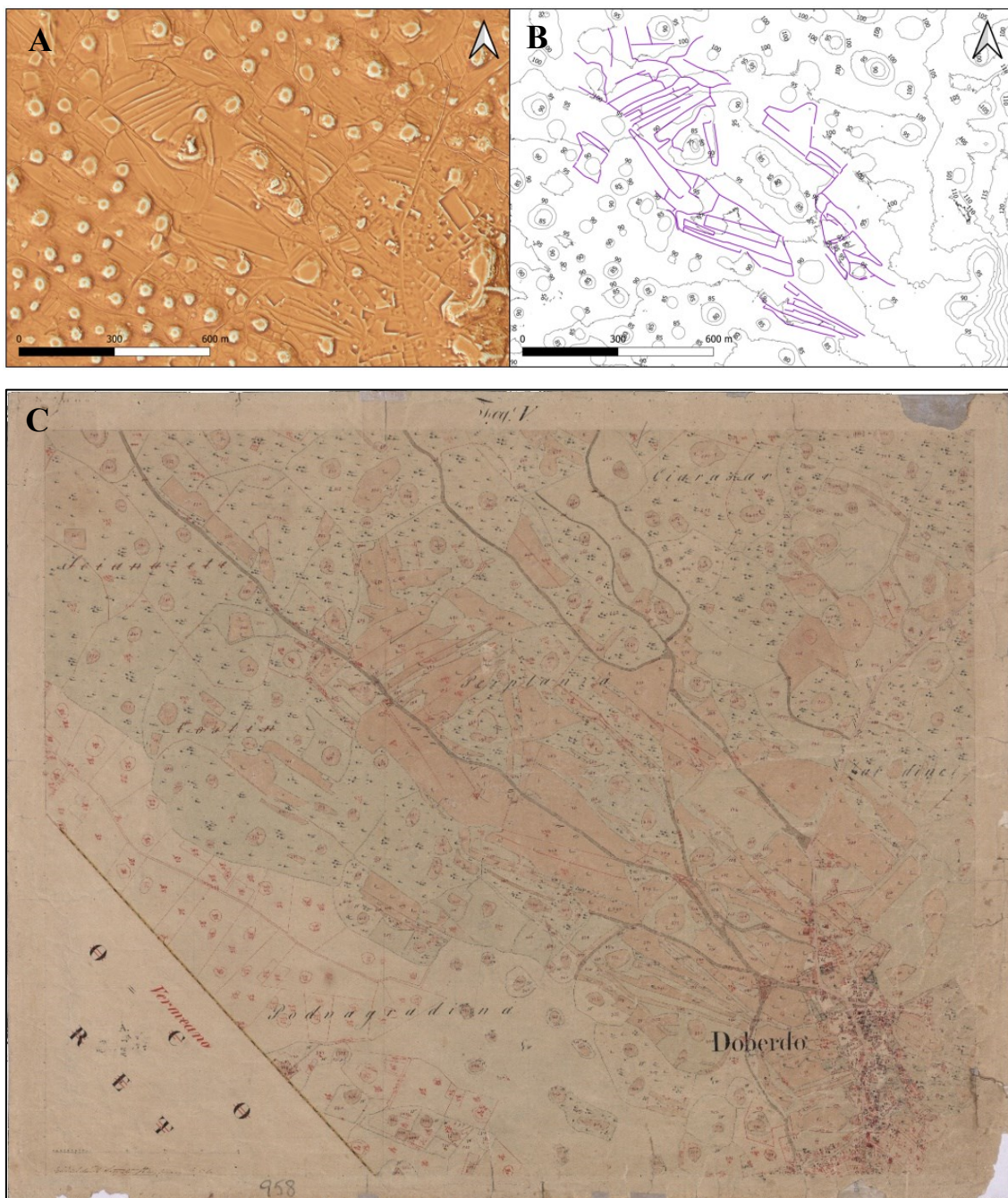


Figura 5.33: A) LRM dell'area: si intravedono le tracce delle divisioni di campi; B) Tracciatura delle divisioni di campi del Catasto Austriaco Franceschino, isoipse ogni 5 m; C) Mappa del Catasto Austriaco Franceschino (Archivio di Stato di Gorizia).

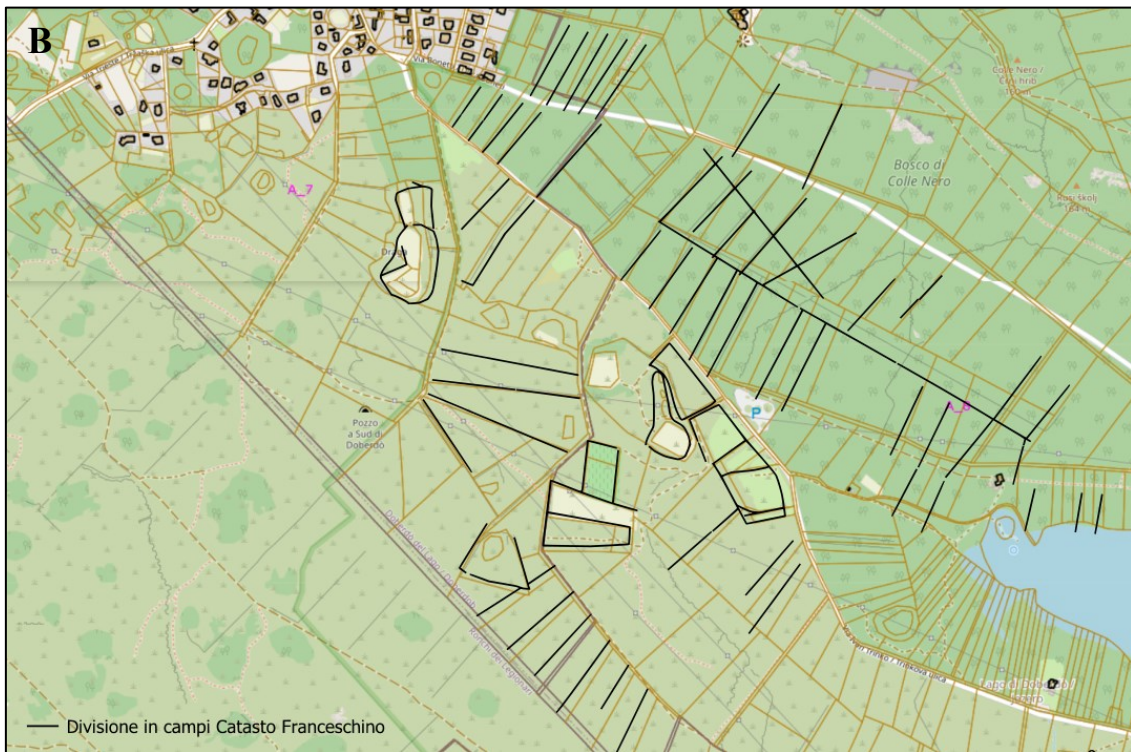
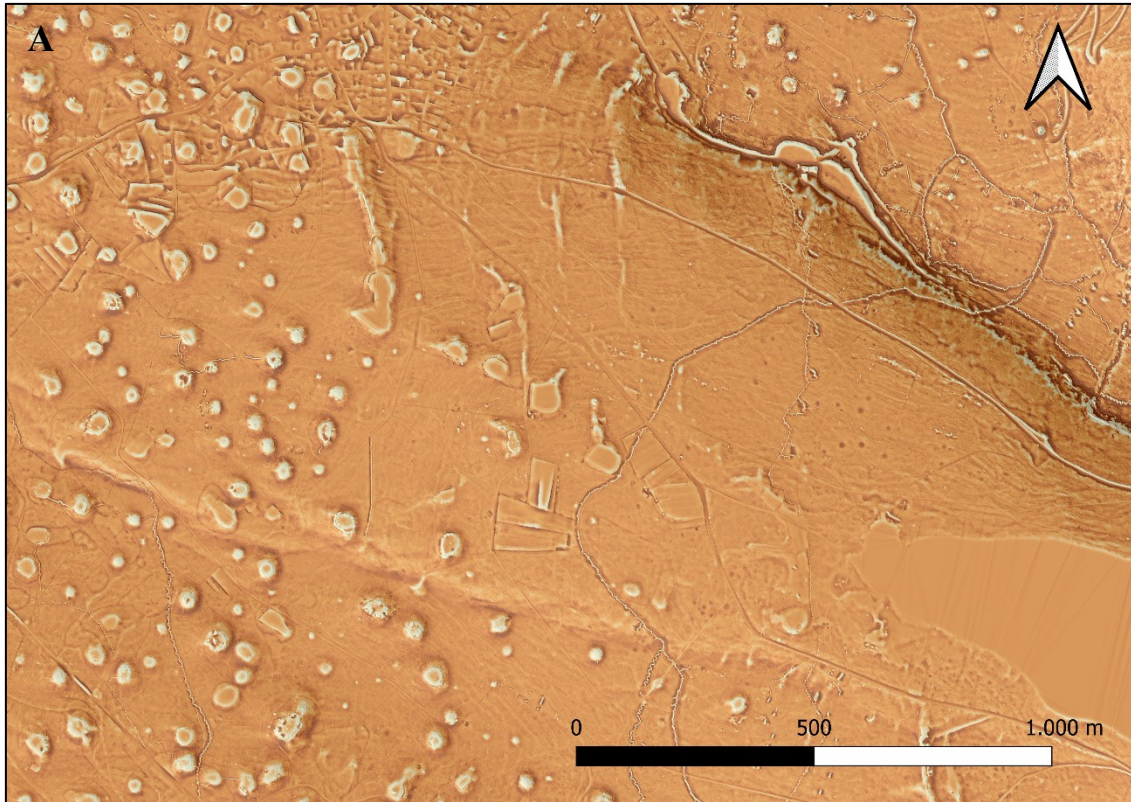


Figura 5.34: A) LRM dell'area: si intravedono le tracce delle divisioni di campi; B) Mappa realizzata con il software Inkscape: sovrapposizione tra la mappa ottenuta dal sito EagleFVG e le tracce disegnate sul DEM.

Nell'area a nord-ovest del paese di Doberdò del Lago sono state individuate tracce di divisioni di campi riscontrate sulle mappe del Catasto Franceschino. La Figura 5.33C rappresenta la mappa originale del Catasto, scaricata dall'Archivio di Stato di Gorizia. Questa è stata poi confrontata con l'area analizzata, da cui è emerso che alcune tracce fossero presenti anche sulla mappa originale. È stato possibile quindi attribuire all'inizio del XIX secolo queste strutture.

La seconda area (Figura 5.34), a sud-est di Doberdò del Lago, è stata confrontata con le particelle catastali disponibili sul sito *EagleFVG*, ovvero il catasto della regione Friuli Venezia Giulia.

5.7 TRINCEE E CRONOLOGIA DEL FRONTE TRA 1915-1917

Osservando la Figura 35B si può notare come il fronte si sia spostato di circa 3-4 km da ovest verso est durante le prime nove battaglie dell'Isonzo. Gli spostamenti più sostanziosi sono avvenuti tra la quarta (10 Novembre – 2 Dicembre 1915) e la quinta (9 – 15 Marzo 1916) battaglia dell'Isonzo, in cui il fronte è avanzato di circa 2 km.

Sempre osservando la Figura 35B è possibile notare come per le prime quattro battaglie dell'Isonzo ci sia una chiara sovrapposizione; riuscire poi a distinguere le linee di trincea appartenenti alle singole battaglie non è semplice, in quanto in questa zona il territorio è martoriato da scavi di trincee, tra quelle principali e quelle di collegamento. Anche la linea del fronte appartenente alla quinta e alla sesta battaglia sembra essere rispettata. È infatti è visibile nei dintorni del Lago di Doberdò una linea di trincee che riflette abbastanza bene l'andamento del fronte nell'immagine di sfondo. Le battaglie dalla settima alla nona sono visibili a sud est del Lago di Doberdò, in cui si osserva una fitta rete di trincee circa in prossimità della linea del fronte. Nella parte centrale dell'area analizzata, invece, sono presenti poche e sparse linee di trincea, come testimoniato anche dall'immagine dell'Associazione Nazionale Bersaglieri sezione M.O. "Luigi Sbaiz" Monfalcone.

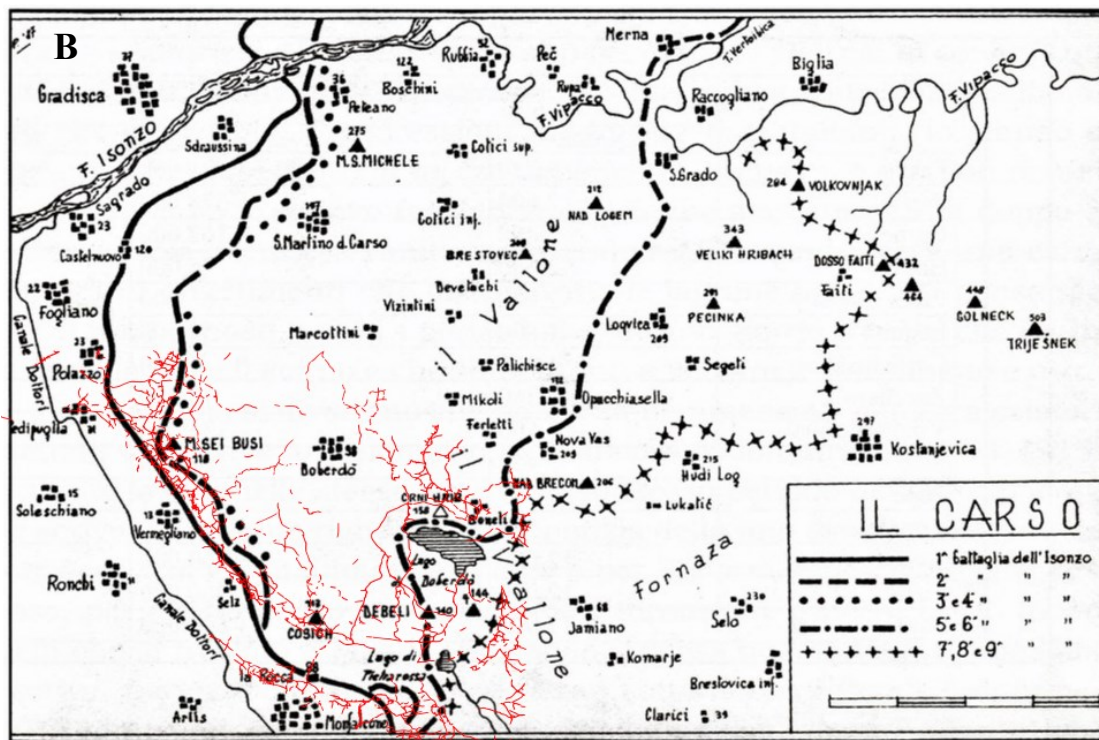
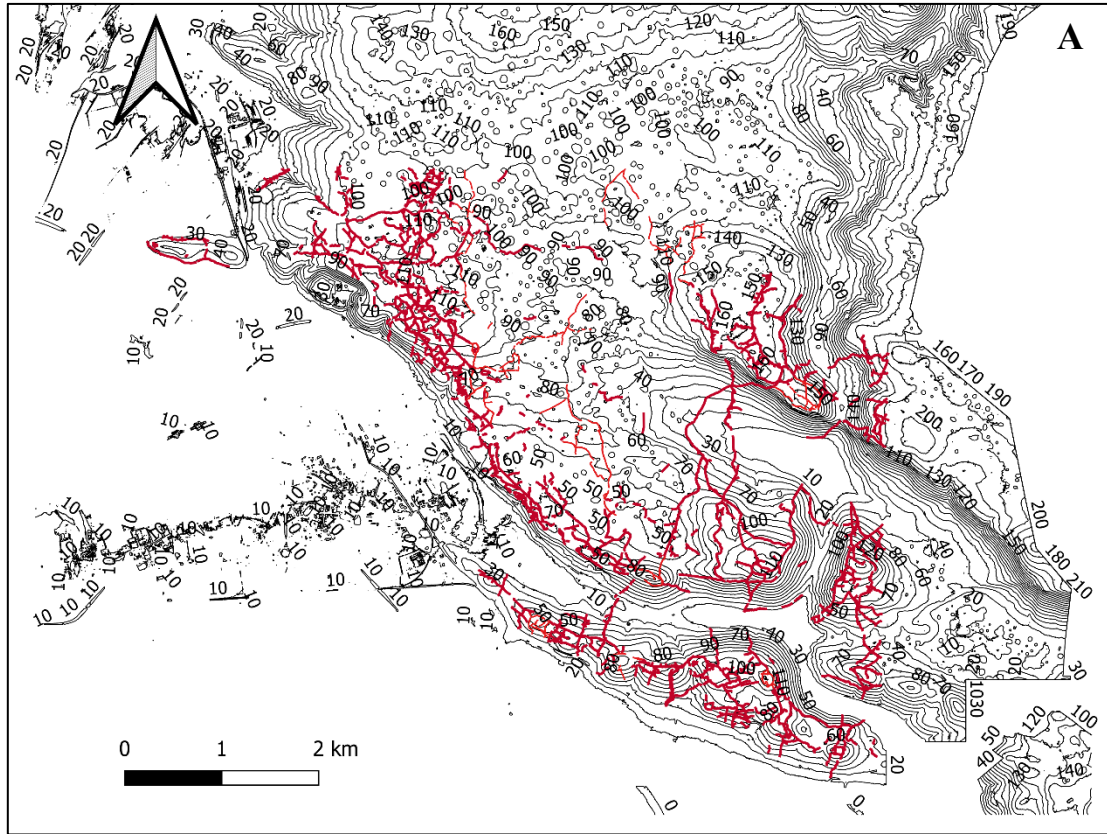


Figura 5.35: A) Mappa delle trincee del Carso Isontino meridionale tracciate con QGIS; B) Associazione Nazionale Bersaglieri sezione M.O. “Luigi Sbaiz” Monfalcone, a cui è stata sovrapposta l’immagine A con il software Inkscape per confrontare le tracce.

5.8 UTILIZZO DELLE DOLINE NEL TEMPO

Le doline sono state utilizzate dall'uomo fin dalla Preistoria e a partire dal Neolitico. Pur coprendo aree di dimensioni ridotte, le doline sono state utilizzate per l'agricoltura e nel recente passato erano degli "orti agricoli", in quanto bacini naturali di terreno fertile (Radinja, 1987). Sono inoltre eccellenti ripari dal vento (Novakovic, 1999). Accumulano terreno e hanno un grado maggiore di umidità, ma necessitano di ulteriori miglioramenti per essere utilizzate in modo efficiente per scopi agricoli. Le popolazioni del Carso chiamano "doline lavorate" quelle depressioni che venivano migliorate con varie azioni, ad esempio apportando terreno da altri luoghi, concimandolo e circondandole con muretti a secco (i cosiddetti "pastini" in dialetto triestino). In tal caso, se le doline erano coltivate anche dopo il primo conflitto mondiale, esse erano state bonificate da eventuali residuati bellici. I muretti avevano lo scopo di diminuire ulteriormente l'effetto dei venti e di proteggere le colture dagli animali, come pecore, capre e mucche, che altrimenti potevano brucare le piante (Novakovic, 1999). In seguito alla Seconda Guerra Mondiale, la maggior parte delle "doline lavorate" furono abbandonate a causa del grande sviluppo del settore terziario (Novakovic, 1999).

Nell'area di questo lavoro sono state identificate molte doline circondate da muretti, la Figura 5.36 ne riporta un esempio. In alcuni casi, sempre grazie al DEM, sono tutt'ora visibili tracce di campi all'interno delle doline stesse, questo testimonia il fatto che anche in questa zona del Carso molto spesso le doline venivano utilizzate per questo scopo.

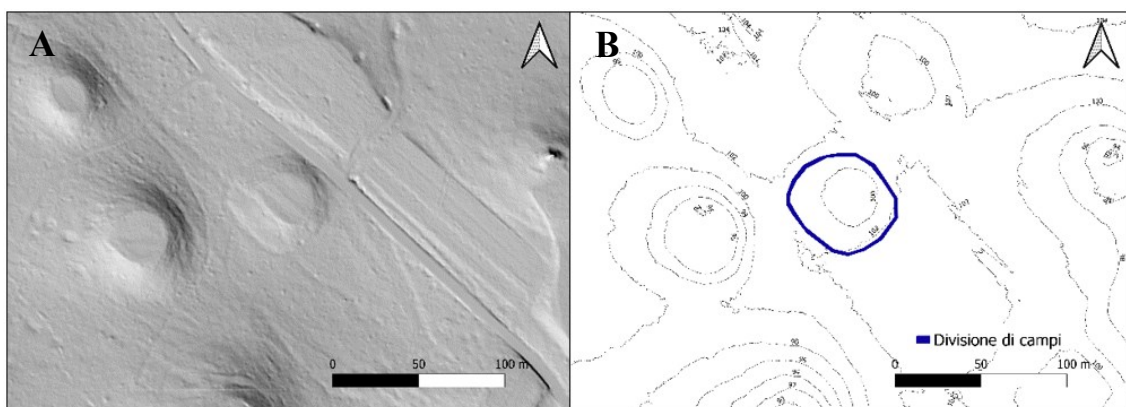


Figura 5.36: A) DEM non interpretato in cui sono visibili sia le doline che, nella parte centrale dell'immagine, una traccia circolare che delimita una dolina; B) Interpretazione della traccia che circonda la dolina in colore blu. Le isoipse sono tracciate ogni 2m.

In altri casi le doline sono sede di trincee (Figura 5.37) o strutture relative alla Prima Guerra Mondiale, in quanto potevano offrire riparo dall'artiglieria avversaria.

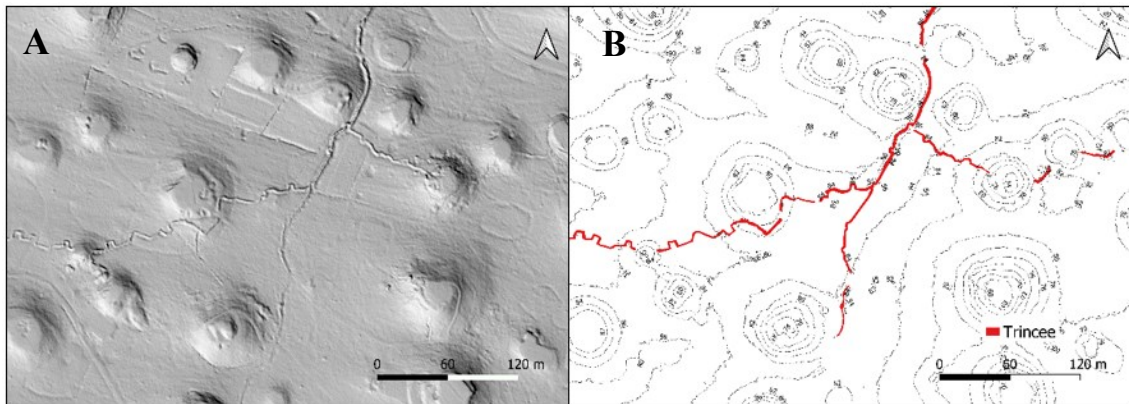


Figura 5.37: A) DEM non interpretato in cui sono visibili sia le trincee che le doline; B) Interpretazione delle trincee in colore rosso, che in alcuni casi attraversano le doline. Le isoipse sono tracciate ogni 2m.

6. DISCUSSIONE

L'utilizzo del LiDAR in studi geoarcheologici risulta fondamentale, in quanto consente di investigare vaste aree in tempi molto più brevi rispetto a ciò che richiederebbe il lavoro sul campo. Esso è quindi uno strumento di grande importanza che consente di produrre un gran numero di dati in qualsiasi condizione ambientale, senza risentire della presenza della vegetazione. Un altro dei principali aspetti positivi della tecnologia LiDAR è relativo al fatto che consente di avere una visuale a più vasto raggio di quella che offre il lavoro sul terreno; questo consente di esaminare in via preliminare l'area e decidere successivamente dove effettuare lo scavo archeologico. Il LiDAR risulta quindi essere uno strumento importantissimo per quanto riguarda le analisi preliminari, ovvero quelle che riguardano l'identificazione del palinsesto archeologico.

L'efficacia del LiDAR viene meno quando si passa all'interpretazione delle tracce. Questa parte è infatti risultata la più complessa del lavoro di tesi. Il lavoro sul campo, che può risultare lento nella parte preliminare, diventa invece fondamentale durante la fase di interpretazione. In questo caso, grazie al lavoro sul campo, si sarebbe forse potuto raccogliere dati di terreno che avrebbero consentito di fare datazioni più accurate o anche, in molti casi, di attribuire ad una data struttura una specifica funzione, eventualmente anche coadiuvati dal ritrovamento di manufatti. Tuttavia, considerando il paesaggio carsico, la resilienza e il riutilizzo di molte strutture, la datazione di muretti a secco o altre strutture è in genere molto difficoltosa. I metodi utilizzati in questo lavoro per poter fare datazioni si basano sulla letteratura archeologica e storica e sui rapporti di cronologia relativa fra le tracce, quando possibile. Se alcune aree analizzate in questo lavoro risulteranno agli archeologi zone di particolare interesse, allora il lavoro sul campo potrà dare informazioni aggiuntive.

Lo studio dell'area del Carso Isontino meridionale, tramite analisi di dati LiDAR, ha permesso di portare alla luce un gran numero di tracce antropiche precedentemente sconosciute, permettendo in alcuni casi di analizzare anche caratteristiche morfologiche ed eventuali possibili funzioni.

La letteratura ha permesso di attribuire alcune strutture presenti nell'area del Carso Isontino al periodo protostorico: si tratta dei castellieri, descritti inizialmente dal

Marchesetti (1903) e successivamente da Montagnari (1989). Per la stragrande maggioranza delle tracce presenti nell'area del Carso Isontino meridionale, invece, non vi sono studi precedenti. È possibile cercare somiglianze con tracce presenti nei territori limitrofi, come il Carso Triestino (Vinci et al., 2021; Bernardini et al., 2013), area molto più studiata e investigata del Carso Isontino, o come l'Istria croata (Kremenić et al., 2021) e slovena (Mlekuž, 2015).

La maggior parte delle tracce riscontrate nell'area sono da attribuire a linee di trincea, essendo l'area è stata sede di numerose battaglie durante la Grande Guerra; altre tracce riscontrate molto di frequente sono le divisioni agrarie, ovvero aree di dimensioni variabili delimitate da recinzioni o muretti a secco. Queste divisioni sono probabilmente attribuibili ad aree di coltivazione o a recinzioni per il pascolo degli animali.

Il periodo protostorico è sicuramente il più complesso da studiare e da interpretare a livello archeologico, in quanto molto spesso le tracce sono state obliterate dal cambiamento del paesaggio o perché, in epoche più recenti, vi si è costruito sopra o le strutture più antiche sono state parzialmente riadattate. Si osserva spesso, infatti, che i materiali delle strutture preesistenti vengano riciclati in periodi successivi. Nonostante ciò, il popolamento in epoca protostorica nell'area del Carso Isontino meridionale, come in gran parte del Carso, è accertato dalla letteratura, ed è quindi possibile che alcune tracce ritrovate siano effettivamente attribuibili a questo periodo.

In generale le uniche tracce associabili con relativa certezza a quest'epoca storica, come citato in precedenza, sono quelle dei castellieri: il castelliere di S.Polo, il castelliere di Forcate, Castellazzo di Doberdò e la Rocca di Monfalcone. La frequentazione del castelliere di S. Polo è attestata dal Bronzo Medio fino alla piena età del Ferro; il castelliere di Forcate è stato frequentato in un periodo avanzato dell'età del Ferro; Castellazzo di Doberdò è stato utilizzato dalla fine dell'età del Rame fino ad una fase avanzata dell'età del Ferro. Infine la Rocca di Monfalcone, attiva dall'età del Bronzo fino ad una prima fase dell'età del Ferro e successivamente utilizzata anche in epoche più recenti con opportuni restauri.

Tra le tracce individuate nel lavoro di tesi, alcune sono probabilmente ascrivibili al periodo protostorico, date le somiglianze riscontrate in altri lavori (Mlekuž, 2015; Vinci et al., 2021) di strutture relative a questo periodo. Si tratta delle cosiddette strutture a

“fiore” e a “lisca di pesce”. Le strutture a “fiore” sono tracce particolari che sono state riscontrate in tre casi differenti nell’area analizzata. Sono state trovate delle similitudini con tracce protostoriche nel Carso Sloveno, identificate in un lavoro di Mlekux (2015). Come si osserva in Figura 6.1 le due strutture presentano delle somiglianze nella loro forma, data da tracce circolari che convergono all’incirca in un punto centrale. Questo induce a pensare che entrambe le tracce risalgano al periodo protostorico.

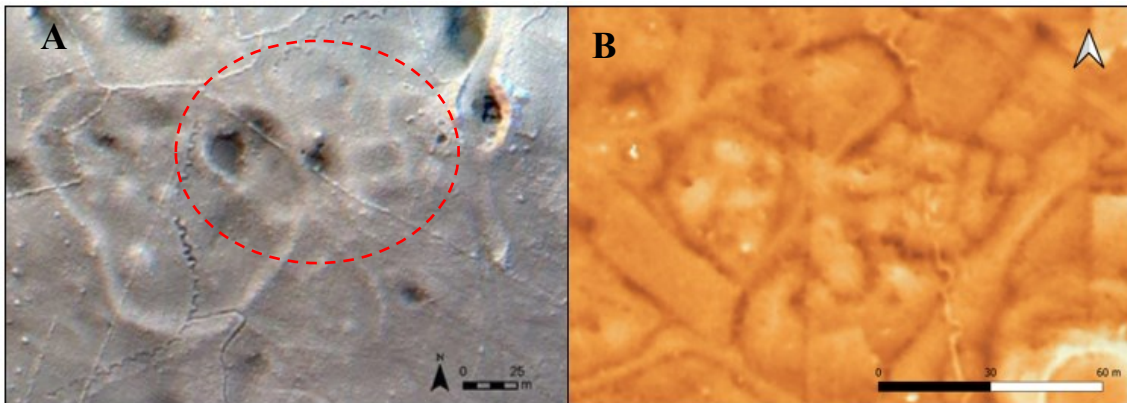


Figura 6.1: Tracce protostoriche a “fiore” A) Immagine di una traccia protostorica a “fiore” nel Carso Sloveno del lavoro di Mlekuz (2015); B) LRM non interpretato in cui è visibile la struttura a “fiore”, situata nell’area del Carso Isontino meridionale.

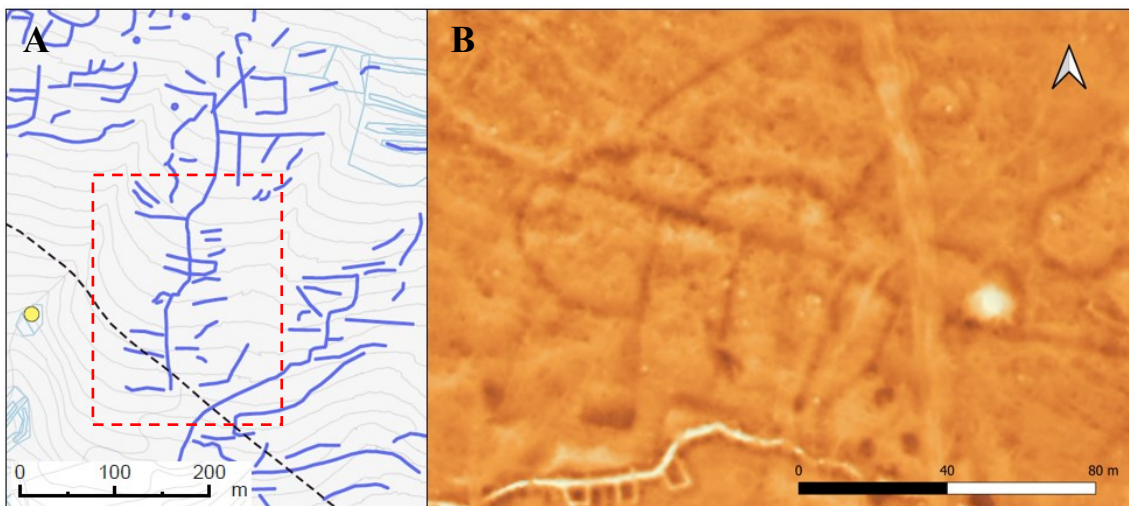


Figura 6.2: A) Rappresentazione grafica di una traccia con forma simile a quella a “lisca di pesce”, mappata nel Carso Triestino (Vinci et al., 2021) B) LRM non interpretato in cui è visibile la struttura a “lisca di pesce”, situata nell’area del Carso Isontino meridionale.

Le tracce a “lisca di pesce” sono invece caratterizzate da una linea retta centrale, da cui si diramano altre linee perpendicolari, più o meno rettilinee. Questa particolare struttura è stata riscontrata tre volte nell’area analizzata ed è stata confrontata con una struttura indicata protostorica in un lavoro di Vinci e Bernardini (2021). Nonostante le due tracce abbiano dimensioni diverse, la loro morfologia è molto simile. Nel lavoro preso come riferimento viene analizzata una zona del Carso Triestino, che riporta spesso molte similitudini con il Carso Isontino (Figura 6.2).

Un'altra tipologia di traccia che può essere attribuita a questo periodo è quella relativa ai cosiddetti campi cimiteriali esaminati nel lavoro di Mlekuž (2015) e che riguardano gruppi di cumuli di pietre interpretati come possibili tumuli funerari di piccole dimensioni. Per quanto riguarda quest’ultima asserzione andranno fatte verifiche in futuro, in quanto potrebbe trattarsi di cumuli lasciati dalla tecnica di spietramento.

In epoca romana l’area del Carso Isontino è stata molto frequentata, data la vicinanza con la città di Aquileia, che in epoca imperiale era una delle maggiori città. Secondo studi precedenti alcuni castellieri protostorici dell’area sono stati riutilizzati anche in epoca romana, probabilmente come fortezze militari. La zona, essendo una zona di confine e di transito verso l’Europa Orientale, era sempre soggetta a rischio di invasione e quindi necessitava di un maggior controllo, specie nelle fasi iniziali di espansione del dominio di Roma, e poi nelle fasi finali. L’unica traccia geoarcheologica mappata che potrebbe essere associata al periodo romano è la traccia di centuriazione. Anche in questo caso andranno fatte opportune analisi sul campo per confermare o meno questa ipotesi.

Dell’epoca medievale l’unica testimonianza rimasta in questa zona è data dalla Rocca di Monfalcone, in cui sono stati rinvenute ceramiche datate a questo periodo storico.

Le tracce associabili al periodo moderno sono state riconosciute grazie alle carte del Catasto Austriaco Franceschino, un archivio storico creato dall’Imperatore Francesco I, nel 1817. Le tracce mappate sono state trovate in prossimità della cittadina di Doberdò del Lago, a nord-ovest di quest’ultima. Le divisioni agrarie moderne hanno una forma principalmente squadrata ed erano luoghi adibiti all’agricoltura. Alcune tracce di questi campi sono chiaramente visibili anche nelle immagini satellitari disponibili su Google Earth e in alcuni casi questi campi sono utilizzati ancora oggi per lo stesso scopo, questo

è il caso dei campi di età moderno-contemporanea identificati grazie alle particelle catastali presenti sul siro *EagleFVG*, nell'area a sud-est di Doberdò del Lago.

Il periodo contemporaneo è quello che riporta più tracce certe: si tratta principalmente di linee di trincea, associabili all'avanzamento del fronte durante le prime nove Battaglie dell'Isonzo della Prima Guerra Mondiale.

Un ulteriore dato che è emerso da questo lavoro è quello relativo al frequente utilizzo delle doline nella zona per scopi agricoli: le doline rappresentano luoghi molto adatti alla coltivazione, grazie al fatto che sono gli unici luoghi dell'area dove sia presente del terreno coltivabile. Si è visto infatti come in molti casi le doline siano circondate da possibili muretti a secco. Queste sono le cosiddette "doline lavorate", che venivano recintate per proteggere le colture dagli animali e dal vento e al loro interno spesso si riportava terra prelevata da altre zone.

Osservare la sovrapposizione delle tracce è un buon metodo per fare delle datazioni, seppure a volte approssimative. In molti casi le linee di trincea tagliano altre strutture, e questo consente di avere la certezza che la struttura tagliata sia precedente alla Prima Guerra Mondiale. Essendo presenti molte trincee, questo tipo di sovrapposizione è abbastanza frequente. Nella quasi totalità le tracce geoaologiche mappate sono antecedenti alla Grande Guerra.

La maggior parte delle tracce geoaologiche mappate ed esaminate nell'area del lavoro di tesi appartiene alla categoria divisione di campi. Questi spazi sono rappresentati da strutture caratterizzate da aree e forme diverse tra loro. Si trovano sia in *cluster*, dove le forme prevalenti sono di piccole dimensioni, o anche come forme singole, in questo caso solitamente di dimensioni maggiori circa dai 90 ai 150 metri di diametro. Le tracce isolate hanno principalmente forme circolari o semi-circolari, mentre i *cluster* hanno forme molto più variabili, da circolari a quadrate.

7. CONCLUSIONI

Il lavoro di tesi si è concentrato nel settore meridionale del Carso Isontino, delimitato a ovest dal fiume Isonzo e a est dal confine italo-sloveno, coprendo un'area di circa 26 km². Questa zona è interessata da persistenti fenomeni carsici, che hanno plasmato il paesaggio e creando morfologie caratteristiche.

Lo scopo di questo lavoro era quello di mettere in evidenza il complesso palinsesto archeologico dell'area meridionale del Carso Isontino grazie alla realizzazione di una carta geoarcheologica, obiettivo che è stato raggiunto. Sebbene la zona fosse stata già studiata in passato, la tecnologia LiDAR ha consentito di studiare vaste zone in tempi molto più brevi, permettendo di realizzare DTM ad alta risoluzione, che hanno consentito di investigare efficacemente il territorio anche dove risulta coperto dalla vegetazione. Sono infatti emerse un gran numero di tracce legate all'uso del suolo nel passato che, in alcune aree, sono risultate anche significativamente più abbondanti di quelle si era ipotizzato sulla base della cartografia topografica e delle immagini aeree.

Proprio per il gran numero di tracce individuate il lavoro si è rivelato più complesso di quanto previsto. Si sono identificate strutture con forme molto variabili tra loro, a cui in molti casi è stato difficile assegnare una categoria e un'età ben definita. Le strutture di più facile associazione sono le trincee appartenenti alla Prima Guerra Mondiale. Queste infatti hanno una caratteristica morfologia “dentellata” o “a zig-zag” che permette di distinguerle facilmente da tutte le altre strutture. La presenza di un gran numero di trincee in questa zona era infatti prevedibile, dato che essa è stata luogo di numerose battaglie durante la Grande Guerra. Sono note infatti le dodici battaglie dell'Isonzo, di cui le prime nove si combatterono proprio nell'area presa in esame in questo lavoro. Le trincee mappate nell'area sono state confrontate con una mappa che rispecchia il reale spostamento del fronte durante queste battaglie

Tra le tracce differenti da quelle associabili a trincee e fortificazioni della Prima Guerra, le più numerose e interessanti appartengono alla categoria che è stata definita “divisione di campi”, ovvero corrispondono verosimilmente ai resti di muretti a secco edificati nel passato per scopi agro-pastorali. In particolare si dovrebbe trattare di suddivisioni che demarcano le proprietà e/o proteggevano le coltivazioni, sia dalle intemperie che dagli

animali. Le attività agricole e pastorali erano molto comuni in passato, in quanto questi rappresentavano la fonte primaria di sostentamento della popolazione ed è quindi normale che la maggior parte delle tracce sia attribuibile a questa categoria.

Del periodo protostorico sono noti i castellieri S. Polo, Forcate, Castellazzo di Doberdò e la Rocca di Monfalcone, che sono certamente attribuibili a questo periodo storico, come dimostrato da diversi lavori precedenti, tra cui spiccano quello di Marchesetti (1903) e di Montagnari (1989). Un nuovo dato emerso dal lavoro effettuato su Castellazzo di Doberdò è relativo alla presenza di tracce sconosciute all'interno della sua cinta muraria perimetrale. Queste risultano poco visibili anche tramite LiDAR, lasciando supporre che siano state molto rielaborate in tempi moderni e per le attività belliche e che potrebbe supportare la tesi che si tratti di tracce molto antiche, quindi protostoriche. Queste sembrano avere un'orientazione preferenziale NW-SE, anche se per alcune, come quelle più rettilinee, questa orientazione potrebbe riflettere la giacitura delle testate degli strati calcarei del colle. Gli elementi riconosciuti potrebbero rappresentare divisioni interne al castelliere, probabilmente divisioni di campi o abitazioni. Futuri studi sul campo potranno chiarire questo particolare aspetto.

Anche altre tracce geoarcheologiche sono probabilmente associabili al periodo protostorico. Si tratta delle strutture a “fiore” e a “liscia di pesce”, entrambe riscontrate tre volte nell'area analizzata. Queste sono somiglianti a simili strutture individuate da due studi precedenti che si sono concentrati nella zona del Carso Sloveno (Mlekuž, 2015) e Triestino (Vinci et al., 2021). In entrambi gli studi le tracce sono datate al periodo protostorico, ed è quindi possibile che anche quelle esaminate in questo lavoro di tesi facciano riferimento allo stesso periodo. Alcune tracce analizzate sono rappresentate da cumuli di piccole dimensioni e per alcuni di essi potrebbe trattarsi di tumuli funerari protostorici. Potrebbe però anche trattarsi più semplicemente di cumuli derivati dalla tecnica di spietramento e, quindi, anche in questo caso il lavoro sul campo potrebbe chiarire ogni dubbio.

È noto che in epoca romana la zona del Carso Isontino, date le vicinanza alla cittadina di Aquileia, fosse stata popolata. Alcuni castellieri dell'età del Bronzo sono stati pertanto riutilizzati dai Romani come fortezze militari. Dall'area analizzata è emersa una traccia

di un possibile relitto del reticolo di centuriazione, ma anche in questo caso serviranno opportune verifiche sul campo per constatare o meno questa ipotesi.

Le divisioni di campi moderne sono state riconosciute tramite il confronto con il Catasto Austriaco Franceschino, le cui immagini sono ottenibili dall'Archivio di Stato di Gorizia. Questo tipo di tracce è ben evidente nei pressi della cittadina di Doberdò Del Lago, dove esse hanno una forma principalmente squadrata ed marcavano zone adibite principalmente all'agricoltura.

Da un punto di vista geomorfologico l'area del Carso Isontino è caratterizzata da una grande quantità di doline. Queste, oltre ad essere morfologie di interesse geologico, si sono rivelate di grande importanza anche in studi storici-archeologici. Si è visto come molto spesso le doline fossero recintate ed utilizzate come campi coltivabili, grazie al loro terreno particolarmente fertile. In altri casi ne è stato osservato un frequente uso durante la Prima Guerra Mondiale, come luogo di riparo dall'artiglieria avversaria. Questo non esclude che, in alcuni casi, le doline possano contenere reperti archeologici anche molto più antichi.

Da questo lavoro, grazie all'utilizzo del LiDAR, sono quindi emerse un gran numero di tracce precedentemente sconosciute. Così i risultati ottenuti consentono di avere una visione più chiara di tutte le tracce antropiche antiche presenti nell'area, che oggi sono in buona parte coperte dalla vegetazione. La mappa geoarcheologica realizzata potrà consentire in futuro di effettuare mirate campagne di scavo che potranno chiarire questo complesso palinsesto archeologico da un punto di vista cronologico e di funzionalità.

8. BIBLIOGRAFIA

- Antonelli, F., Bernardini, F., Capedri, S., Lazzarini, L., & Kokelj, E. M. (2004). Archaeometric study of protohistoric grinding tools of volcanic rocks found in the Karst (Italy–Slovenia) and Istria (Croatia). *Archaeometry*, 46(4), 537-552.
- Arun, P. V. (2013). A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(2), 133-139.
- Bailey, G. (2007). Time perspectives, palimpsests and the archaeology of time. *Journal of anthropological archaeology*, 26(2), 198-223.
- Bakker, J. A. (1976). On the possibility of reconstructing roads from the TRB period. *Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek Amersfoort*, 26, 63-91.
- Bandelli, G. (2004). Momenti e forme nella politica illirica della repubblica romana (229-49 aC). *Dall'Adriatico al Danubio: L'Illirico nell'età Greca e Romana*, 95-139.
- Barnes, I. (2003). Aerial remote-sensing techniques used in the management of archaeological monuments on the British army's Salisbury Plain training area, Wiltshire, UK. *Archaeological prospection*, 10(2), 83-90.
- BC-CARMS 2006: *LiDAR – overview of technology, applications, market features and Vindustry*. Victoria, BC: Centre for Applied Remote Sensing, Modelling and Simulation, University of Victoria.
- Belluno, E. (2016). La rocca di Monfalcone. *Antichità Altoadriatiche*.
- Bernardini, F., Sgambati, A., Kokelj, M. M., Zaccaria, C., Micheli, R., Fragiaco, A., & De Min, A. N. G. E. L. O. (2013). Airborne LiDAR application to karstic areas: The example of Trieste province (north-eastern Italy) from prehistoric sites to Roman forts. *Journal of Archaeological Science*, 40(4), 2152-2160.
- Bernardini, F., Vinci, G., Horvat, J., De Min, A., Forte, E., Furlani, S., ... & Tuniz, C. (2015). Early Roman military fortifications and the origin of Trieste, Italy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(13), E1520-E1529.

- Bernardini, F. (2019). Fortificazioni militari repubblicane nell'area di Trieste (Italia nord-orientale): materiali archeologici da Grociana piccola e San Rocco rinvenuti nel corso della prima campagna di ricognizioni. In *Accampamenti, guarnigioni e assedi durante la seconda guerra punicae la conquista romana (III-I sec. aC): prospettive archeologiche* (pp. 139-153). Edizioni Quasar di S. Tognon srl.
- Bernardini, F., & Duiz, A. (2021). *Oltre Aquileia. La conquista romana del Carso (II-I secolo a. C.)*. EUT Edizioni Università di Trieste.
- Bernardini, F., Horvat, J., Vinci, G., Berden, T., Lavrenčič, L., Liccioli, L., & Lubritto, C. (2021). Grociana piccola: A rare example of Republican military fortifications in Italy. *Journal of Roman Archaeology*, 34(2), 695-712.
- Biolchi, S., Furlani, S., Covelli, S., Busetti, M., & Cucchi, F. (2016). Morphoneotectonics and lithology of the eastern sector of the Gulf of Trieste (NE Italy). *Journal of Maps*, 12(5), 936-946.
- Bonacci, O. (2013). Poljes, ponors and their catchments. In: *Treatise of Geomorphology: Karst Geomorphology*, vol. 6 (ed. A. Frumkin), 112–120. Amsterdam: Elsevier.
- Borgna, E., Càssola Guida, P., Corazza, S., Mihovilić, K., & Tasca, G. (2018). Il Caput Adriae tra Bronzo Finale e antica età del ferro. *Il Caput Adriae tra Bronzo Finale e antica età del ferro*, 97-118.
- Borgna, E., Cassola Guida, P., Mihovilić, K., Tasca, G., & Teržan, B. (2018). Il Caput Adriae tra Bronzo Antico e Bronzo Recente. *Il Caput Adriae tra Bronzo Antico e Bronzo Recente*, 75-95.
- Boscarol, C. (2007). Il comparto nord orientale del Friuli Venezia Giulia tra Neolitico e Bronzo antico: aspetti di viabilità e di economia pastorale.
- Boschian, G., & Montagnari-Kokelj, E. (2000). Prehistoric shepherds and caves in the Trieste Karst (Northeastern Italy). *Geoarchaeology: An International Journal*, 15(4), 331-371.
- BOSIO, L. (1987). Sentieri e piste protostoriche nell'area dell'attuale Friuli. *Archeologia Veneta*, 10, 7-20.

- Brierley, G. J. (2010). Landscape memory: the imprint of the past on contemporary landscape forms and processes. *Area*, 42(1), 76-85.
- Buften, J. L., Garvin, J. B., Cavanaugh, J. F., Ramos-Izquierdo, L. A., Clem, T. D., & Krabill, W. B. (1991). Airborne lidar for profiling of surface topography. *Optical Engineering*, 30(1), 72-78.
- Butzer, K. W. (1982). *Archaeology as human ecology: method and theory for a contextual approach*. Cambridge University Press.
- Celka, S. M., & Borgna, E. (2011). *Ancestral Landscapes: Burial mounds in the Copper and Bronze Ages (Central and Eastern Europe, Balkans, Adriatic, Aegean, 4th-2nd millennium BC)* (Vol. 58). MOM Editions.
- Clevis, Q., Tucker, G. E., Lock, G., Lancaster, S. T., Gasparini, N., Desitter, A., & Bras, R. L. (2006). Geoarchaeological simulation of meandering river deposits and settlement distributions: A three-dimensional approach. *Geoarchaeology: An International Journal*, 21(8), 843-874.
- Corazza S., Calosi M., 2011. Il più antico abitato murato, in G. Pin, La città murata di Monfalcone, Mariano del Friuli (Gorizia), pp. 14-31.
- Cowen, D. J. (1990). GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?. In *Introductory readings in geographic information systems* (pp. 70-80). CRC Press.
- Crevaschi, M. (2000). *Manuale di geoarcheologia*. Laterza.
- Cucchi, F. 58. Forme del carsismo classico
- Cucchi F. & Zini L. (2007) - I caratteri idrogeologici del Carso – L'acqua nelle aree carsiche in Italia. *Monografia Memorie dell'Istituto Italiano di Speleologia*, vol. XIX.(Serie II).
- Cucchi, F., Zini, L., & Calligaris, C. (2012). Il Carso Classico, inquadramento geografico e storico. EUT Edizioni Università di Trieste.
- Cucchi F. & Piano C. (2013) - Carta geologica del Carso Classico (tratta dalla Carta di sintesi geologica alla scala 1:10.000 – Progetto GEO-CGT) e Brevi Note Illustrative della Carta Geologica del Carso Classico Italiano. *Direzione centrale ambiente energia e politiche per la montagna, Servizio Geologico*,

Regione Autonoma FVG, 1-50.

- Cucchi, F., Piano, C., Fanucci, C. F., Pugliese, N., & Tunis, G. (2013). Brevi note illustrative della carta geologica del Carso Classico Italiano. *Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia*.
- Cucchi, F., Biolchi, S., Zini, L., Jurkovsek, B., & Kolar Jurkovsek, T. (2015). Geologia e Geomorfologia del Carso Classico (Geologija in geomorfologija klasičnega Krasa). In *Le acque del Carso Classico/Vodonosnik Klasičnega Krasa* (pp. 23-38). EUT–Edizioni Università di Trieste.
- Cucchi, F., & Finocchiaro, F. (2017). Karst landforms in Friuli Venezia Giulia: From alpine to coastal karst. *Landscapes and landforms of Italy*, 147-156.
- Cucchi, F., Montagnari Kokelj M., Muscio G., Visentini P., & Zini L. (2024) Grotte preistoriche del Friuli Venezia Giulia.
- De Waele, J., & Gutiérrez, F. (2022). *Karst hydrogeology, geomorphology and caves*.
- Degrassi, D. (2004). Attraversando le Alpi orientali: collegamenti stradali, traffici e poteri territoriali (IX-XIII secolo). In *Le Alpi medievali nello sviluppo delle regioni contermini* (pp. 123-147). GISEM-Liguori Editore.
- Desio, A. (1922). Le variazioni della foce del fiume Isonzo. *Riv. Geogr. Ital*, 10-11.
- Dictionary, O. E. (1989). Oxford english dictionary. *Simpson, Ja & Weiner, Esc*, 3.
- Doneus, M., Briese, C., Fera, M., & Janner, M. (2008). Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science*, 35(4), 882-893.
- Doneus, M., Neubauer, W., Filzwieser, R., & Sevara, C. (2022). Stratigraphy from topography II. The practical application of the Harris Matrix for the GIS-based spatio-temporal archaeological interpretation of topographical data. *Archaeologia Austriaca*.
- Ferrarese, F., & Sauro, U. (2001). Le doline: aspetti evolutivi di forme carsiche emblematiche. *Le Grotte d'Italia*, 2(2), 25-38.
- Ford, D.C. and Williams, P.W. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Chichester, UK: Wiley.

- Frisia, S., & Borsato, A. (2010). Karst. *Developments in sedimentology*, 61, 269-318.
- Furlani, S. (2008). Studi sulla dissoluzione carsica e sui condizionamenti geologici nella carsogenesi.-Acquisizione ed elaborazione di dati MEM e+ t-MEN per la misura della consumazione delle rocce carbonatiche.
- Furlani, S., Cucchi, F., Forti, F., & Rossi, A. (2009). Comparison between coastal and inland Karst limestone lowering rates in the northeastern Adriatic Region (Italy and Croatia). *Geomorphology*, 104(1-2), 73-81.
- Gabba, E. (1985). Per un'interpretazione storica della centuriazione romana. *Athenaeum*, 63, 265.
- Gams, I. (1978). The polje: the problem of definition. *Zeitschrift für Geomorphologie* 22: 170–181.
- Gherlizza, F., & Radacich, M. (2018). Notizie sui siti archeologici del Carso triestino e goriziano nelle grotte usate durante la Prima guerra mondiale. *Notizie sui siti archeologici del Carso triestino e goriziano nelle grotte usate durante la Prima guerra mondiale*.
- Gisotti, G. (2003). La cultura della pietra a secco. *Geologia dell'Ambiente. Periodico SIGEA*, 4, 5-19.
- Gökkaya, E., Gutiérrez, F., Ferk, M. et al. (2021). Sinkhole development in the Sivas gypsum karst. Turkey. *Geomorphology* 386: 107746.
- Goudie, A., & Viles, H. (2010). *Landscapes and geomorphology: a very short introduction*. OUP Oxford.
- Guida, P. C., & Calosi, M. (Eds.). (2011). *Una sepoltura monumentale dell'antica età del Bronzo: il tumulo di Sant'Osvaldo (Udine); scavi 2000-2002*. Quasar.
- Harris, E. C. (1975). The stratigraphic sequence: a question of time. *World archaeology*, 109-121.
- Härtel, R. (2001). I conti di Gorizia e il Friuli del Medioevo centrale. *Tavano, Sergio (a cura di), I Goriziani nel medioevo. Conti e cittadini. Gorizia: Libreria Editrice Goriziana*, 49-121.
- Hengl, T., & Reuter, H. I. (Eds.). (2008). *Geomorphometry: concepts, software, applications*. Newnes.

- Hesse, R. (2015). 5.5 Using lidar-derived Local Relief Models (lrm) as a new tool for archaeological prospection. *Landscape Archaeology between Art and Science*, 369.
- Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S. (2005). An introduction to geographical information systems. *Zarządzanie Publiczne. Zeszyty Naukowe Instytutu Spraw Publicznych Uniwersytetu Jagiellońskiego*, (1).
- Horvat, J. (1999). Roman provincial archaeology in Slovenia following the year 1965: settlement and small finds. *Arheološki vestnik*, 50.
- Horvat, J. (2002). The hoard of Roman Republican weapons from Grad near Šmihel. *Arheološki vestnik*, 53.
- Horvat, J. (2008). *The beginning of Roman commerce along the main route Aquileia-Emona*.
- Horvat, J. (2009). Selected aspects of Romanisation in western and central Slovenia. *Antichità Altoadriatiche*.
- Hunt, K., & Royall, D. (2013). A LiDAR-based analysis of stream channel cross section change across an urban–rural land-use boundary. *The Professional Geographer*, 65(2), 296-311.
- Iacono, F., Borgna, E., Cattani, M., Cavazzuti, C., Dawson, H., Galanakis, Y., & Risch, R. (2022). Establishing the middle sea: the late bronze age of Mediterranean Europe (1700–900 BC). *Journal of Archaeological Research*, 30(3), 371-445.
- Johnson, M. (2008). *Ideas of landscape*. John Wiley & Sons.
- Johnson, K. M., & Ouimet, W. B. (2018). An observational and theoretical framework for interpreting the landscape palimpsest through airborne LiDAR. *Applied geography*, 91, 32-44.
- Jurkovšek, B., Biolchi, S., Furlani, S., Kolar-Jurkovšek, T., Zini, L., Jež, J., & Cucchi, F. (2016). Geology of the classical karst region (SW Slovenia–NE Italy). *Journal of Maps*, 12(sup1), 352-362.
- Krabill, W. B., Collins, J. G., Link, L. E., Swift, R. N., & Butler, M. L. (1984). Airborne laser topographic mapping results. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 50(6), 685-694.

- Kremenić, T., Andlar, G., & Varotto, M. (2021). How did sheep save the day? The role of dry stone wall heritage and agropastorality in historical landscape preservation. A case-study of the town of cres olive grove. *Land*, 10(9), 978.
- Ladefoged, T. N., McCoy, M. D., Asner, G. P., Kirch, P. V., Puleston, C. O., Chadwick, O. A., & Vitousek, P. M. (2011). Agricultural potential and actualized development in Hawai'i: an airborne LiDAR survey of the leeward Kohala field system (Hawai'i Island). *Journal of Archaeological Science*, 38(12), 3605-3619.
- Lemmens, M. 2007: Airborne LiDAR sensors. *GIM International* 21(2), 24–27.
- Liu, X. (2008). Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. *Progress in physical geography*, 32(1), 31-49.
- Longley, P. A., & Cheshire, J. A. (2017). Geographical information systems. In *The Routledge Handbook of Mapping and Cartography* (pp. 251-258). Routledge.
- Luisa Palumbo (2017). Studio morfometrico delle forme epigee del Carso Isontino tramite analisi di dati derivati da LiDAR. Tesi di laurea inedita di Geologia e Geologia Tecnica presso l'Università degli studi di Padova
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, 62(1), 3-65.
- Mallegni, F., Bertoldi, F., & Carnieri, E. (2002). New Middle Pleistocene human remains from Northern Italy. *Homo*, 52(3), 233-239.
- Marchesetti C (1903) I castellieri preistorici di Trieste e della Regione Giulia. Atti del Museo Civico di Storia Naturale di Trieste 4:1–206
- Marchesetti C., 1907a. Relazione sugli scavi paleontologici eseguiti nel 1904 dal dr. Carlo Marchesetti. *Boll. Soc. Adr. Sci. Nat. Trieste*, 23: 233-235.
- Massey, D. B. (2005). For space. *For space*, 1-232.
- Mihovilić, K. (2013). Castellieri-Gradine of the northern Adriatic.
- Milanović, P.T. (2002). The environmental impacts of human activities and engineering constructions in karst regions. *Episodes* 25: 13–21.
- Mizzan S. 1989, *San Polo*, in Montagnari Kokelj E. (a cura di), *Il Carso goriziano tra protostoria e storia. Da Castellazzo a S. Polo*, Catalogo

- Mlekuž, D. (2013). Messy landscapes: lidar and the practices of landscaping. *Interpreting archaeological topography. 3D data, visualisation and observation. AARG Occasional Paper. Oxford: Oxbow Books*, 88-99.
- Mlekuž, D. (2013). Skin Deep: LiDAR and Good Practice of Landscape Archaeology. Good Practice in Archaeological Diagnostics, Non-invasive survey of complex archaeological sites. Ed. by Cristina Corsi, Bozidar Slapsak, and Frank Vermeulen.
- Mlekuž, D. (2015). Oblike prazgodovinske poljske razdelitve na Krasu. *Kronika*, 63(3), 675-690.
- Montagnari, E. (1981). Appunti per una storia degli studi sulla “cultura di Lubiana”. *Atti dei Civici musei di storia ed arte di Trieste*, 12, 13-36.
- Montagnari, E. (1989). Il Carso goriziano tra Protostoria e Storia. Da Castellazzo a San Polo.
- Montagnari, E. (1994). Il Carso Triestino fra tardo neolitico e bronzo antico. In *Preistoria e Protostoria del Friuli-Venezia Giulia e dell'Istria. Atti della XXIX Riunione Scientifica dell'IIPP, 28-30 settembre 1990* (pp. 71-89). Istituto italiano di Preistoria e Protostoria.
- Mukai, T., Nakamura, A. M., & Sakai, T. (2006). Asteroidal surface studies by laboratory light scattering and LIDAR on HAYABUSA. *Advances in Space Research*, 37(1), 138-141.
- Novakovic, P., Simoni, H., & Music, B. (1999). Karts Dolinas: Evidence of Population Pressure and Exploitation of Agricultural Resources in Karstic Landscapes. *G. Barker and D. Mattingly, series eds.-P. Leveau, F. Tremont and G. Barker, eds., The Archaeology of Mediterranean Landscapes*, 2, 123-135.
- Öztürk, M.Z., Şener, M.F., Şener, M. et al. (2018a). Structural controls on distribution of dolines on Mount Anamas (Taurus Mountains, Turkey). *Geomorphology* 317: 107–116.
- Parise, M., & Pascali, V. (2003). Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). *Environmental geology*, 44(3), 247-256.
- Parise, M., & Gunn, J. (2007). Natural and anthropogenic hazards in karst areas: an introduction. *Geological Society, London, Special Publications*, 279(1), 1-3.

- Peresani, M., & Tozzi, C. (2018). Il Paleolitico e il Mesolitico del Friuli Venezia Giulia: quarant'anni di studi e ricerche. *Il Paleolitico e il Mesolitico del Friuli Venezia Giulia: quarant'anni di studi e ricerche*, 45-59.
- Pfeifer, N., & Briese, C. (2007). Geometrical aspects of airborne laser scanning and terrestrial laser scanning. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(3/W52), 311-319.
- Pike, R. J., Evans, I. S., & Hengl, T. (2009). Geomorphometry: a brief guide. *Developments in soil science*, 33, 3-30.
- Radinja, D. (1987) Modern agricultural land improvement in Slovene Dinaric karst. In Karst and Man. Proceedings of the International Symposium on Human Influence in Karst: 123-35. Ljubljana, University of Ljubljana Department of Geography
- Reutebuch, S. E., Andersen, H. E., & McGaughey, R. J. (2005). Light detection and ranging (LIDAR): an emerging tool for multiple resource inventory. *Journal of forestry*, 103(6), 286-292.
- Samez D., Casagrande G., Cucchi F. & Zini L. (2005) - Idrodinamica dei laghi di Doberdò e di Pietrarossa (Carso classico, Italia): relazioni con le piene dei fiumi Isonzo, Vipacco e Timavo. *Atti e Mem. Comm. Grotte "Boegan*, 133-152.
- Sauro U. (1991) - Morfologia carsica. In G. B. Castiglioni, *Geomorfologia*. UTET.
- Sauro, U. (2003). Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification. *Acta carsologica*, 32(2).
- Schein, R. H. (1997). The place of landscape: A conceptual framework for interpreting an American scene. *Annals of the Association of American Geographers*, 87(4), 660-680.
- Simeoni, G. (2017). Il territorio nella Protostoria. EUT Edizioni Università di Trieste. 208-233.
- Sithole, G., & Vosselman, G. (2003). Report: ISPRS comparison of filters. *ISPRS commission III, working group*, 3.
- Soldati, M., & Marchetti, M. (Eds.). (2017). *Landscapes and landforms of Italy*. Springer.

- Sopchaki, C. H., & Sampaio, T. V. M. (2016). Airborne Laser Scanner: principles of operation, recent uses in Brazil and regulatory issue from laws and parameters in Brazil and in the USA. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 6(7), 338-353.
- Štih, P. (1983). Madžari in slovenska zgodovina v zadnji četrtini 9. in prvi polovici 10. stoletja. *Zgodovinski časopis*, 37(3), 171-201.
- Štih, P. (2004). *Le origini: Gorizia e Salcano intorno all'anno 1000*. Laguna.
- Štular, B., Kokalj, Ž., Oštir, K., & Nuninger, L. (2012). Visualization of lidar-derived relief models for detection of archaeological features. *Journal of archaeological science*, 39(11), 3354-3360.
- Štular, B., Lozić, E., & Eichert, S. (2021). Airborne LiDAR-derived digital elevation model for archaeology. *Remote Sensing*, 13(9), 1855.
- Sweeting, M.M. (1972). *Karst Landforms*. London: McMillan Press.
- Tan, Q., & Xu, X. (2014). Comparative analysis of spatial interpolation methods: an experimental study. *Sensors & Transducers*, 165(2), 155.
- Tavano, S. (1972). Aquileia cristiana e patriarcale. *Antichità Altoadriatiche*.
- Traxler, C., & Neubauer, W. (2008, October). The Harris matrix composer—a new tool to manage archaeological stratigraphy. In *Archäologie und Computer-Kulturelles Erbe und Neue Technologien-Workshop* (Vol. 13, pp. 3-5).
- Venturini, C. (2003). Il Friuli nel Quaternario: l'evoluzione del territorio. *Glacies, l'età dei ghiacci in Friuli, ambienti climi e vita negli ultimi*, 100, 23-106.
- Vinci, G., & Bernardini, F. (2021). Decifrare e cartografare le tracce del paesaggio antico nel Carso triestino.
- Wehr, A., & Lohr, U. (1999). Airborne laser scanning—an introduction and overview. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 54(2-3), 68-82.
- Gutiérrez, F. (2016). Sinkhole hazards. In *Oxford research encyclopedia of natural hazard science*.
- Castiglioni G. B. (1986) - *Geomorfologia*. UTET, 436 pp.
- Wilson, J. P. (2012). Digital terrain modeling. *Geomorphology*, 137(1), 107-121.
- Wu, Q., Deng, C., & Chen, Z. (2016). Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models. *Geomorphology*, 266, 1-10.

9. SITOGRAFIA

<https://archiviodistatogorizia.cultura.gov.it/>

<https://eaglefvg.regione.fvg.it/eagle/main.aspx?configuration=guest>

<http://www.catastogrotte.fvg.it/>

<https://gisgeography.com/lidar-light-detection-and-ranging/>

10. ALLEGATO

Carta delle tracce geoarcheologiche del Carso Isontino meridionale.

CARTA DELLE TRACCE GEOARCHEOLOGICHE TELERILEVATE DEL CARSO ISONTINO MERIDIONALE



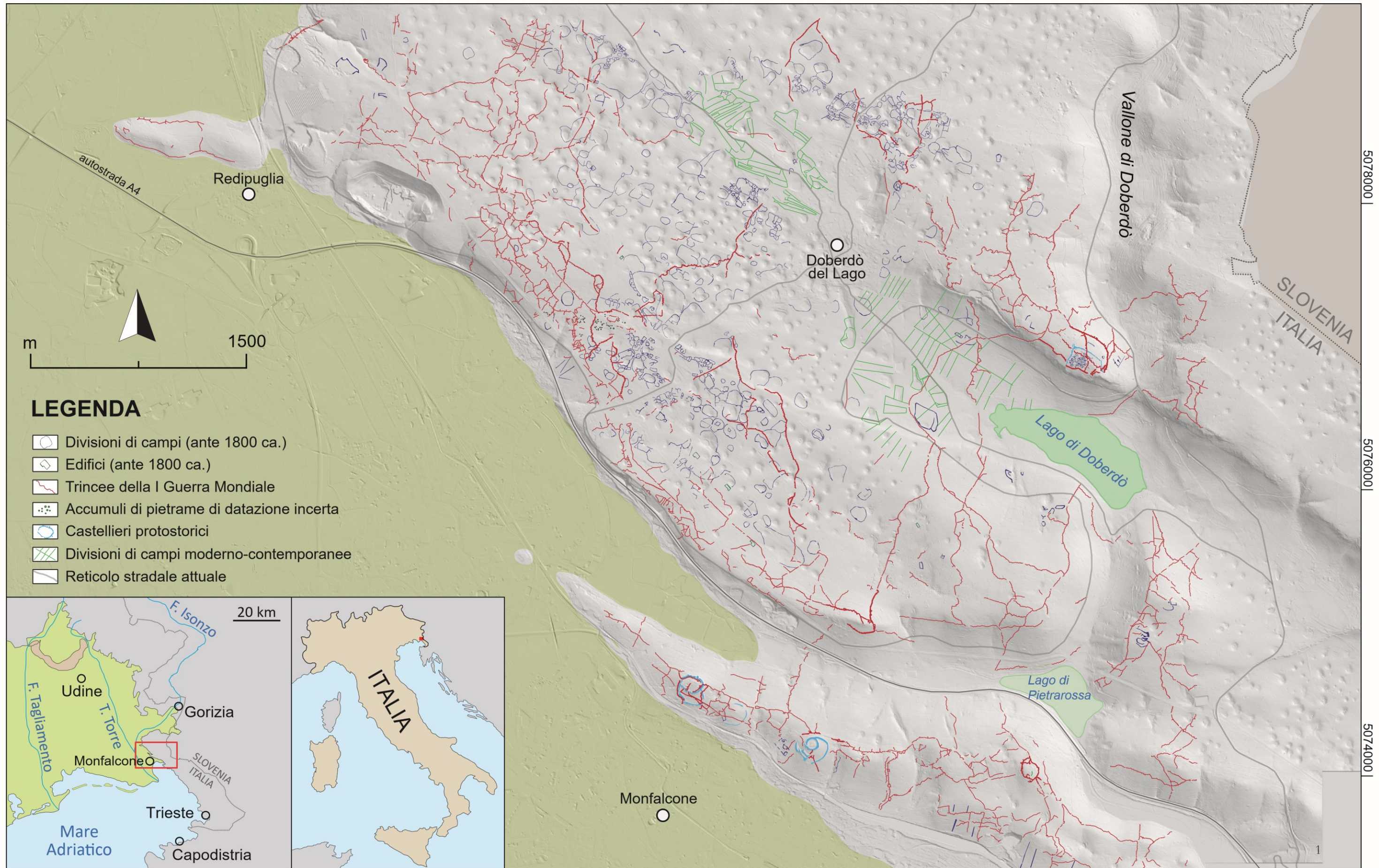
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DIPARTIMENTO
DI GEOSCIENZE

Laureanda: **Chiara Marcellini** relatore: prof. Alessandro Fontana; correlatore: dr. Giacomo Vinci

Dipartimento di Geoscienze - Corso di Laurea Magistrale in Geologia e Geologia Tecnica, A.A. 2023-2024



LEGENDA

- Divisioni di campi (ante 1800 ca.)
- Edifici (ante 1800 ca.)
- Trincee della I Guerra Mondiale
- Accumuli di pietrame di datazione incerta
- Castellieri protostorici
- Divisioni di campi moderno-contemporanee
- Reticolo stradale attuale



Proiezione Trasversa di Mercatore

382500 |

385000 |

387500 |

390000

Dato: RDN 2008 / zona UTM 33N; EPSG: 6708

