

Journal of Ancient Topography
RIVISTA di TOPOGRAFIA ANTICA

Supplemento IX

Questo volume è stato realizzato con il sostegno economico della Regione Friuli Venezia Giulia, del Comune di Cividale del Friuli e della Banca di Cividale.

Si ringraziano inoltre: la Soprintendenza per i Beni Archeologici del Friuli Venezia Giulia, l'Aerofototeca Nazionale – ICCD di Roma, il Dipartimento di Studi Umanistici e il GEOLAB – Dipartimento di Matematica e Geoscienze dell'Università degli studi di Trieste; la Provincia di Udine, il Comune di Remanzacco e l'Aeroklub Josip Križaj di Ajdovčina”.

Itinerari storico archeologici per la conoscenza del Friuli Longobardo

a cura di

SANDRO COLUSSA
DAVIDE GHERDEVICH
SARA GONIZZI BARSANTI



MARIO CONGEDO EDITORE

COMITATO SCIENTIFICO
OSCAR BELVEDERE, PIERO ALFREDO GIANFROTTA,
STEFANIA GIGLI, CAIROLI FULVIO GIULIANI, ERIC HOSTETTER,
EWALD KISLINGER, LORENZO QUILICI,
PAOLO SOMMELLA, ALEXANDRE SIMON STEFAN,
FRANCESCO TOMASELLO, CARLO VARALDO

REDAZIONE
Riccardo Chellini, Michele Fasolo, Cesare Marangio,
Maria Milvia Morciano, Annapaola Mosca

Journal of Ancient Topography
RIVISTA DI TOPOGRAFIA ANTICA

Direttore Responsabile Giovanni Uggeri
Registrato presso il Tribunale di Firenze, n. 4116 del 18.6.1991

Tutti i diritti riservati
© 2015

ISBN 9788867661237

Mario Congedo Editore – 2015

SOMMARIO

Prefazione	7
Introduzione	9
1 Inquadramento geomorfologico dell'alta pianura friulana centro-orientale	11
1.1 L'assetto geomorfologico della pianura	11
1.2 L'evoluzione geologica negli ultimi 20.000 anni	14
1.3 L'anfiteatro morenico del Tagliamento	22
2 Introduzione alla storia dell'archeologia del Ducato longobardo del Friuli	25
3 Per una carta archeologica dell'agro di Forum Iulii in epoca longobarda (568-774). L'uso delle fonti bibliografiche della cartografia storica in ambiente GIS	27
3.1 Introduzione	27
3.2 Le fonti	29
I Siti Archeologici	29
L'organizzazione del territorio	33
3.3 Il ruolo della cartografia storica	35
Il Catasto Storico	35
Altra Cartografia Storica	37
3.4 L'elaborazione in ambiente GIS	37
I Dati Provenienti Dalla Cartografia Catastale	37
La Realizzazione Del Dtm	40
I Dati Dei Siti Archeologici	42
3.5 Il GIS al lavoro: alcune considerazioni generali	44
3.6 Le schede dei siti	49
I Siti	49
Le chiese campestri che insistono su siti romani	57
4 Il GIS, le fotografie aeree e le analisi spaziali: struttura, finalità e risultati	59
4.1 La fotointerpretazione aerea e il remote sensing	59
4.2 Le foto aeree e la metodologia utilizzata	60
La fotografia aerea verticale	60
Foto aerea obliqua	63
4.3 Il sensore aviotrasportato MIVIS	69
Digital Image Processing	69
Indici di vegetazione	72
Principal Component Analysis	73
4.4 L'ausilio della cartografia storica	74
4.5 L'individuazione di anomalie sul territorio	76
4.6 GIS e analisi spaziali	82
Perché le analisi spaziali e il GIS?	82
4.7 La ricostruzione della viabilità	85
La metodologia	86
Le altre variabili utilizzate	89
Il modello di costo	92
4.8 I Risultati	95
4.9 Dove vivevano i Longobardi? Il modello predittivo	98
Metodologia	98

4.10 Multi Criteria Decision Analysis, MCDA	101
L'Analytic Hierarchy Process (AHP) e la matrice di Saaty	101
4.11 Risultati	104
5 Il 3D in archeologia: fotogrammetria close-range e aerea mediante l'uso di droni	109
5.1 La fotogrammetria	109
Precursori	111
Dalla rappresentazione prospettica alla misure reali dell'oggetto	112
Elementi di base	114
I principi teorici	120
Gli orientamenti nel metodo fotogrammetrico	123
5.2 Utilizzo dei modelli 3D in archeologia	125
Confronto 3D e raddrizzamento fotografico: perché si usa il 3D nei rilievi	126
5.3 L'uso degli UAV	128
L'UAV e l'archeologia	133
Utilizzo dell'UAV nella presente ricerca	135
5.4 Conclusioni	142
6 La ricostruzione 3D del territorio	145
6.1 Paesaggio vegetale e antropico emerso dalle indagini archeopalinologiche effettuate nella necropoli di Romans d'Isonzo (Gorizia, Nord Italia) e Remanzacco (Udine, Nord Italia)	146
Materiali e metodi	147
6.2 Risultati	149
Stato di conservazione dei granuli pollinici, granuli contati, concentrazione pollinica, ricchezza floristica	149
Principali caratteri floristico-vegetazionali generali degli spettri pollinici	149
Il paesaggio vegetale e la sua evoluzione nel tempo	153
6.3 Considerazioni conclusive	156
6.4 La ricostruzione 3D del paesaggio e dei siti archeologici	157
6.5 Il CD multimediale per la fruizione del lavoro svolto	163
Obiettivo	163
Conclusioni	171
Bibliografia	173

Il GIS, le fotografie aeree e le analisi spaziali: struttura, finalità e risultati

di *Davide Gherdevich*

4.1 LA FOTOINTERPRETAZIONE AEREA E IL REMOTE SENSING

La fotointerpretazione aerea è uno strumento abitualmente utilizzato già da diversi anni in ambito archeologico. Negli anni Ottanta del secolo scorso, usciva in Italia il primo manuale di fotografia area per uso archeologico scritto da Fabio Piccarreta⁷³, al quale faranno seguito altri lavori scritti con Giuseppe Ceraudo⁷⁴. Nei primi anni 2000, l'aerofototeca di Roma⁷⁵ ha ospitato una mostra curata da Marcello Guaitoli, che per la prima volta ha permesso anche ad un pubblico di non specialisti di avvicinarsi a questa affascinante documentazione; nel 2009, la stessa aerofototeca è stata inoltre la sede di un importante convegno, dedicato ai 100 anni dell'archeologia aerea in Italia⁷⁶. Sarà tuttavia grazie all'archeologia preventiva, che la foto aerea diventerà uno strumento prezioso per lo studio del paesaggio, volto a individuare i possibili segni lasciati dal passato.

Diversi studi di *remote sensing* e di fotointerpretazione aerea hanno interessato la regione Friuli Venezia Giulia negli ultimi anni: tali strumenti sono stati utilizzati per cercare di ricostruire il tracciato viario di alcune importanti strade consolari romane, come la Iulia Augusta⁷⁷ e l'Annia⁷⁸, e per individuare delle tracce relative alla viabilità secondaria nella zona tra Gemona e Pinzano⁷⁹. A tali ricerche, si devono inoltre aggiungere i numerosi studi sul territorio intorno ad Aquileia, dove sono tuttora in corso diverse campagne di telerilevamento e di ricognizione sul campo⁸⁰.

Un successivo passo avanti nell'utilizzo delle foto aeree in campo archeologico si è avuto all'inizio degli anni 2000, quando anche in Italia è stato possibile effettuare delle campagne fotografiche con aerei da turismo e ultraleggeri⁸¹; questa metodolo-

⁷³ PICCARRETA, 1987

⁷⁴ PICCARRETA & CERAUDO, 2000

⁷⁵ GUAITOLI, 2004

⁷⁶ CERAUDO, 2012

⁷⁷ ROSSETTI, 2006

⁷⁸ MAURIZIO BUORA, 2011

⁷⁹ GHERDEVICH, 2009

⁸⁰ Tra gli ultimi progetti, ricordiamo quello della

Dottessa Arianna Traviglia, ricercatrice presso la Macquarie University, di cui si hanno alcuni risultati preliminari in ARIANNA TRAVIGLIA, 2011 e anche nel lavoro di VITO & BUORA, 2010

⁸¹ La normativa che vigeva in Italia fino ai primi anni 2000 risaliva al 1939; l'estratto della legge è visibile in PICCARRETA, 1987, p. 42.

gia di foto aerea, chiamata comunemente foto aerea obliqua, era già conosciuta ed utilizzata fin dal primo dopoguerra in Inghilterra e in Francia⁸². In questi ultimi anni abbiamo assistito alla nascita di nuove tecnologie – tra le quali ricordiamo la fotografia digitale e i sistemi UAV⁸³ - che hanno permesso di effettuare delle riprese aeree di buona qualità, a un costo piuttosto contenuto. Per la realizzazione del nostro progetto, alle fotografie aeree sono state inoltre associate le immagini ottenute attraverso i sensori satellitari e i sensori aviotrasportati. Le immagini generate da questi sofisticati sensori, che devono essere elaborate attraverso specifici software⁸⁴, permettono di analizzare il paesaggio non solo all'interno delle frequenze del visibile, ma anche in quelle che vanno dall'infrarosso al termico. Tutte queste metodologie – le ortofoto, i sistemi UAV, le immagini prodotte dal sensore MIVIS e le foto aeree oblique - sono state utilizzate al fine di analizzare e studiare i segni lasciati dal passato sul territorio.

È tuttavia necessario fare una premessa: benché il progetto si sia proposto di studiare il territorio, la viabilità e gli insediamenti di epoca longobarda, i dati forniti dai sistemi per il telerilevamento e dalle foto aeree hanno una valenza diacronica; essi non possono quindi limitarsi ad un unico e ben preciso periodo storico, e solo una successiva indagine sul campo può fornire una datazione più precisa.

Le foto aeree, oblique e verticali, e le immagini del sensore MIVIS ci hanno permesso di realizzare una banca dati che sarà consultabile presso il GEOLAB⁸⁵; alcune immagini saranno inserite all'interno del WebGIS, anche se per problemi legati al copyright solo una minima parte sarà consultabile online.

4.2 LE FOTO AEREE E LA METODOLOGIA UTILIZZATA

LA FOTOGRAFIA AEREA VERTICALE

Le foto aeree verticali sono fotografie effettuate con un angolo il più possibile vicino allo 0 rispetto alla perpendicolare sul terreno. In realtà, a causa delle oscillazioni dell'aeroplano, l'angolo non è quasi mai pari a 0, e vi è una tolleranza di circa $\pm 5^\circ$. Le quote a cui vengono scattate le foto sono solitamente piuttosto elevate, fatta eccezione per alcuni particolari voli effettuati a bassa quota (come il volo RAF del 1976 sulla nostra regione). Le campagne fotografiche vengono effettuate solitamente nei mesi estivi, quando la copertura nuvolosa è prossima allo zero; l'impossibilità di scegliere il periodo per effettuare le riprese aeree è sicuramente uno dei limiti maggiori dell'uso delle foto aeree verticali in campo archeologico. Le foto sono realizzate su pellicola, con particolari camere aerofotogrammetriche che generano diverse tipologie d'immagini:

- Immagini in bianco e nero di tipo pancromatico; utilizzate soprattutto prima degli anni '80, esse permettono, con una scala di grigi nello spettro del visibile, di registrare comunque le variazioni di colore del terreno e della vegetazione.

⁸² Tra i numerosi pionieri nell'utilizzo della fotografia aerea obliqua in campo archeologico possiamo citare: per la Francia del Nord, R Agache, *La Somme pré-romaine et romaine: d'après les prospections aériennes à basse altitude* del 1978, mentre per l'Inghilterra il classico di Osbert Crawford, *Wessex from the Air*. Per la fotointerpretazione, ricordiamo inoltre il libro di Wilson,

Air Photo Interpretation for Archaeologists, la cui prima edizione è del 1982.

⁸³ Vedi capitoli successivi

⁸⁴ Per il progetto è stato usato il software ENVI 4.7©, della ITT Visual Information Solutions.

⁸⁵ Laboratorio di Geomatica dell'Università degli studi di Trieste, afferente al dipartimento di Geoscienze.

- Immagini a colori; le prime vennero realizzate alla fine degli anni '70, ed attualmente sono le più comuni.
- Immagini all'infrarosso in bianco e nero; vengono realizzate grazie ad una speciale pellicola che, associata ad alcuni filtri fotografici, mette in evidenza le zone vegetative con il colore bianco e le zone umide con quello grigio scuro o nero.
- Immagini all'infrarosso a colori o falso colore; permettono di registrare le lunghezze d'onda del colore rosso, del verde e dell'infrarosso.

La foto aerea verticale, che viene usata prevalentemente per il monitoraggio ambientale e per la pianificazione di grandi infrastrutture, viene inoltre utilizzata per la realizzazione di cartografia⁸⁶, attraverso metodologie di restituzione aerofotogrammetriche, quali ad esempio le Carte Tecniche Regionali. La ripresa viene effettuata a strisciate di fotogrammi, che vengono scattati ad intervalli regolari con una frequenza che viene calcolata in base alla quota e alla velocità dell'aeromobile. Ogni singolo fotogramma va a ricoprire circa il 60% del fotogramma precedente, e in caso di strisciate laterali, vi è una sovrapposizione del 15%-30%⁸⁷.

La maggior parte delle strisciate dei voli fotogrammetrici effettuati sopra la regione Friuli Venezia Giulia sono conservate presso l'archivio dell'Ufficio Cartografico Regionale: si tratta di fotogrammi che vanno da alcuni voli dell'aeronautica militare italiana degli anni '30, fino ai voli degli anni 2000. Per il progetto abbiamo consultato e scansionato numerosi fotogrammi del volo GAI⁸⁸ degli anni '50, del volo RAF del 1976⁸⁹ e dei voli dell'IGM, dal 1938 al 2006⁹⁰.

Un altro archivio molto importante, che possiede circa due milioni d'immagini del territorio italiano, è l'archivio del Laboratorio per la Fotointerpretazione e l'Aerofotogrammetria dell'Aerofototeca Nazionale di Roma; si tratta di una struttura di raccolta e di studio del materiale aerofotografico relativo al territorio italiano, che conserva anche i fotogrammi dei voli di ricognizione effettuati su numerose zone dell'Italia, tra il 1943 e il 1945, dalla RAF⁹¹ e dall'USAAF⁹². Lo scopo di questi voli era di evidenziare gli obiettivi sensibili, che successivamente sarebbero stati oggetto di bombardamenti: proprio per tale ragione, la maggior parte delle strisciate effettuate sulla nostra regione copre le principali vie di comunicazione stradali e ferrovia-rie, i ponti sul Tagliamento, le città di Udine, Trieste e Gorizia, e l'aeroporto situato presso Osoppo. Benché la copertura fotografica del territorio oggetto della nostra indagine sia solo parziale, essa riveste comunque una grande importanza. Grazie alla disponibilità della direttrice dell'Aerofototeca e dei suoi collaboratori, siamo riusciti a visionare circa un migliaio di fotogrammi, realizzati dai voli effettuati dalla RAF dal '43 al '45⁹³; ne abbiamo selezionati 205, in cui erano riscontrabili diverse tipolo-

⁸⁶ G. CERAUDO & BOSCHI, 2009, p. 180

⁸⁷ G. CERAUDO & PICCARRETA, 2004, pp. 48-72

⁸⁸ Gruppo Aeronautico Italiano

⁸⁹ Nel 1976, pochi giorni dopo il sisma che colpì il Friuli, la Royal Air Force effettuò un volo a bassa quota per rilevare i danni provocati dal terremoto.

⁹⁰ Alla fine di questo lavoro preliminare sono stati raccolti: venti fotogrammi dei voli GAI (immagini pancromatiche), quattro dei voli RAF del 1976 (immagini pancromatiche), uno dei voli IGM del 1938 (immagine pancromatiche), uno del 1946 (immagine pancromatiche), diciotto del 1970

(immagini pancromatiche), undici del 1974 (immagini pancromatiche), tre del 1982 (immagini pancromatiche), due del 1988 (immagini pancromatiche), due del 2003 (immagini a colori) e quattro del 2006 (immagini a colori) per un totale di sessantasei fotogrammi scansionati.

⁹¹ Royal Air Force

⁹² United States Army Air Forces

⁹³ I fotogrammi sono pancromatici e in media hanno una scala di 1:10.000 con qualche striscia in scala 1:5.500; per il nostro progetto abbiamo cercato di non utilizzare strisciate con scale superiori a 1:14.300.

gie di anomalie, che sono stati successivamente scansionati a 600 dpi⁹⁴ in formato TIFF⁹⁵.

I fotogrammi più datati - come quelli della RAF degli anni '40, del 1954 e degli anni '70 - sono stati processati per ottenere un miglioramento radiometrico delle immagini, attraverso:

- la modifica dell'istogramma;
- la modifica lineare e non lineare del contrasto;
- l'equalizzazione⁹⁶.

Al contrario, non sono stati utilizzati filtri specifici⁹⁷ o metodologie automatizzate.

Il passo successivo è stato quello di georiferire⁹⁸ tutti i fotogrammi, usando come base le ortofoto del volo regionale del 2007, nel sistema di riferimento Gauss-Boaga fuso Est. In questa fase abbiamo riscontrato delle difficoltà nella georeferenziazione delle immagini dei voli più datati:

- a causa del limitato numero di punti di riferimento individuabili in entrambe le immagini (soprattutto in alcuni fotogrammi relativi a porzioni di territorio) dovuto al grande cambiamento subito dal paesaggio negli ultimi quarant'anni;
- a causa degli obiettivi fotografici, che in molti casi - e soprattutto per i voli degli anni '40 - risentivano di deformazioni e di una diminuzione della luminosità soprattutto ai bordi dell'immagine.

Per ovviare in parte alla mancanza di punti di controllo (che d'ora in poi indichiamo con l'abbreviazione inglese GCP⁹⁹) abbiamo cercato di georiferire le immagini in maniera cronologica, dalle più recenti a quelle più dorate. Per le immagini della RAF degli anni '40 abbiamo usato come base le foto del volo GAI del 1954, a sua volta georiferito su fotogrammi IGM del 1970. L'insieme di questi fotogrammi georiferiti¹⁰⁰ ha permesso la creazione di un archivio digitale, in cui è stato possibile visualizzare, in chiave diacronica, il susseguirsi dei segni lasciati sul paesaggio pluristratificato negli ultimi sessant'anni. I GCP utilizzati per georiferire i fotogrammi delle foto a colori più recenti, variano considerevolmente rispetto a quelli utilizzati nelle foto pancromatiche della seconda guerra mondiale¹⁰¹; malgrado ciò, per le foto dagli anni '70 e per quelle degli anni 2000, abbiamo cercato di ottenere un errore RMS¹⁰² inferiore al metro¹⁰³,

⁹⁴ Risoluzioni maggiori avrebbero reso di difficile gestione le immagini, trattandosi di un territorio piuttosto vasto abbiamo preferito un compromesso tra la qualità dell'immagine e la sua grandezza in termini di memoria.

⁹⁵ *Tagged Image File Format*, è un formato universalmente accettato ed è riconosciuto da qualsiasi piattaforma o applicativo; il TIFF infatti ha una compressione "lossyless", cioè senza degrado dell'immagine, a differenza del formato JPEG dove, ad ogni salvataggio, viene riapplicato l'algoritmo di compressione che degrada l'immagine.

⁹⁶ Il software utilizzato è stato Adobe Photoshop CS5. Esiste anche Cast COR, un software più specifico per la correzione dei colori, in licenza GNU, compilato da Irvin Scollar: <http://www.uni-koeln.de/~al001/castcor.html> (12 ottobre 2014).

⁹⁷ DEL SEPIA, 2005.

⁹⁸ La georeferenziazione consiste nell'associare

a dei punti riconoscibili nell'immagine delle coordinate di cui conosciamo il sistema di riferimento, al fine di poter sovrapporre la stessa immagine con altri dati relativi alla stessa zona del territorio cui si riferiscono.

⁹⁹ *Ground Control Points*.

¹⁰⁰ Il software utilizzato per la georeferenziazione dei fotogrammi è ArcGIS nella release 10 della ditta ESRI, in particolare il *tool Georeferencing*, dedicato alla georeferenziazione di immagini *raser*.

¹⁰¹ Si è cercato di prendere dei GCP distribuiti in maniera più omogenea possibile all'interno dell'immagine. Per georiferire le foto dei voli RAF sono stati utilizzati dai 10 ai 20 GCP per immagine, per le foto più recenti dai 6 ai 10 GCP.

¹⁰² Root Mean Square Error, errore dello scarto quadratico medio.

¹⁰³ RMS dà come risultato un valore numerico, che è collegato al sistema di misura utilizzato nel

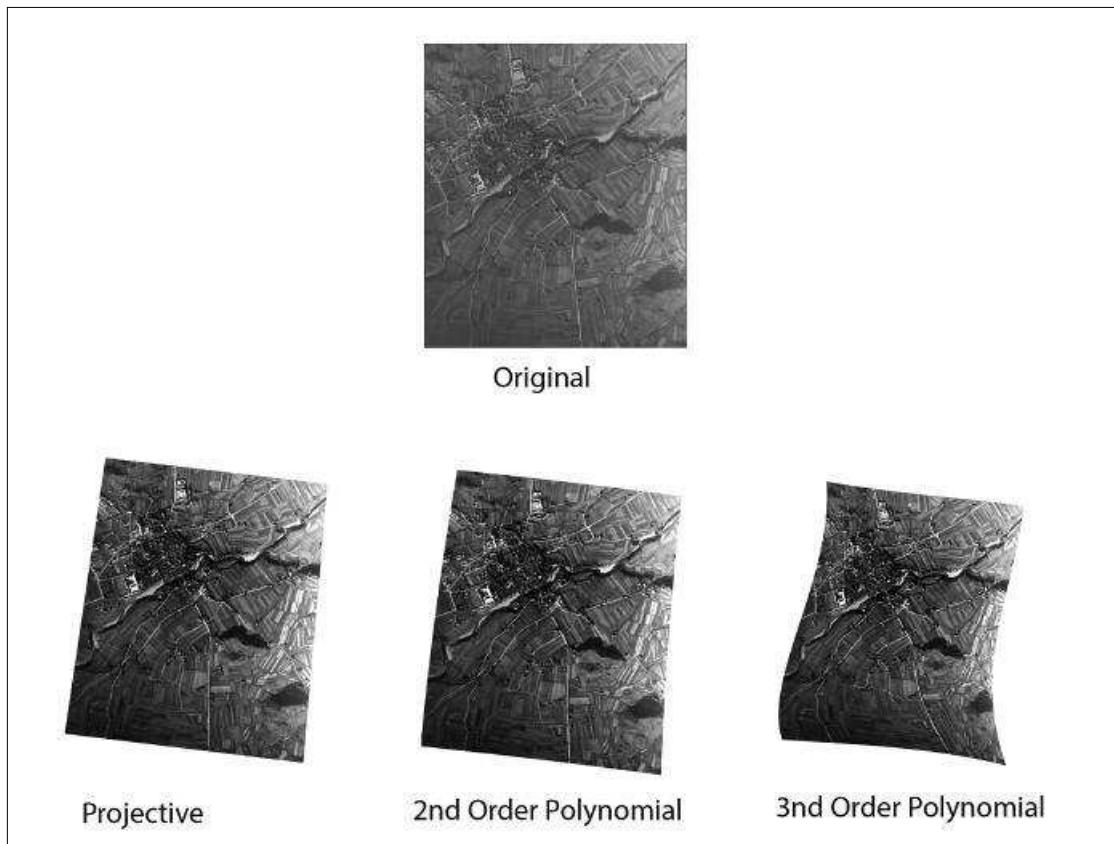


Fig. 19 – Distorsione prodotta dai diversi algoritmi di trasformazione su un fotogramma del volo RAF del 1944.

mentre per le foto più datate, come per quelle della RAF, ci siamo riproposti di contenere l'errore sotto i 2 metri. Per la georeferenziazione, è stata utilizzata una trasformazione di primo ordine polinominiale o *affine* oppure una trasformazione di tipo projective; la trasformazione di primo ordine effettua sempre una traslazione, una scalatura e una rotazione, ma preserva la collinearità e quindi ha una distorsione più contenuta rispetto a quelle di secondo e terz'ordine¹⁰⁴. (Fig. 19).

FOTO AEREA OBLIQUA

Seguendo l'esperienza del Laboratorio di Archeologia dei Paesaggi¹⁰⁵ dell'Università di Siena e del Laboratorio di Topografia antica e Fotogrammetria¹⁰⁶ dell'Univer-

sistema informativo geografico; nel nostro caso, lavorando con coordinate proiettate nel sistema Gauss Boaga fuso est, facciamo riferimento ad un sistema metrico.

¹⁰⁴ Vedi <http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/009t000000mn000000> (22 settembre 2014). Per le immagini scansionate, le foto aeree oblique, ed alcune immagini Landsat, la versione 10.1 di ArcGIS consiglia la *projective transformation* come metodo di trasformazione

<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/009t000000mn000000> (22 settembre 2014). Nella versione 10 questo algoritmo veniva utilizzato solamente per i dati in formato vettoriale nel *tool Spatial Adjustment*.

¹⁰⁵ LAP&T <http://www.lapetlab.it/> (22 settembre 2014).

¹⁰⁶ LABTAF <http://www.labtaf.unisalento.it/> (22 settembre 2014).

sità del Salento, si è scelto di effettuare quattro campagne di aerofotografia obliqua. Le fotografie aeree oblique, lo dice il nome stesso, vengono scattate con un angolo che è compreso tra i 5° e gli 85°; per realizzarle, si utilizzano prevalentemente aerei da turismo o ultraleggeri, e solo raramente gli elicotteri, a causa dell'elevato costo operativo. Al contrario di quanto accade per le foto aeree verticali, in quelle oblique sono solitamente i piloti o gli stessi archeologi ad effettuare le foto. L'operatore può quindi scegliere il periodo dell'anno più favorevole all'individuazione di eventuali anomalie, nonché l'ora del giorno migliore per effettuare le riprese aeree; all'alba e al tramonto, per esempio, i raggi del sole sono più radenti e possono evidenziare più chiaramente le variazioni del suolo o i microrilievi¹⁰⁷. I costi, inoltre, sono notevolmente inferiori rispetto a una campagna di foto aerea verticale.

Nella foto aerea obliqua è quindi l'operatore che decide quando e cosa fotografare; il grande vantaggio di questo tipo di fotografia, può tuttavia essere considerato anche come un difetto, poiché le tracce non viste, o che all'operatore non risultano interessanti, non vengono documentate¹⁰⁸. Le campagne di foto aeree oblique effettuate per il progetto, sono state realizzate grazie alla collaborazione dell'Aeroklub Nova Gorica, situato presso il paese di Ajdovščina, in Slovenia, non molto distante dalla città di Nova Gorica e, cosa ancora più importante, a soli cinque minuti di volo da Cividale. La fotografia aerea obliqua ci ha permesso di realizzare delle campagne di riprese aeree presso specifiche zone d'interesse; esse sono state selezionate in base ai dati ricavati dagli studi bibliografici e dallo studio delle foto aree verticali, quando sono emerse delle tracce o delle anomalie del paesaggio da approfondire. Le campagne sono state distribuite nell'arco dell'anno per poter osservare i cambiamenti del paesaggio al variare delle stagioni. Per tali campagne fotografiche è stato utilizzato un ultraleggero biposto, modello Virus 912, della ditta slovena Pipistrel¹⁰⁹. Si è scelto di utilizzare questo particolare ultraleggero, in sostituzione al più comune Cessna¹¹⁰, principalmente per due motivi: in primo luogo, la sua portata alare lo rende simile ad un aliante e gli permette di avere una velocità di stallo molto bassa rispetto al Cessna 172¹¹¹; in secondo luogo, ha costi di utilizzo estremamente bassi, quasi la metà rispetto agli altri aerei. Va tuttavia segnalato un aspetto negativo, relativo all'utilizzo degli ultraleggeri presso l'aeroporto di Ajdovščina: l'impossibilità, soprattutto per motivi di sicurezza, del decollo in condizioni di forte vento. La città di Ajdovščina è posizionata allo sbocco di una vallata creata dal fiume Vipacco, in cui soffia, durante i mesi invernali, un forte vento di Est Nord-Est conosciuto con il nome di *Bora*, che ha causato numerosi rinvii delle campagne fotografiche; per tale ragione, le campagne sono state concentrate soprattutto nei mesi primaverili, estivi e autunnali¹¹².

Come attrezzatura fotografica sono state utilizzate due fotocamere reflex digitali Nikon¹¹³, ed i seguenti obiettivi:

¹⁰⁷ WILSON, 2000, pp. 38-41

¹⁰⁸ G. CERAUDO & BOSCHI, 2009

¹⁰⁹ La ditta e la fabbrica dove vengono prodotti questi ultraleggeri ha sede proprio nel paese di Ajdovščina.

¹¹⁰ MUSSON, PALMER, & CAMPANA, 2005

¹¹¹ Dati tecnici del Pipistrel Virus forniti dal produttore: apertura alare: 12,46 m, lunghezza 6,5 m, peso a vuoto 284 kg, superficie alare 11m², velocità massima 250 km/h velocità di stallo 64 km/h. Dati tecnici del Cessna 172 forniti dal produttore: apertura alare 11,0 m, lunghezza 8,21 m, peso a vuoto 736 kg, superficie alare 16,2 m², velo-

cità massima 228 km/h velocità di stallo 81 km/h.

¹¹² I mesi esatti sono: luglio e agosto 2010, maggio e ottobre 2011.

¹¹³ Una Nikon D90 e una Nikon D60, entrambe con un sensore APS – C Nikon DX con una dimensione di 23,6×15,7 mm, 2,25 volte inferiore al formato da 35 mm; la D90 ha una risoluzione di 12,3 megapixel, la D60 invece di 10,2 megapixel. La D90 è dotata inoltre di un motore interno ed è quindi possibile utilizzare gli automatismi di messa a fuoco anche delle ottiche serie AF e AF-D. Il sistema di archiviazione avviene mediante schede di memoria *Secure Digital* (SD).

- 50 mm f/1.8;
- 18 – 55 mm f/3.5 – 5.6 stabilizzato;
- 18 – 70 mm f/3.5 – 4.5 mm;
- 55 – 200 mm f/4 – 5.6 stabilizzato;
- 70 – 300 mm f/4.5 – 5.6 stabilizzato

In fase di elaborazione, per poter risalire al punto esatto in cui è stata scattata la fotografia e riuscire a collegarla al territorio con una certa precisione, è necessario avere la posizione GPS dell'aereo; in questo modo, è possibile abbinare ad ogni singolo scatto una precisa coordinata GPS¹¹⁴. Durante il volo, è stata compilata una scheda di ricognizione archeologica aerea¹¹⁵ in cui sono state annotate le condizioni meteo, il piano di volo, il tipo di attrezzatura utilizzata, il numero di foto effettuate, la tipologia di traccia fotografata e soprattutto il numero di fotogramma abbinato al relativo numero di file GPS. Una volta rientrati in laboratorio, i dati del GPS sono stati scaricati ed inseriti all'interno del Sistema Informativo Geografico (Fig. 20). Le immagini in cui sono state riscontrate delle anomalie del terreno, sono state georiferite con due diversi software: AirphotoSE (creato dall'università tedesca di Colonia, specifico per la correzione e la georeferenziazione delle foto aeree oblique)¹¹⁶ e ArcGIS 10. Durante questi cinque voli, abbiamo fotografato diverse anomalie di un certo interesse: delle tracce rettilinee, non distanti da Cividale (Fig. 21); delle tracce circolari nei pressi della località la Mainizza (Fig. 22), in provincia di Gorizia, presso la quale erano già state individuate delle anomalie attraverso l'analisi delle foto dei voli RAF; ed infine alcune tracce, sempre di forma circolare, visibili non distanti dal paese di Romans d'Isonzo (Fig. 23)¹¹⁷.

¹¹⁴ Il GPS utilizzato è il modello a doppia frequenza GeoXH 2005 della TRIMBLE. Il software utilizzato per la gestione del *tracklog* e per la registrazione dei punti GPS è il software ArcPad 7.0 della ESRI. Nel software ArcPAD abbiamo inserito la cartografia di riferimento, come la CTRn, o le ortofoto della zona da sorvolare.

¹¹⁵ Abbiamo usato come modello di riferimento la scheda per la ricognizione aerea obliqua in uso presso il LAP&Lab dell'università di Siena, che è stata già utilizzata in diversi altri progetti (Musson

et al., 2005 p. 90)

¹¹⁶ Il software è scaricabile dal sito <http://www.uni-koeln.de/~al001/airphotose.html> (22 settembre 2014).

¹¹⁷ Tuttavia va fatto notare che il territorio interessato dal progetto, e quindi dalle campagne fotografiche, non si presta a questo tipo di analisi, essendo altamente urbanizzato e prevalentemente collinare, se si esclude il territorio che va da Romans d'Isonzo e Ronchi dei Legionari.

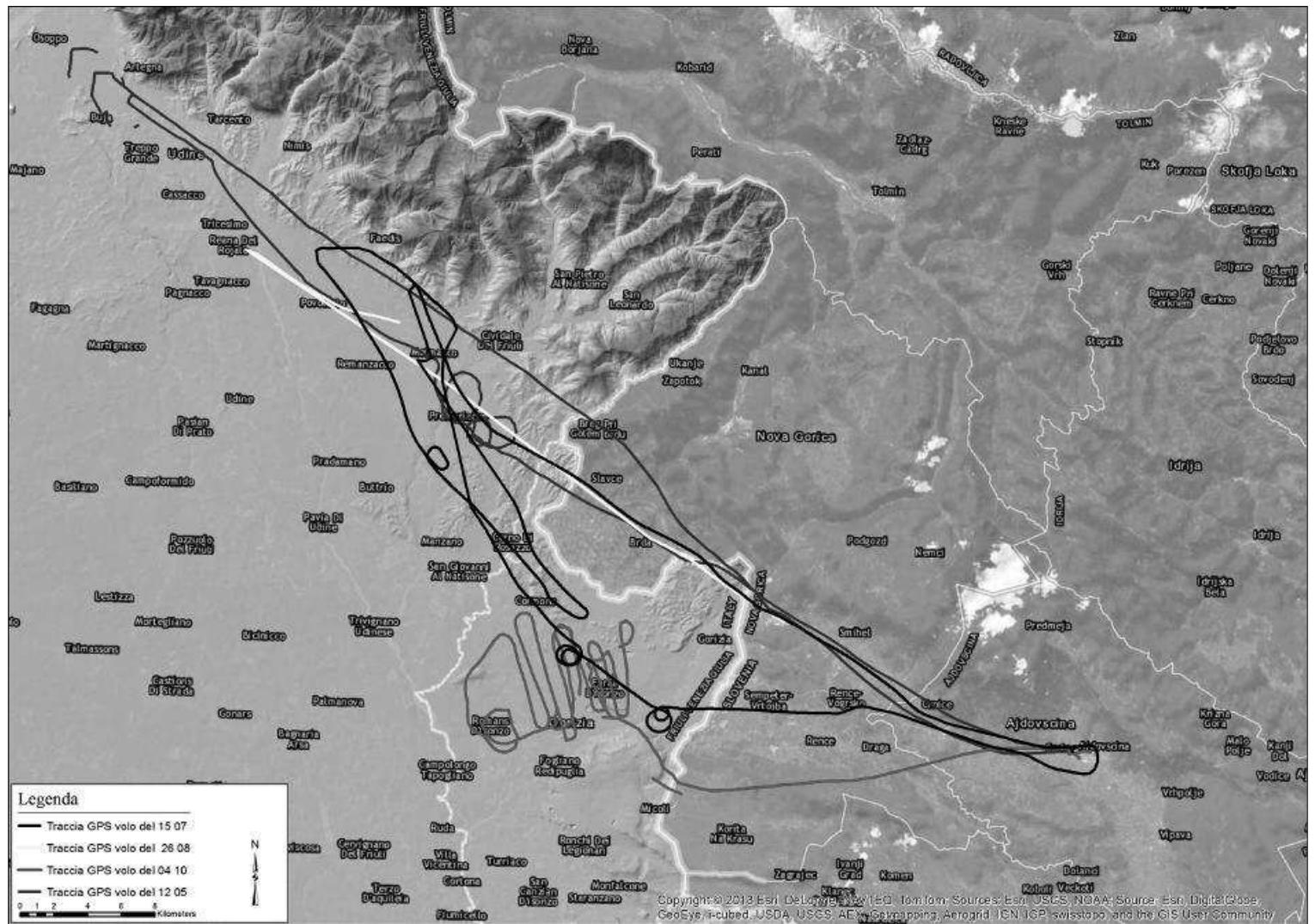


Fig. 20 – Tracciati GPS dei voli effettuati con l'ultraleggero, sopra il territorio preso in esame.



Fig. 21 – Foto obliqua in cui sono visibili delle tracce rettilinee.

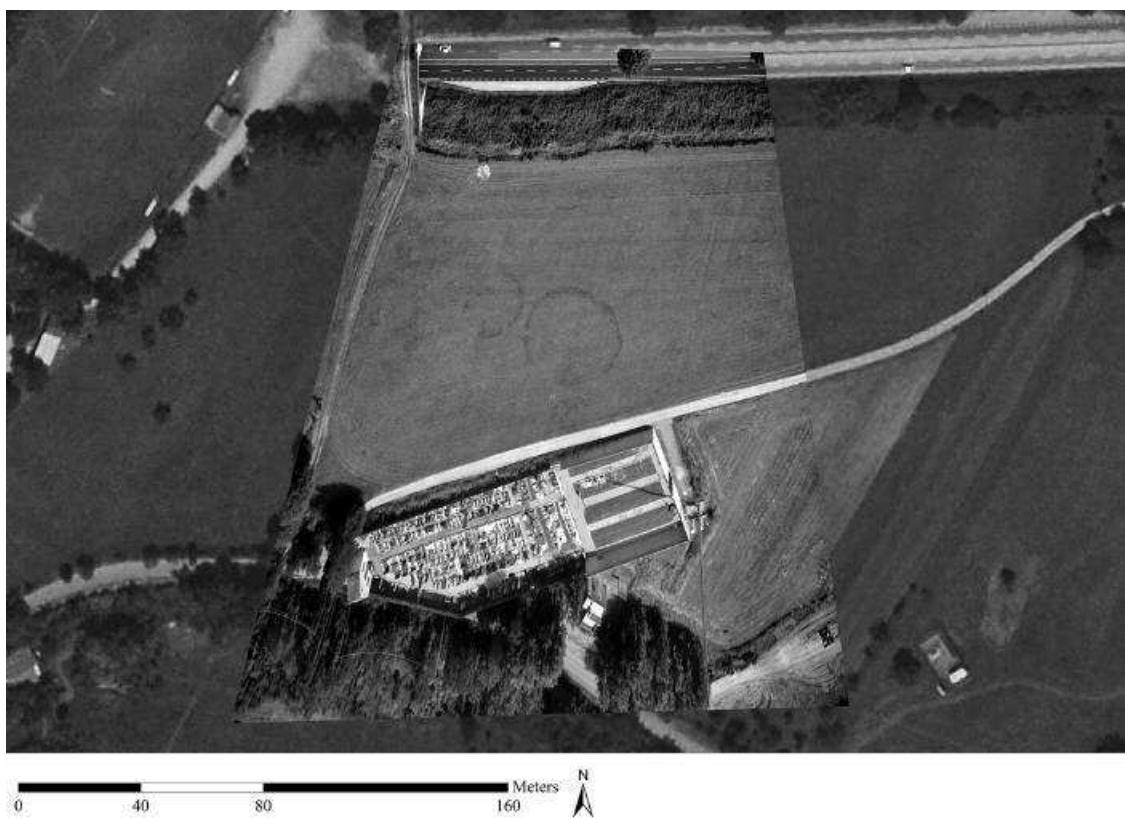


Fig. 22 – Foto obliqua georiferita, in cui sono visibili delle tracce circolari nei pressi della località la Mainizza.



Fig. 23 – Foto obliqua georiferita, in cui sono visibili delle tracce, di forma circolare, non distanti dal paese di Romans d'Isonzo.

4.3 IL SENSORE AVIOTRASPORTATO MIVIS

di *Giulio Montagner*

Il sensore iperspettrale utilizzato nel presente lavoro è il MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer), di proprietà del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), montato su aereo CASA C212¹¹⁸.

Il MIVIS è uno strumento modulare costituito da quattro spettrometri, per complessivi 102 canali che riprendono simultaneamente la radiazione proveniente dalla superficie terrestre nel visibile, nell'infrarosso vicino e termico. Lo spettrometro suddivide l'energia all'interno dei quattro spettrometri singoli (fig. 24).

Le immagini MIVIS a disposizione, fornite dall'Ufficio Cartografico della Regione Friuli Venezia Giulia, sono state innanzitutto georiferite in ArcGIS®, su una base cartografica di ortofoto del 2007.

Dopo aver verificato quali di queste contenessero le anomalie individuate dalle foto aeree verticali, ne sono state studiate e analizzate cinque in particolare. I criteri di scelta sono stati sia l'overlaying tra le immagini selezionate e i fotogrammi contenenti le anomalie più significative, sia il tentativo di avere un'area di indagine che fosse la più ampia possibile (scartando quindi immagini che si intersecavano con altre vicine). La risoluzione geometrica (dimensione del pixel) delle immagini MIVIS è di circa 5x5 metri (fig. 25).

DIGITAL IMAGE PROCESSING

Le immagini MIVIS sono fortemente distorte, in particolare a causa della geometria di scansione e degli effetti introdotti dalle perturbazioni di posizione e assetto della piattaforma aerea.

Sebbene una correzione geometrica che rettifichi le immagini sia necessaria per rendere gli elementi presenti sulla scena più comprensibili e riconoscibili e per inte-

Spettrometro	Regione Spettrale (μm)	Risoluzione (μm)	Canali
Visibile - NIR	0,433 - 0,833	0,02	20
IR Medio	1,150 - 1,550	0,05	8
IR Medio	2,000 - 2,500	0,008	64
IR Termico	8,200 - 12,70	0,4	10

Fig. 24 – Tabella con la suddivisione dei quattro spettri del sensore MIVIS.

¹¹⁸ CAVALLI, PASCUCCI, & PIGNATTI, 2009; A TRAVIGLIA, N.D..



Fig. 25 – Le immagini MIVIS e la loro georeferenziazione su base cartografica.

grare i dati MIVIS in un'applicazione GIS, il rischio è quello di compromettere l'informazione radiometrica del set di dati. Pertanto nella fase di analisi spettrale sono state utilizzate le immagini grezze, mentre i processi di rettificazione e georeferenziazione sono stati applicati per localizzare le immagini sulla carta e individuare le zone di maggior interesse.

Le componenti atmosferiche comportano due principali tipologie di effetti sulla radianza registrata dal sensore MIVIS: l'assorbimento e il *light-scattering*. Per il tipo di analisi e processi che sono stati applicati, la distorsione introdotta dovuta all'atmosfera è stata ritenuta irrilevante, considerando anche la bassa quota di volo e le buone condizioni atmosferiche e meteorologiche durante le acquisizioni (le immagini sono state rilevate di mattina e durante la stagione estiva).

Per migliorare l'accuratezza dei risultati e ridurre il rumore contenuto nelle immagini è stata applicata, in fase di *pre-processing*, la MNF (*Minimum Noise Fraction*) che consiste principalmente in due trasformazioni delle componenti principali.

La prima (MNF *forward*) è basata sulla stima di una matrice di covarianza e viene usata per isolare e riscalare il rumore contenuto nelle immagini MIVIS: nei dati risultanti il rumore ha varianza unitaria e non vi è correlazione tra banda e banda.

La seconda trasformazione (MNF *inverse*), applicata alle immagini ottenute dalla prima, riguarda le componenti principali dei dati depurati del rumore. La rimozione è stata ottenuta attraverso il riesame e una valutazione visiva delle immagini, per determinare quali componenti dovessero essere implementate nella trasformazione inversa: il software ENVI permette di selezionare le bande in base al valore assunto dagli *eigenvalues* (letteralmente "autovalori"). Componenti con grandi autovalori contengono dati e quelle con autovalori minori contengono principalmente rumore: le *eigenimages* (componenti MNF) sono state quindi spettralmente selezionate, per includere nella trasformazione inversa solo quelle con *eigenvalues* maggiori.

I filtri digitali sono operatori locali di convoluzione (o finestre mobili) che trasformano in modo lineare e localizzato le immagini, permettendo di estrarre elementi caratteristici d'interesse. Il valore di ciascun nuovo pixel viene calcolato in funzione del valore del corrispondente pixel e della sua posizione nell'immagine originale. I coefficienti dell'operazione eseguita su un pixel e il suo intorno possono essere organizzati in forma di matrice, definita anche "nucleo di convoluzione" (kernel). Il nucleo viene centrato su ciascun elemento dell'immagine e ognuno dei pixel vicini moltiplicato per il coefficiente corrispondente; il nuovo valore del pixel è calcolato sulla base del nuovo intorno tramite una o più operazioni matematiche (in genere una somma). Il risultato è una nuova immagine avente le stesse dimensioni dell'originale, ma più o meno nitida a seconda del tipo di filtro scelto.

Dopo queste operazioni di pretrattamento sono state visualizzate singolarmente tutte le 102 bande MIVIS, come immagini pancromatiche; da ciascun intervallo spettrale sono state scelte e sottoposte ad analisi visiva le più significative.

Le bande blu sono le meno utili in termini di identificazione di tracce, essendo maggiormente affette da fenomeni di attenuazione atmosferica. Le bande del verde offrono immagini di qualità migliore, essendo meno degradate delle blu nella loro definizione.

Buoni risultati sono stati raggiunti con le bande del rosso e dell'infrarosso vicino (NIR), sensibili al livello di crescita della vegetazione e capaci di enfatizzare anomalie sia sul suolo nudo che su coperture vegetative. Tuttavia i risultati migliori sono stati ottenuti attraverso le bande termiche (TIR), dove in qualche caso è stato possibile identificare tracce invisibili o appena visibili in altre bande.

Le bande, precedentemente selezionate, sono state poi visualizzate sullo schermo come immagini a colori, realizzando combinazioni di bande da assegnare all'RGB.

La rappresentazione *True Color* è stata sempre utilizzata come raffronto per ogni immagine: tutti i risultati delle elaborazioni compiute sono stati valutati confrontandoli con l'immagine a colori reali, che si è dimostrata essere quella che fornisce il più alto numero di anomalie individuabili nell'area in esame.

Buoni risultati in termini di enfatizzazione sono stati ottenuti con le immagini *False Color*. Ad esempio si ha una *False Color* all'infrarosso quando le bande Infrarosso, Rosso e Verde vengono assegnate rispettivamente a rosso, verde e blu dell'RGB.

INDICI DI VEGETAZIONE

Combinazioni matematiche delle bande del rosso e del vicino infrarosso trovano larga applicazione nello studio del monitoraggio della vegetazione e per rilevare discontinuità nella crescita della vegetazione¹¹⁹. Gli indici di vegetazione hanno una correlazione diretta con la densità fogliare (biomassa), l'umidità dei suoli, gli stadi fenologici e le variazioni temporali, ma sono anche sensibili ad altri fattori esterni quali la geometria dovuta agli angoli di vista e alla posizione del Sole, e gli effetti atmosferici.

Il risultato finale di queste operazioni è un'immagine in bianco e nero, su cui generalmente si applica un processo di *density slicing*, in cui a diversi intervalli dell'indice considerato si assegnano differenti colori in modo da distinguere a occhio nudo zone caratterizzate da diversa densità vegetativa.

In questo lavoro sono stati utilizzati indici basati solo sulla riflettanza misurata, senza modifica del dato radiometrico originale: DVI (*Difference Vegetation Index*) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)¹²⁰.

$$DVI = \rho_{IR} - \rho_R$$

$$NDVI = (\rho_{IR} - \rho_R) / (\rho_{IR} + \rho_R)$$

dove:

ρ_{IR} = riflettività nella banda dell'infrarosso vicino

ρ_R = riflettività nella banda del rosso

I risultati ottenuti hanno evidenziato come aree ricche di vegetazione avessero alti valori dell'indice (tendenti a 1), a causa della riflettanza relativamente maggiore del NIR; questi valori decrescono fino allo 0 nel caso di rocce e suoli nudi. L'immagine risultante è caratterizzata da colori più chiari per le aree vegetate, più scure per gli elementi restanti.

I punti forti dell'NDVI sono la riduzione di alcuni tipi di rumore (differenze di illuminazione, ombre delle nuvole, variazioni topografiche) presenti in più bande, e l'ottima sensibilità ai cambi nella copertura vegetativa. Solitamente tale indice è da preferire al DVI, in quanto contribuisce all'attenuazione di alcuni fattori che possono incidere negativamente sull'analisi. Tuttavia in questa ricerca l'NDVI si è dimostrato essere meno efficace rispetto al DVI per quanto riguarda i risultati che si è cercato di ottenere, uno su tutti: la discriminazione nella crescita e salute della vegetazione. (fig. 26)

¹¹⁹ LASAPONARA, MASINI 2005.

¹²⁰ LASAPONARA, MASINI 2006.

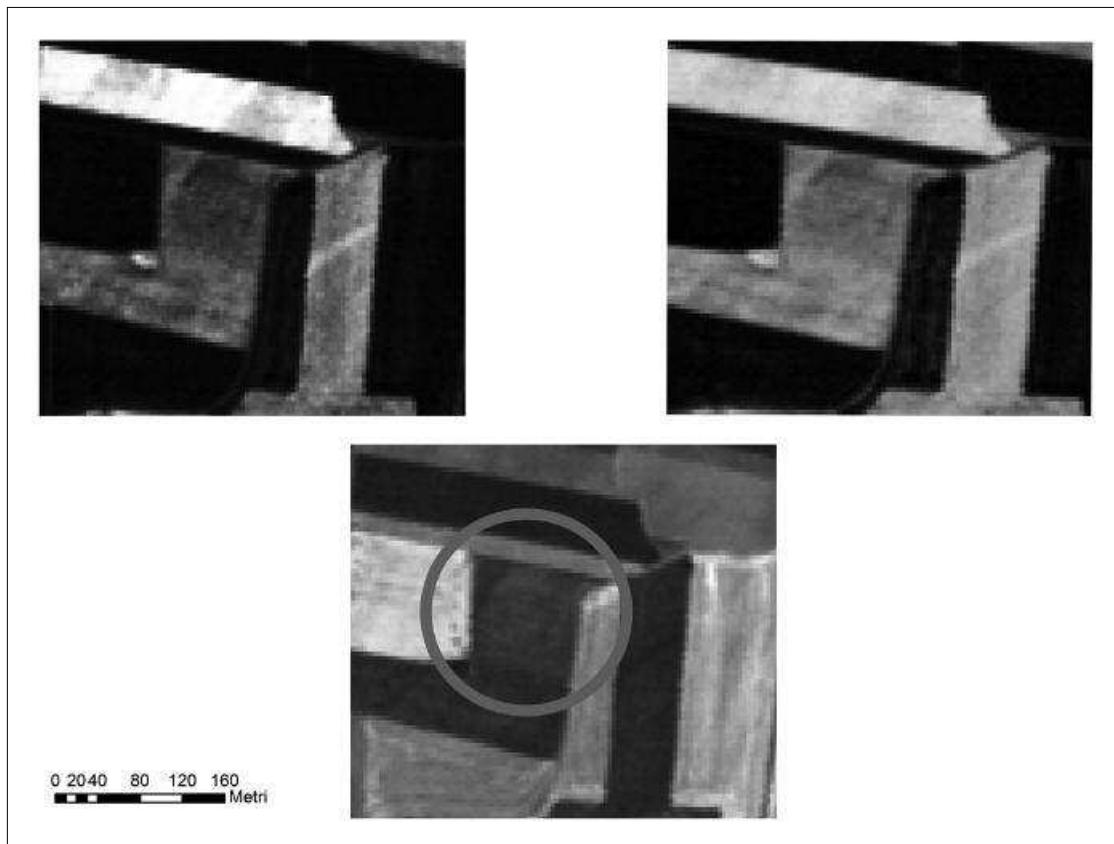


Fig. 26 – In alto da sinistra: indice DVI e indice NDVI, in basso: immagine RGB. Si noti come le due anomalie appaiano più evidenti grazie agli indici di vegetazione.

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

Le immagini MIVIS hanno una forte correlazione: bande adiacenti risultano essere molto simili tra loro, con una ridondanza del dato molto elevata. Sono state quindi scelte, analizzate e visualizzate sia bande adiacenti della stessa area spettrale, sia singole bande provenienti da aree spettrali differenti.

La PCA (*Principal Component Analysis*)¹²¹ è un processo che riduce la ridondanza dei dati trasformando una serie di variabili correlate (le bande) in un nuovo set di variabili non correlate. In termini archeologici la PCA permette una miglior discriminazione delle diverse superfici, che diviene più evidente nell’analisi visiva: variazioni nella tessitura del suolo nudo o di aree vegetative possono condurre all’identificazione di siti archeologici sepolti.

L’obiettivo del processo è ridurre l’informazione precedentemente contenuta nel set di bande originali in un numero minore di bande da utilizzare al posto delle originali.

Solitamente, la prima componente principale (P.C. 1) esprime la maggior parte della varianza presente sulla scena, le seguenti (P.C. 2, P.C. 3, ecc.) contengono una percentuale della varianza totale più piccola e l’ultima tende a essere dominata dal rumore.

¹²¹ LASAPONARA, MASINI, SCARDOZZI 2007, p. 209.



Fig. 27 – Da sinistra: immagine RGB, P.C. 6 e P.C. 9..

Come nel caso della trasformazione M.N.F., sono state scelte solo le bande aventi gli *eigenvalues* maggiori: pertanto la rotazione delle Componenti Principali contiene solo il numero di bande selezionate. I risultati dell'intera analisi sono stati soggetti ad interpretazione visiva, attraverso la creazione di immagini singole e composte, applicandovi le tecniche di *contrast stretching* già definite e utilizzate in precedenza. La necessità di controllare le immagini P.C. singolarmente, piuttosto che affidarsi esclusivamente agli *eigenvalues* come indicatori dell'informazione contenuta, è stata evidente quando alcune immagini di ordine più alto hanno dimostrato contenere informazioni aggiuntive non presenti nelle altre (fig. 27).

Analizzando le immagini MIVIS è stata verificata la presenza di anomalie rilevate nelle foto aeree e ne sono state individuate di nuove, non visibili ad occhio nudo. Le prime difficoltà sono state riscontrate nella scelta delle anomalie da analizzare nelle immagini iperspettrali, anomalie che spesso apparivano solo nei fotogrammi di certi anni piuttosto che di altri, o che non erano più visibili per modificazioni sul territorio dovute ad intervento antropico.

Tra tutte, le bande TIR (92-102) hanno dato i risultati migliori, spesso rilevando la presenza di anomalie non visibili altrimenti. Le immagini a colori (RGB) hanno spesso rappresentato il punto di riferimento per tutte le successive analisi, dando la visualizzazione della scena che più si avvicina alla realtà. Qualche utile indicazione è stata ottenuta grazie alle immagini False Color, specialmente all'infrarosso, soprattutto relativamente allo stato della vegetazione.

Infine l'utilizzo degli indici di vegetazione e dell'analisi P.C.A., ha fornito la conferma dei risultati ottenuti in precedenza. Gli indici DVI, NDVI e le singole bande P.C. hanno evidenziato in maniera più marcata le anomalie riscontrate, togliendo così ogni dubbio sulla loro effettiva presenza. In un caso l'utilizzo di P.C. composte ha permesso di rilevare una traccia non visibile in nessun altro tipo di elaborazione.

4.4 L'AUSILIO DELLA CARTOGRAFIA STORICA

Lo studio della cartografia storica permette di ottenere numerose informazioni, che vanno dalla rete viaria agli insediamenti di un determinato luogo; da alcune carte, è possibile inoltre ricavare degli importanti dati sull'utilizzo del suolo e sulla toponomastica dei luoghi. Nell'ambito del nostro progetto sono state utilizzate diverse cartografie storiche, conservate in gran parte presso l'Archivio di Stato di Venezia (Tavola I),

che sono state citate dal dottor Colussa¹²² nel suo contributo al presente volume. Tra le varie cartografie storiche utilizzate, ricordiamo:

- la carta del territorio tra Udine e Cividale del 1572, per la zona di Cividale, di Romans d'Isonzo e della Mainizza;
- le carte del *Josephinische Landesaufnahme* (1763-1787)¹²³, in italiano *rilievo topografico Giuseppino*, conosciuto anche con il termine di *catasto Giuseppino*¹²⁴;
- le carte della Biblioteca Statale Isontina di Gorizia, per il territorio regionale (Tavola 2);
- la carta regionale del 1887 del *Franzisco-Josephinische Landesaufnahme*, liberamente scaricabile da internet¹²⁵.

Le carte dell'archivio di stato di Venezia e le carte della Biblioteca Statale Isontina sono numerizzate in formato JPG con una risoluzione di 250 pp, mentre quelle del *rilievo topografico Giuseppino* sono in formato TIFF non compresso.

Le carte della Biblioteca Statale Isontina e la carta regionale del 1887 del *Franzisco-Josephinische Landesaufnahme* sono state inserite all'interno del GIS e sono state georiferite. La georeferenziazione di queste cartografie storiche comporta diversi problemi di distorsione e l'accuratezza della georeferenziazione non è sicuramente al livello di quella effettuata per le foto aeree. Nelle carte ottocentesche, considerate all'epoca molto attendibili, vi sono degli errori metrici piuttosto rilevanti, che le tecniche GIS riescono solo in parte a risolvere. Gli studiosi Lelo e Baiocchi hanno anche identificato le principali cause d'errore e le hanno analizzate:

- deformazioni della cartografia storica dovute ai problemi di conservazione del supporto cartaceo e alle differenze di proiezione;
- errore storico di rilevamento, ovvero propagazione di errori grossolani lungo la rete del rilievo;
- errore storico di rappresentazione dovuto alla presenza di particolari inesistenti o aggiunti per motivi estetici;
- errore contemporaneo di interpretazione, dovuto alla mancanza di informazioni dettagliate ed uniformemente distribuite sui cambiamenti morfologici subiti dagli edifici considerati come elementi invariati tra due cartografie successive;
- errore contemporaneo cartografico, dovuto ad imprecisioni della cartografia contemporanea utilizzata come base d'appoggio¹²⁶.

Per georiferire la cartografia storica si procede cercando dei punti di aggancio, sulle cartografie attuali o tramite rilievo GPS mirato sul terreno, che risultino riconoscibili e siano rimasti invariati nel tempo¹²⁷. Come base per georiferire le carte abbiamo usato la CTRn¹²⁸ 1:5000, la CTRn 1:25000 e le ortofotocarte del volo CGR 2003¹²⁹. Attraverso la *tool* del programma ArcView, abbiamo georiferito le carte assegnando dei punti comuni tra la cartografia storica e quella attuale; durante la georefe-

¹²² Vedi cap 6

¹²³ RAJŠP, 1995

¹²⁴ Non è in realtà una mappa catastale, ma una vera è propria carta geografica.

¹²⁵ http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Triest_-_31-46.jpg (22 settembre 2014)

¹²⁶ BAIOCCHI, LEO 2002, p. 127

¹²⁷ BAIOCCHI, LEO 2002, p. 128

¹²⁸ Cartografia Tecnica Regionale in formato

numerico, realizzata da fotorestituzione aerea e liberamente scaricabile in diversi formati, dal sito della regione Friuli Venezia Giulia all'indirizzo: <http://www.regione.fvg.it/rafvg/cms/RAFVG/ambiente-territorio/strumenti-per-conoscere/FOGLIA4/> (22 ottobre 2014).

¹²⁹ Il volo è effettuato dalla compagnia generale di riprese aeree o CGR.

renziazione, il programma provvede ad un controllo dei singoli valori e dell'errore quadratico medio RMS. L'errore quadratico permette di avere un controllo sulla validità della nostra georeferenziazione¹³⁰.

Zona geografica	Anno	Fondo dell'archivio di stato di Venezia
Mappa territorio di Cividale: tra Bolzan e Indro	1740	Prov. AAL Sanità
Cividale: Craoretto – Gramogliano	1685	Beni Treviso – Friuli
Cividale: Ruvignas, Ronchis	1606	Prov. Boschi
Carta con indicazione stradalta da Codroipo		Prov. Boschi
Friuli		Prov. Confini
Friuli: dal Tagliamento al Carso	XVI	Prov. Confini
Friuli: intinerario di alcune strade	XVI	Prov. Confini
Friuli: intinerari Udine San Daniele Carnia	XVIII	Prov. Confini
Topografia del Territorio tra Udine e Cividale	1572	Misc. Mappe
Friuli: località fiumi passi strade	XVII	Raccolta Terkuz
Friuli: Carnia e strada che porta a Villacco		Raccolta Terkuz
Friuli: Isonzo e Carnia*	1583	Prov. Confini

Tabella 1. Cartografia storica conservata presso l'Archivio di Stato di Venezia, utilizzata per il progetto

Nome	Anno	Catalogo Biblioteca Statale
Patria del Friuli	1692	CG 054
Carta delle Contee di Gorizia, di Gradisca, distretto di Trieste, e del Friuli Veneto	1780	Catalogo Manzini MZ 0020
Carta topografica della Provincia del Friuli	1818	CG 091

Tabella 2. Cartografia storica utilizzata per il progetto, conservata presso la Biblioteca Statale di Gorizia

4.5 L'INDIVIDUAZIONE DI ANOMALIE SUL TERRITORIO

Effettuata la georeferenziazione delle immagini, ci siamo concentrati sulla fotointerpretazione archeologica e sulla catalogazione delle diverse tracce riscontrate. Bisogna innanzitutto anticipare che durante la fase d'analisi e d'interpretazione delle foto aeree del territorio, siamo incorsi in alcuni problemi legati alla tipologia insediativa del Friuli Venezia Giulia. La regione è fittamente abitata e le aree libere dall'antropizzazione sono intensamente coltivate; questo comporta che spesso le anomalie visibili nei fotogrammi più datati, non sono più percepibili in quelli più recenti. La regione ha inoltre subito una forte urbanizzazione: i centri abitati si sono espansi e sono sorte molte aree commerciali nelle periferie delle città e lungo le grandi direttive viarie. Un'altra causa che ha sicuramente accelerato il cambiamento del paesaggio è stata la ricostruzione post terremoto. Lo studio diacronico delle anomalie non ha potuto essere eseguito su tutti i fotogrammi scattati nella stessa area in anni diversi; siamo tuttavia riusciti a recuperare alcune costanti che risultano visibili in tutte le foto, dalle più datate alle più recenti.

¹³⁰ CAMPANA, 2002.

Preso atto del problema legato alla lettura del terreno, abbiamo iniziato ad analizzare e a suddividere per tipologie le varie tracce e anomalie, individuate attraverso le foto aeree e il sensore MIVIS. Soprattutto nei fotogrammi più datati, dei voli della RAF degli anni '40 e dei voli dell'IGM degli anni '70, sono state riscontrate numerose tracce da vegetazione (*crop-marks* e *grass-marks*¹³¹); in alcuni casi è stato possibile individuare anche alcune tracce da alterazione nella composizione (*soil-marks*¹³²) e nel diverso assorbimento dell'umidità del terreno (*damp-marks*), soprattutto in terreni appena arati¹³³. Abbiamo così rilevato diverse tracce riconducibili a possibili strutture antropiche, segni di centuriazione e assi viari. Numerose anomalie si riferiscono probabilmente a sentieri e a strade di campagna non più utilizzate, a vecchie strutture abbandonate, e a scavi per la posa in opera di tubature, quali oleodotti o acquedotti. La traccia rettilinea di colore chiaro causata dalla presenza di queste particolari strutture interrate, produce sul terreno una traccia similare a quella lasciata dagli assi viari di epoca romana; numerosi sono gli esempi di tracce lasciate dalle *viae publicae*, ossia dalle vie principali solitamente lastricate (come le strade consolari), e dalle *viae glareatae*, strade secondarie costruite in battuto di breccia e sassi. Per la regione Friuli Venezia Giulia, in particolare, abbiamo alcune foto aeree piuttosto recenti, in cui sono ben visibili tratti del tracciato della via Iulia Augusta¹³⁴. Per cercare di riconoscere ed eliminare questi "falsi positivi" e per escludere tutte le infrastrutture interrate (acquedotti, tubature del gas ecc.) di epoca moderna, i fotogrammi sono stati studiati attraverso l'ausilio della Carta Tecnica Regionale numerica (CTRn)¹³⁵, fornita anch'essa dall'Ufficio Cartografico della Regione.

Tutte le tracce sono state poi digitalizzate all'interno del GIS¹³⁶; si è scelto di digitalizzare non solo le tracce visibili in più fotogrammi di anni diversi, ma anche quelle

¹³¹ Il *crop-marks* è una crescita anomala delle piante di cereale; si parla di *negative crop-marks* quando nel sottosuolo vi è la presenza di strutture murarie, e di *positive crop-marks* quando si è verificata un'asportazione di terreno (come ad esempio, nel caso del fossato di un castello). Nel caso di un *negative crop-marks* la crescita delle piante subisce un rallentamento e si osserva una diversa colorazione della vegetazione dovuta alla presenza della struttura muraria che non permette alle radici di scendere in profondità; essendoci inoltre meno terreno, anche l'umidità assorbita è minore, e la foto aerea rileverà una traccia di colore più chiaro. Nel caso di un *positive crop-marks* avviene l'esatto contrario: le piante risultano più rigogliose, grazie alla presenza di un terreno più morbido carico di umidità, in cui le radici possono scendere in profondità. In questo caso la foto aerea mostrerà una traccia di colore più scuro. Questi fenomeni hanno una durata piuttosto breve legata alla maturazione della pianta, per tale ragione la scelta del periodo in cui scattare la foto è essenziale. Con il termine *grass-marks*, si indicano quelle tracce visibili di colore scuro che vengono associate alla crescita di piante erbacee spontanee e che solitamente si riferiscono ad una asportazione di terreno che permette una maggiore umidità del suolo. Le tracce di colore più chiaro, chiamate *negative*

grass-marks, sono invece più evidenti quando le condizioni atmosferiche sono più severe (per esempio in caso di siccità, saranno proprio queste piante a risentirne per prime). Anche questo fenomeno è visibile per un periodo limitato, sebbene più lungo rispetto a quello dei cereali (Wilson, 2000 pp. 74-75); (Piccarreta, 1987 pp. 126); (Musson *et al.*, 2005 p. 41-44).

¹³² I *soil-marks* sono tracce sul terreno di diverso colore dovute alla concentrazione di materiale o determinate da un'antica asportazione di terreno, come nel caso di un fossato. (Musson *et al.*, 2005 pp. 40-41); G. CERAUDO & BOSCHI, 2009, p. 184.

¹³³ I *damp-marks* sono tracce dovute alla diversa colorazione del suolo e sono causate dalla presenza di una maggiore o minore umidità nel terreno. Queste tracce si osservano in terreni privi di vegetazione e sono più evidenti soprattutto dopo una pioggia intensa. (Piccarreta, 1987 pp.121), (Wilson, 2000, p. 62-65).

¹³⁴ ROSSETTI, 2006

¹³⁵ CTRn 1:5000 seconda edizione aggiornamento 2003.

¹³⁶ Inizialmente abbiamo utilizzato la versione 9.3 del software ArcGIS della ESRI e, successivamente, la versione 10, dove il tool relativo alla digitalizzazione è stato notevolmente ampliato e migliorato.

più evidenti e interessanti (il volo dell'IGM del 1970, avendo una copertura e risoluzione maggiore, ha permesso infatti d'individuare un gran numero di anomalie, non riscontrabili in altre riprese aeree¹³⁷).

Agli *shape* poligonali è stato associato un *database* in cui sono stati inseriti: i dati relativi al volo (l'ente che ha effettuato la campagna fotogrammetrica, l'anno di realizzazione, il numero di strisciata e di fotogramma); la localizzazione geografica (regione, provincia e comune) ed infine i dati riferiti alla traccia stessa, quali la tipologia (crop marks, soil marks, ecc), la categoria (negativa o positiva), la forma (rettangolare, lineare, circolare ecc.), l'affidabilità e, dove possibile, l'interpretazione che è stata data della traccia, evidenziando la sua possibile presenza in fotogrammi di anni precedenti o successivi.

Alcune tracce hanno attirato in particolare la nostra attenzione: nei dintorni di Osoppo, per esempio, sono state riscontrate diverse tracce di forma rettangolare che potrebbero essere ricondotte ad alcune strutture (Fig. 28); nei pressi del colle di Buia, è stata osservata una traccia di forma lineare, visibile anche nel volo RAF (Fig. 29). Interessanti anche alcune anomalie emerse dallo studio dei voli RAF degli anni '40, in cui è stato possibile rilevare delle tracce rettilinee di colore chiaro (*soil marks*), tra le zone di Cormons e Mariano del Friuli. Da un primo raffronto con la Carta Tecnica

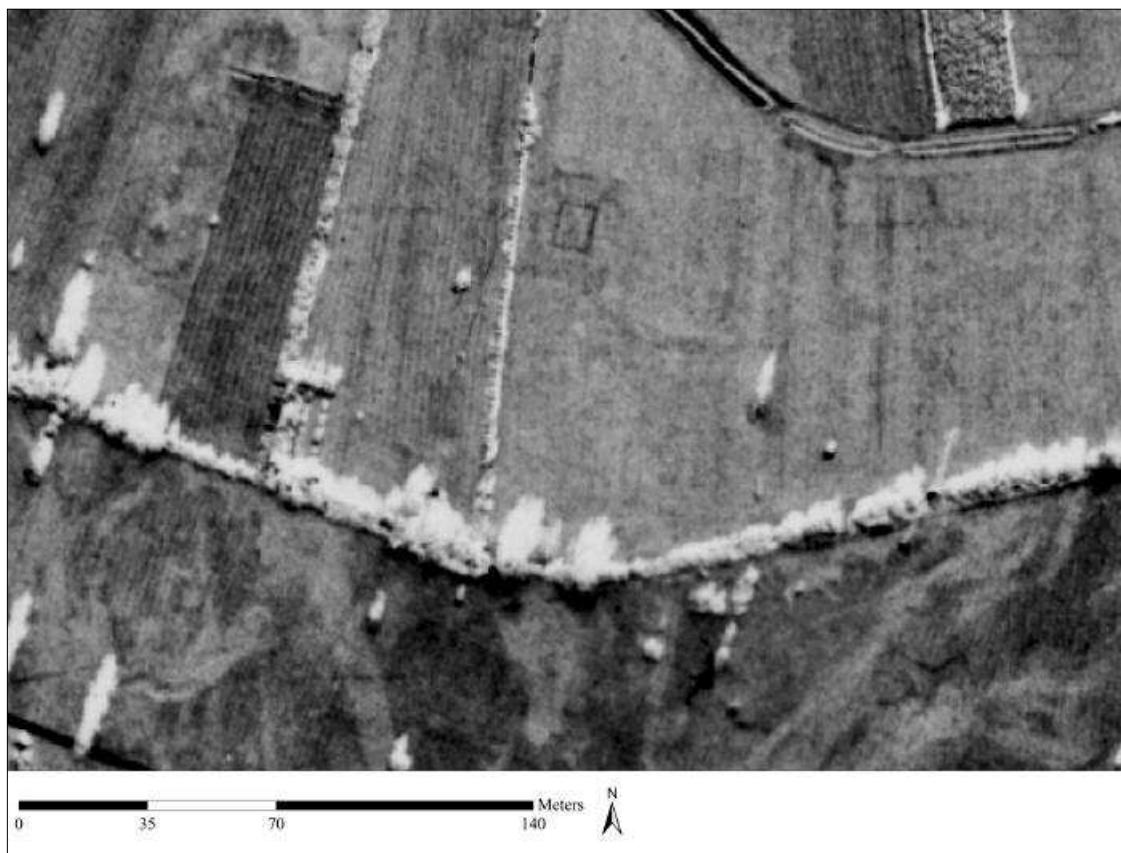


Fig. 28 – Tracce di forma rettangolare, nei dintorni di Osoppo, che potrebbero essere ricondotte ad alcune strutture (volo IGM 1970).

¹³⁷ Le anomalie riscontrate nel volo IGM del 1970 sono state confrontate con le tracce evidenziate dalle elaborazioni dei fotogrammi del senso-

re aviotrasportato MIVIS. Queste analisi sono state oggetto di una laurea specialistica MONTAGNER, 2009.

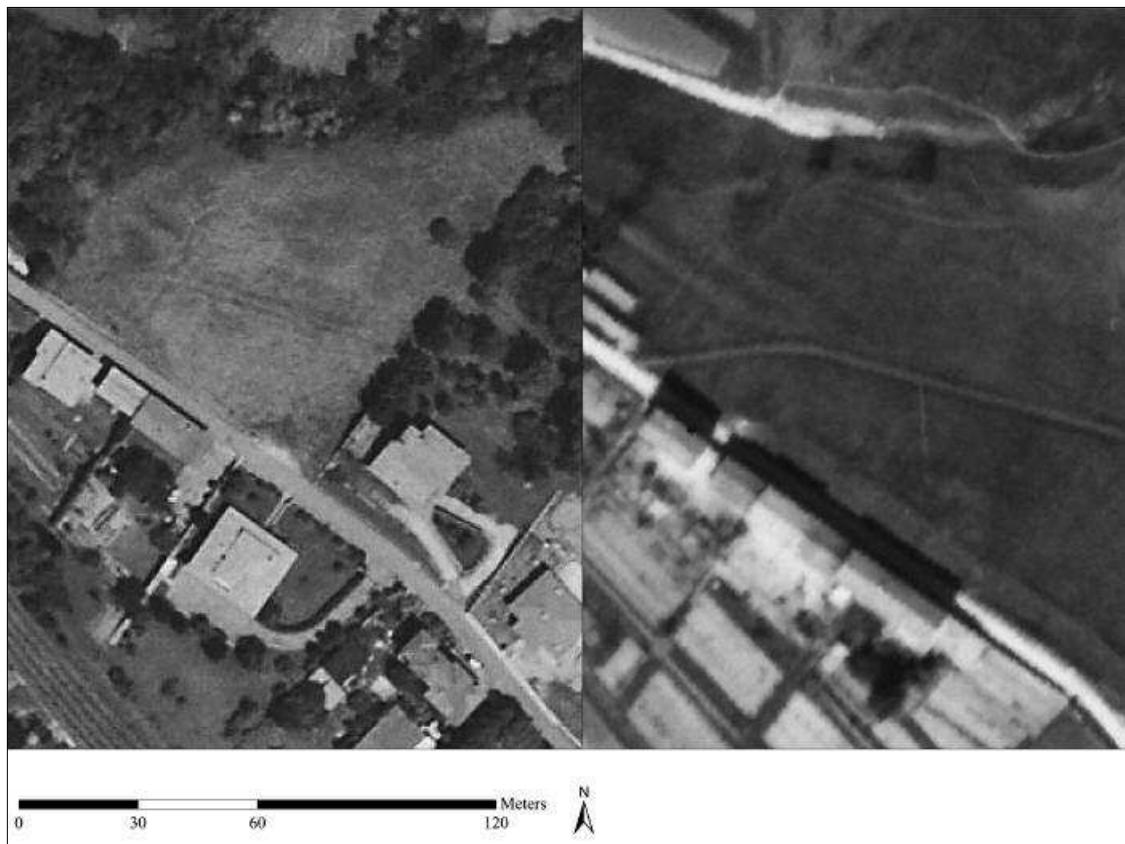


Fig. 29 – Tracce di forma lineare, nei pressi del colle di Buia, visibile nel volo RAF del 1944 (a destra) e nel volo IGM 1970 (a sinistra).

Regionale in scala 1:5000, non risultano esserci tubature interrate in quella zona, quindi si potrebbe effettivamente trattare di possibili tracce di viabilità antica, forse delle vie di raccordo tra Cividale e la strada che da Aquileia portava a Emona, l'attuale Lublana, in Slovenia (Fig. 30). Alcune tracce rettilinee sono visibili anche presso Dolegnano, non lontano dalla località di Mainizza, dove si trovano i resti di un ponte romano sul fiume Isonzo (Fig. 31); tali tracce potrebbero tuttavia riferirsi a vecchi tracciati di canalizzazione, poiché dalla cartografia storica risulta che in questa zona erano in uso diversi mulini ad acqua. Una traccia rettilinea è visibile anche in alcuni fotogrammi¹³⁸ nei pressi di Collalto, lungo la viabilità che porta ad Artegna; anche in questo caso abbiamo verificato l'esistenza di possibili tubature interrate o di altre strutture, che avrebbero potuto alterare la struttura del suolo, creando un'anomalia di forma rettilinea, ma l'esito è stato negativo.

Per le tracce relative ai possibili assi viari è ancora più difficile trovare delle evidenze archeologiche sul terreno; se in epoca romana abbiamo una rete viaria ben strutturata, ed in parte molto ben realizzata, in epoca medievale viene a mancare quel forte potere centrale che organizzava e gestiva anche la parte legata alla manutenzione viaria. Inizialmente vennero utilizzate le strade romane, ma quando divennero inutilizzabili a causa della mancata manutenzione, si iniziarono a creare dei percorsi alternativi, che da semplici sentieri - con il continuo passaggio di merci e persone - prese-

¹³⁸ Volo CGR 2007 fotogramma 066030.

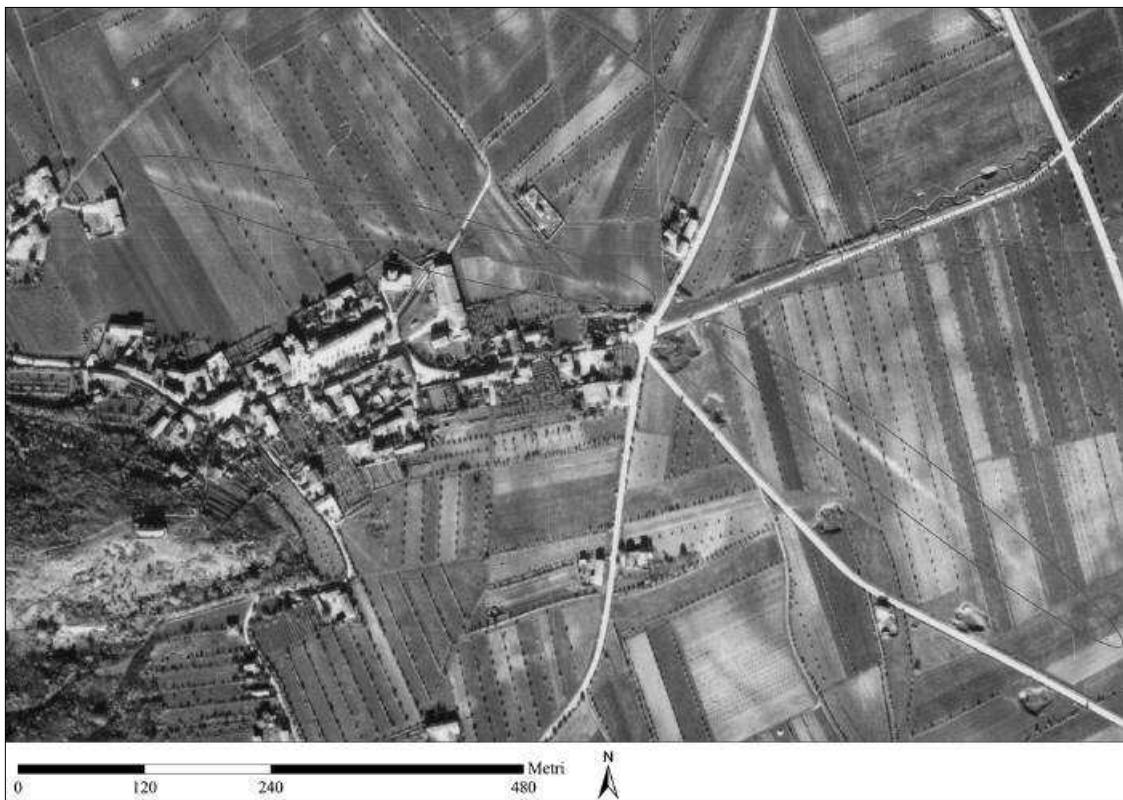


Fig. 30 – Tracce rettilinee di colore chiaro (*soilmarks*), tra le zone di Cormons e Mariano del Friuli (volo RAF 1944).

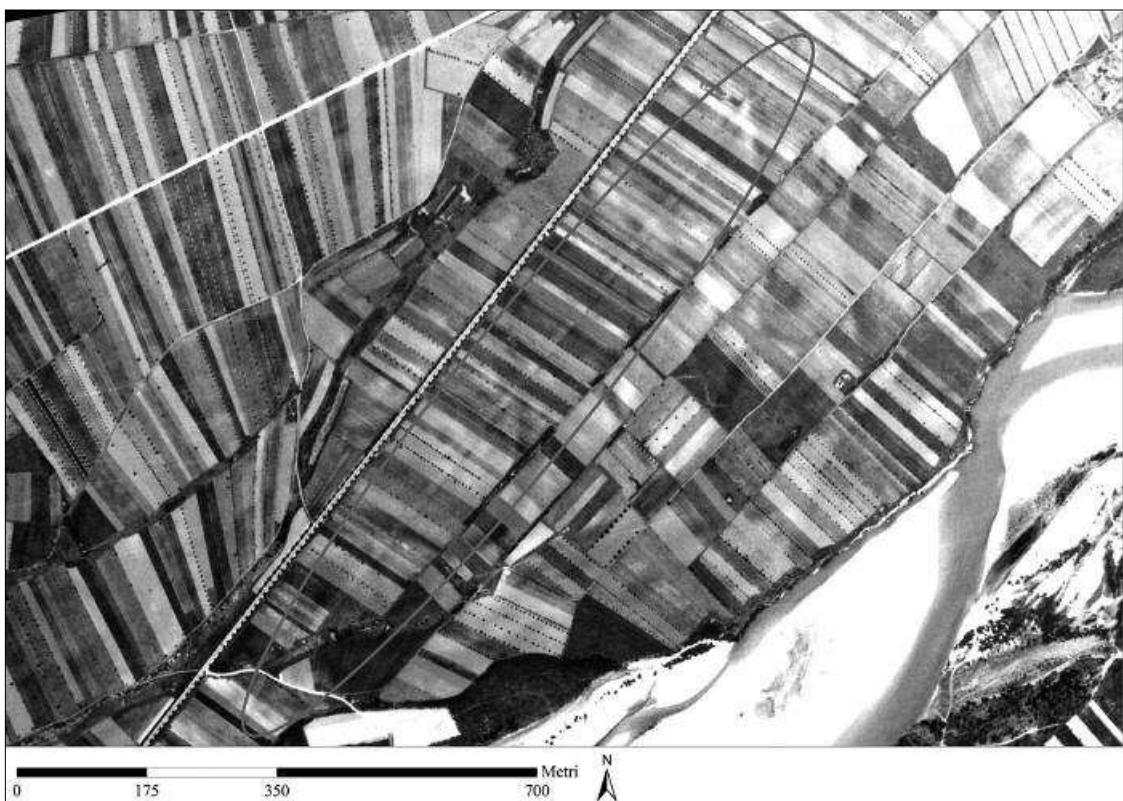


Fig. 31 – Tracce rettilinee visibili presso Dolegnano, non lontano dalla località di Mainizza (volo RAF 1944).

ro rapidamente il posto delle vecchie strade romane (ne abbiamo diversi esempi anche nella nostra regione, come la Bariglaria e la Stradalta, per citare le più famose).

Queste tracce sono ancora in parte visibili dalle foto aeree e dalle immagini satellitari, in contesti non troppo urbanizzati (abbiamo numerosi esempi soprattutto nei paesi Centro e Sudamericani¹³⁹), mentre in territori dove l'antropizzazione e lo sfruttamento agricolo sono marcati, queste tracce sono praticamente scomparse.

Per alcune tracce si è scelto di compiere delle ricognizioni archeologiche sul campo, che tuttavia hanno spesso dato esito negativo; in alcuni casi, delle tracce molto chiare, che avevano uno continuità di evidenza in foto aeree di anni diversi, sono risultate dei semplici resti di costruzioni di epoca recente. Ricordiamo ad esempio il caso dell'anomalia di forma quadrangolare, in cima alla collina a Sud Est del paese di Artegna (l'anomalia era visibile nelle foto del volo GAI del 1954 e nelle foto del volo IGM 1970; nel volo CGR 2007 la collina era coperta da uno strato boschivo, che seguiva un andamento molto regolare, di forma geometrica). (Fig. 32)

Purtroppo molte anomalie emerse dallo studio delle foto aeree più datate, non hanno più alcun riscontro sul terreno; ricordiamo ad esempio un *crop marks* positivo di forma rettangolare, con dei rinforzi agli angoli, evidenziato nei fotogrammi delle foto IGM 1970 e localizzato nel comune di Cassacco, in località Martinazzo, lungo una strada dal toponimo molto interessante di via della Mura. Oggi, sopra questa anomalia, sorge una abitazione privata. (Fig. 33)

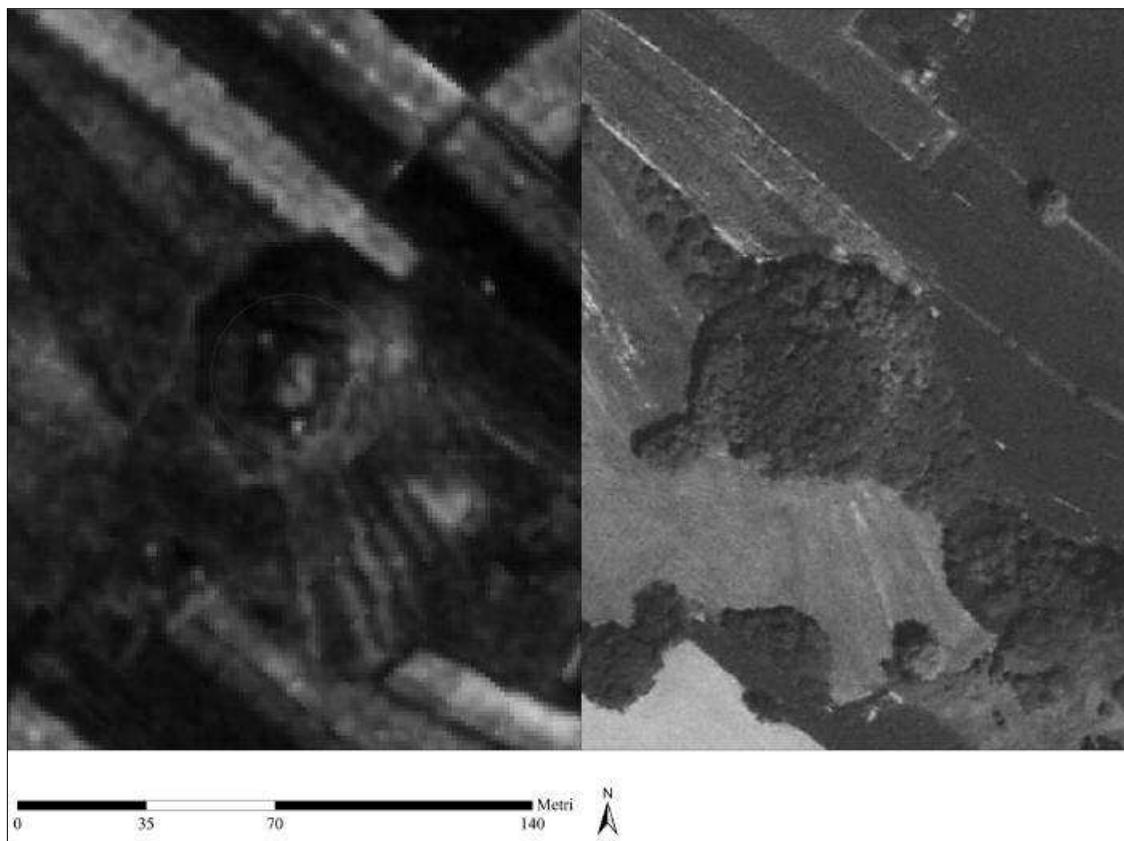


Fig. 32 – Anomalia di forma quadrangolare, in cima alla collina a Sud Est del paese di Artegna (a sinistra volo GAI del 1954 a destra volo CGR 2007).

¹³⁹ CHASE & CHASE, 2001; SEVER & IRWIN, 2003.

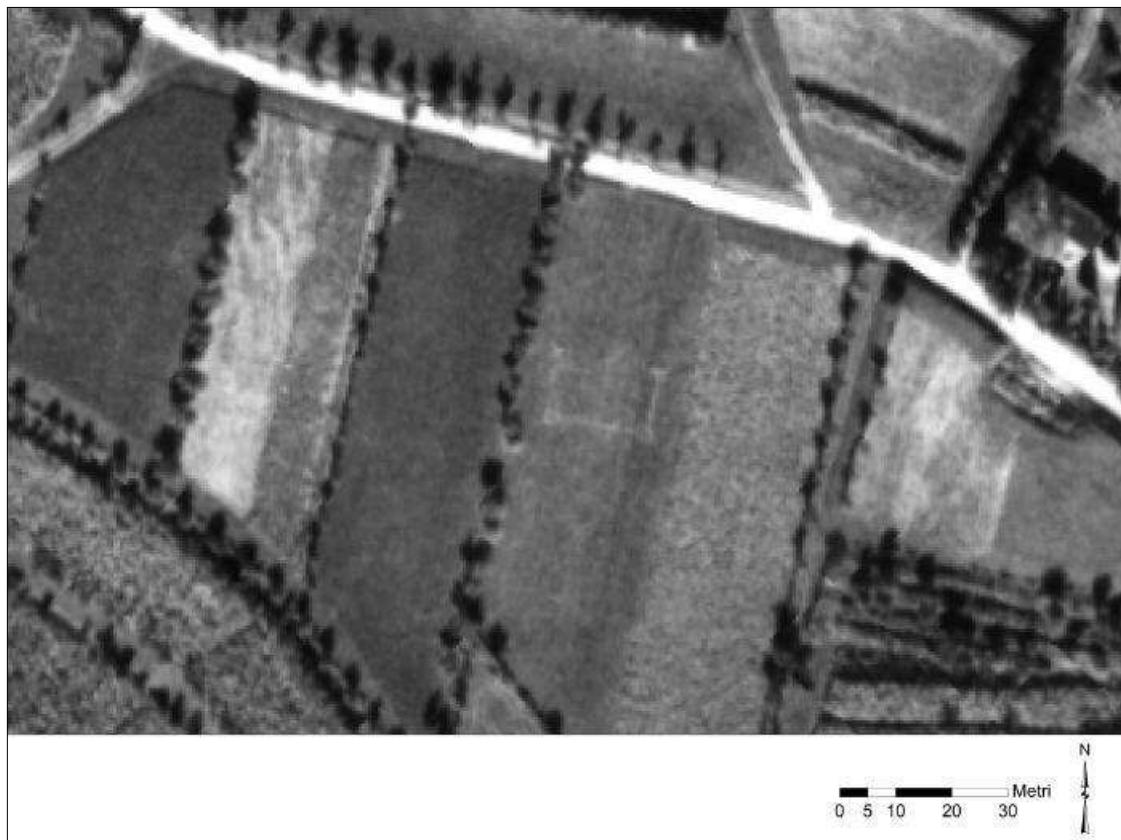


Fig. 33 – *Cropmarks* positivo di forma rettangolare, con dei rinforzi agli angoli, evidenziato nei fotogrammi delle foto IGM 1970, in località Martinazzo nel comune di Cassacco.

4.6 GIS E ANALISI SPAZIALI

Perché le analisi spaziali e il GIS?

Molto spesso il termine GIS¹⁴⁰ viene utilizzato per identificare un particolare tipo di software; in realtà il software è solo una delle componenti, che insieme all'hardware, ai dati, alle procedure e alle persone, dà origine al Sistema Informativo Geografico. Ma che cosa sono i sistemi informativi geografici? Il nome stesso ci può venire in aiuto:

- con il termine “sistema” indichiamo tutto l’insieme di persone, di apparecchiature, di applicazioni e di procedure che compongono il GIS;
- il termine “informativo” viene usato per indicare la gestione, l’utilizzazione e la trasformazione dei dati, per la creazione dell’informazione;
- infine il termine “geografico” sta ad indicare che i contenuti sono georiferiti e quindi collocabili in un determinato spazio geografico; è proprio questa caratteristica che lo contraddistingue da un Sistema Informativo.

Burrough, uno dei padri dei Sistemi Informativi Geografici, lo definisce: “Un potente insieme di strumenti per raccogliere, archiviare, reperire, trasformare e visualizzare dati spaziali dal mondo reale”¹⁴¹. Il GIS è dunque uno strumento che non si li-

¹⁴⁰ Geographic information system.

¹⁴¹ BURROUGH, 1986.

mita alla visualizzazione di layer tematici e alla vettorializzazione di mappe come un semplice CAD, ma permette d'interpretare i fenomeni del mondo reale, analizzando la loro componente spaziale; grazie a tale componente, è in grado di effettuare delle relazioni tra diverse tipologie di dati, che un normale database non sarebbe in grado di fare. Il GIS ci permette inoltre di analizzare, capire e studiare i dati geograficamente referenziati, rivelandone tendenze, modelli e relazioni che possono essere successivamente visualizzate attraverso mappe o grafici.

I Sistemi Informativi Geografici nascono alla fine degli anni '60, in Canada¹⁴² e negli Stati Uniti¹⁴³, anche se sarà nel decennio successivo - e in particolare negli anni '80 grazie anche alla diffusione dei calcolatori - che il software inizierà ad essere sempre più utilizzato in diversi ambiti, dalla geografia alle scienze naturali, dalla difesa¹⁴⁴ all'economia, per arrivare infine all'ambito storico e archeologico.

Al giorno d'oggi, le applicazioni dei sistemi GIS in ambito archeologico non si limitano alla gestione dei layer cartografici, ma permettono anche la realizzazione di modelli predittivi e di analisi spaziali più o meno complesse, utili ai fini della ricostruzione dei sistemi insediativi, dell'ambiente e del paesaggio nell'antichità.

Come abbiamo visto, per creare la nostra base di dati GIS, abbiamo dovuto acquisire e georiferire tutte le foto aeree utilizzate, digitalizzando successivamente le tracce delle anomalie riscontrate. Su questa base cartografica, abbiamo posizionato gran parte dei siti di epoca longobarda che sono stati oggetto di indagini archeologiche o di cui vi fosse un'attestazione documentata¹⁴⁵. Purtroppo, nel caso di pubblicazioni piuttosto datate (soprattutto quelle precedenti agli anni '80), è venuta spesso a mancare l'ubicazione precisa del rinvenimento: talvolta venivano infatti utilizzati dei punti di riferimento troppo generici o oramai scomparsi¹⁴⁶. In tali casi, si è scelto di non inserire il punto, o di posizionarlo¹⁴⁷, segnalando il grado di affidabilità all'interno del database.

Come base cartografica, sono state utilizzate:

- la Carta Tecnica Regionale numerica, sia a scala 1:5000 che a 1:25000¹⁴⁸
- le diverse carte storiche georiferite, come la cartografia storica del *rilievo topografico Giuseppino* e le mappe catastali del 1811 e del 1843

Sono stati inoltre inseriti svariati layer tematici:

- la rete fluviale (abbiamo analizzato l'andamento dei fiumi, confrontando la rete idrologica del 1800, ricavata dalla cartografia storica, con quella del 2007, fornita in formato *shape file* dalla regione)

¹⁴² Il *Canada Geographic Information System* o CGIS, sviluppato negli anni '60 sotto la direzione di Roger Tomlinson, viene considerato come il primo esempio di GIS.

¹⁴³ Nella seconda metà degli anni '60 viene fondato da Howard Fisher l'*Harvard Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis*, dove verrà realizzato il primo pacchetto software SYMAP che permetteva di gestire il dato geografico e di creare delle semplici carte tematiche CHRI-SMAN, 1988.

¹⁴⁴ GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), uno dei più utilizzati software GIS open source, è stato sviluppato agli inizi degli anni '80 dall'esercito degli Stati Uniti d'America;

per la storia di GRASS, vedi: <http://grass.osgeo.org/home/history/> (30 ottobre 2014).

¹⁴⁵ Per un fattore temporale ci siamo concentrati solo sulle fonti edite.

¹⁴⁶ Il riferimento in alcuni casi è dato dal nome del proprietario del terreno dove è stato effettuato lo scavo archeologico, oppure molto spesso vengono usate delle indicazioni molto vaghe o legate ad un toponimo ormai caduto in disuso, spesso per esempio legate al proprietario del terreno dove c'è stato il ritrovamento.

¹⁴⁷ Dobbiamo anche fare attenzione in che scala stiamo lavorando: una precisione sotto il metro su una cartografia al 1:25000 è praticamente inutile.

¹⁴⁸ Anno della levata, 2006.

- la carta di uso del suolo realizzata nel 2000¹⁴⁹
- la cartografia geologica in scala 1: 25000 e 1:5000
- la rete stradale moderna

Inoltre, grazie all'importante lavoro realizzato da Sandro Colussa per la sua tesi di dottorato sul territorio intorno a Cividale, abbiamo inserito i dati sull'uso del suolo delle singole particelle catastali¹⁵⁰.

Come abbiamo già evidenziato nei paragrafi precedenti, i diversi software GIS – siano essi di tipo open source o commerciale – non sono solo dei semplici visualizzatori di dati geografici; da un lato, essi permettono l'elaborazione del dato attraverso alcune particolari tipologie di analisi spaziale, dall'altro, per mezzo di diverse analisi statistiche e di tecniche di simulazione, permettono di classificare, rappresentare e interpretare il paesaggio archeologico, in micro o macro scala, basandosi sulle relazioni spaziali e diacroniche che intercorrono fra gli elementi antropici, naturali, ambientali e, in parte, secondo fattori socio politici¹⁵¹.

L'analisi spaziale va intesa come un metodo trasversale, caratterizzato da diversi approcci metodologici, che si propone di contribuire alla comprensione e allo studio della distribuzione dei fenomeni nello spazio. Essa si occupa di qualsiasi forma di distribuzione spaziale, e per tale ragione non si limitata al solo campo della geografia, ma viene applicata anche ad altre discipline. L'analisi spaziale è uno strumento che fa evolvere i dati in informazioni; il passaggio successivo, attraverso il quale si giunge dalle informazioni alle valutazioni, è affidato invece alle capacità interpretative del ricercatore.

Nell'ambito del progetto, le analisi spaziali¹⁵² sono state utilizzate per cercare di ricostruire la viabilità di epoca tardoantica e medievale, e per tentare d'individuare le possibili zone d'insediamento dei Longobardi, di cui si sa poco o nulla. Per quanto riguarda la ricostruzione della viabilità antica, è tuttavia importante fare una premessa: le analisi spaziali e la fotointerpretazione aerea non permettono di stabilire con certezza quale fosse l'utilizzo di un tracciato viario in un dato periodo storico. Se per l'epoca romana abbiamo diversi riscontri archeologici e fonti storiche che possono aiutarci nell'individuazione e nella datazione di una strada, per l'epoca medievale, e soprattutto per l'Alto Medioevo, il problema è molto più complesso¹⁵³.

L'analisi spaziale permette di ricostruire i possibili tracciati viari; essa analizza quali sono i costi minori per percorrere una certa distanza, da un punto A ad un punto B, ma purtroppo non ci permette di dare una datazione precisa a questi ipotetici percorsi. Alla luce dei dati storici ed archeologici, è tuttavia possibile “condizionare” il passaggio di una strada; conoscendo ad esempio l'ubicazione precisa di un ponte o di una porzione di strada di epoca romana, venuta alla luce durante dei sondaggi archeologici, è possibile “forzare” il calcolatore, facendo passare le nostre ricostruzioni viarie in quei punti, ed ipotizzando in quel caso che si tratti di percorsi di epoca romana o tardoantica. In altri casi, è possibile invece utilizzare le stesse necropoli di epoca longobarda come variabili per “attirare” la viabilità ricostruita.

¹⁴⁹ Scaricabile dal sito <http://www.centrointerregionale-gis.it/script/corinedownload.asp> (30 luglio 2013).

¹⁵⁰ Per alcune particelle catastali, Colussa è riuscito a risalire fino al 1300, grazie ai documenti d'archivio e allo studio dei toponimi COLUSSA, 2011.

¹⁵¹ FORTE, 2002.

¹⁵² CONOLLY & LAKE, 2006; JÁNICA, 2001; MACCHI JÁNICA, 2009; ROBERTSON, SEINBERT, FERNANDEZ, & ZENDER, 2006

¹⁵³ Vedi il capitolo paragrafo 1.4.

Come già evidenziato in precedenza, le analisi spaziali sono uno strumento interessante, ma devono sempre essere utilizzate partendo dai dati archeologici e storici; il loro scopo è quello di fornire un dato ulteriore, che potrà contribuire ad avvalorare o a smentire una certa ipotesi storico archeologica, rispetto ad un'altra.

4.7 LA RICOSTRUZIONE DELLA VIABILITÀ

Nel territorio che abbiamo preso in esame per le nostre analisi, che ricalca in gran parte l'antico ducato longobardo del Friuli, abbiamo posto come limite ovest il fiume Tagliamento e come limite sud il paese e la necropoli di Romans d'Isonzo. In epoca romana, questa porzione di territorio era attraversata da alcune importanti strade consolari e da numerose strade secondarie, che si irradiavano da quelle principali per servire il territorio circostante. Esiste un'ampia bibliografia relativa alla viabilità romana in Regione¹⁵⁴; in particolare, per il progetto, sono state prese in considerazione le ipotesi viarie di Luciano Bosio¹⁵⁵ e di Mario Brozzi¹⁵⁶. Da questi studi, Isabel Ahumada Silva ha elaborato una carta in cui sono localizzati i *castra* e i tracciati delle strade principali¹⁵⁷.

Tra le principali strade consolari romane che attraversavano il territorio, ricordiamo:

- l'*Annia*, costruita intorno al 153 a.C.¹⁵⁸, che da Adria raggiungeva Aquileia. Molto probabilmente fu abbandonata in epoca longobarda - a causa dei numerosi impaludamenti dovuti al suo tracciato perlagunare¹⁵⁹ - e fu sostituita da una tracciato viario posizionato più a nord, la cosiddetta Stradalta¹⁶⁰, che da *Forum Iulii*¹⁶¹, capitale del Ducato, raggiungeva Codroipo per poi collegarsi ad un'altra importante via consolare: la Postumia¹⁶². Molto probabilmente fu questa la strada percorsa nel 489 d.C. da Teodorico, re dei Goti, per dirigersi verso Verona¹⁶³.
- La cosiddetta via *Iulia Augusta*, che da Aquileia portava verso il *Norico* passando per Gemona; qui, in epoca medievale, veniva effettuato il cambio dei mezzi di trasporto, poiché al carro venivano preferiti i muli per affrontare gli impervi percorsi di montagna. Da Gemona, si poteva quindi proseguire verso due direzioni: verso il passo del Predil, per raggiungere *Virunum*¹⁶⁴, o verso il passo di Monte Croce Carnico, per arrivare ad *Aguntum*¹⁶⁵. Numerose strade secondarie si stac-

¹⁵⁴ BOSIO, 1997, pp. 157-211; GRILLI, 1979; PRENC, 2000, pp. 43-49; TAGLIAFERRI & CENCIG, 1986, pp. 163-244. Sulla continuità dei percorsi viari nelle epoche successive: AHUMADA, 2001, p. 342 e seg; AZZARA, 2003; BOSIO, 1997; BROZZI, 1981; D. DEGRASSI, 2008; MAURIZIO BUORA, 2011.

¹⁵⁵ BOSIO, 1997.

¹⁵⁶ BROZZI, 1981.

¹⁵⁷ AHUMADA, 2001, tav. V.

¹⁵⁸ Alcuni studiosi datano la costruzione della strada tra il 131 o 126 PRENC, 2000, p. 44.

¹⁵⁹ BROZZI, 1981 pp. 13-14; ROSADA, 2010 p. 22.

¹⁶⁰ Interessante la carta storica (non datata) dell'archivio di stato di Venezia (provv confini 166 ds 2) in cui sono disegnate la Stradalta e una strada

che andava da Chiopris a Visco.

¹⁶¹ Cividale in epoca romana.

¹⁶² In questo progetto non abbiamo analizzato il percorso della via Postumia e della Stradalta quindi non verrà affrontata la questione relativa al tracciato alto o basso della via Postumia GRILLI, 1979, pp. 256-257; (Tagliaferri, Cencig, 1986, p. 207-210 e 214); (Prenc, 2000, p. 46-48).

¹⁶³ AZZARA, 2003, p. 86.

¹⁶⁴ *Claudium Virunum* era una città romana posta nella provincia del *Norico*, oggi si trova nella regione austriaca della Carinzia, non lontana dall'attuale città di Villach.

¹⁶⁵ *Aguntum*, nella provincia del *Norico*, si trova a circa 4 km a est di Lienz, lungo la valle della Drava, in Austria.

cavano inoltre dalla *Iulia Augusta* per raggiungere la città di Cividale, e molte di esse continuaron sicuramente ad essere utilizzate anche in epoca longobarda; ricordiamo ad esempio la strada che si staccava all'altezza della odierna Terzo, che passando per Chiopris, Medeuzza, Bolzano, Manzano e Firmano, giungeva infine a Cividale¹⁶⁶.

Nella parte meridionale del territorio in esame, possiamo individuare almeno due tracciati viari che correva non lontano dalla necropoli di Romans d'Isonzo; il primo congiungeva Aquileia con Cividale¹⁶⁷, il secondo era un collegamento minore tra questa strada e la via che da Aquileia portava a *Emona* (l'odierna Lubiana/Ljubliana)¹⁶⁸. La necropoli si trovava proprio a nord di quest'ultimo importante tracciato che, correndo verso est, attraversava l'Isonzo in corrispondenza del *Ponte Sonti*¹⁶⁹, località identificabile con l'attuale Mainizza, in Comune di Farra d'Isonzo (GO). Nei pressi di questa località, dei recenti scavi archeologici¹⁷⁰ hanno portato alla luce i resti di un ponte, forse quello descritto da Erodiano¹⁷¹, da lui definito come un'opera imponente e magnifica, più volte distrutta e oggetto di rifacimenti. Secondo Brozzi, essendo questa probabilmente la via che fu utilizzata dai Longobardi per entrare in Italia, è possibile che dal VI sec. d.C. vi fosse una guarnigione longobarda a controllo del ponte¹⁷². È altresì riconosciuto un percorso diretto da *Ponte Sonti* a Cividale¹⁷³. Alcuni studiosi riconoscono in questa viabilità secondaria una via pedemontana, che proseguiva oltre Cividale, toccando gli attuali paesi di Faedis, Attimis e Nimis, fino ad arrivare ad Artegna, dove si congiungeva alla *Iulia Augusta*; è molto probabile che tale tratto ricalchi una viabilità già esistente in epoca preistorica¹⁷⁴.

La metodologia

Per ricostruire i tracciati viari nella nostra zona di studio, abbiamo utilizzato diverse metodologie di analisi spaziali contenute all'interno del software GIS; tra queste, è stata utilizzata in particolare la *cost surface analysis*¹⁷⁵. Per effettuare tale analisi

¹⁶⁶ BOSIO, 1997, pp. 192-196 TAGLIAFERRI & CENCIG, 1986.

VENTURA, 2005, pp. 89-90.

¹⁶⁷ Tagliaferri in TAGLIAFERRI & CENCIG, 1986, pp. 231-241 individua diverse strade in questa zona: una più diretta, che da Gradisca arriva a Cividale, e altre due che risalgono il Natisone: una sulla riva sinistra, che da Aquileia passa per Manzano, l'altra sulla riva destra, che sempre partendo da Aquileia, arriva a Cividale. Per Grilli (GRILLI, 1979), p. 252, il percorso rimane incerto e il collegamento, documentato dal III-IV sec. d.C. deve essere retrodatato. Per BOSIO 1991, pp. 193-198, il tracciato per Medea e la sinistra Natisone percorreva già dal II sec. a.C. una pista protostorica; PRENC 2000, pp. 47-48, ricostruisce il tracciato da Aquileia fino a Cavenzano, riconoscendo poi ben sei vie laterali verso Cividale, che si staccavano dal tratto Cavenzano-Tricesimo della Aquileia-Norico.

¹⁶⁸ Sulla Aquileia-*Emona* BOSIO, 1997, pp. 201-211; GRILLI, 1979, p. 252; PRENC, 2000, p. 48; TAGLIAFERRI & CENCIG, 1986, pp. 207-212.

¹⁶⁹ Questo ponte è così citato nella *Tabula Peutingeriana*; vedi anche MAGNANI, BANCHIG, & VENTURA, 2005, pp. 89-90.

¹⁷⁰ Il fiume Isonzo è regolato da una diga che si trova in territorio sloveno; in periodi di siccità tale diga viene chiusa, e il conseguente svuotamento del letto del fiume ha portato alla luce i resti della struttura, in periodi diversi: nel 2003 (MAGNANI ET AL., 2005) e nell'estate 2012. In quest'ultimo scavo, eseguito dalla ditta Archaotest sono stati riportati alla luce due basi dei pilastri del ponte, che erano già state segnalate in passato, ma non erano mai state rilevate con precisione.

¹⁷¹ Herodoto, VII, 8- VIII, 4.

¹⁷² BROZZI, 1981, p. 15.

¹⁷³ Questo percorso è ipotizzato da Grilli (GRILLI 1979, p. 252); mentre Tagliaferri lo fa passare prima per Gradisca (TAGLIAFERRI & CENCIG 1986, pp. 167-168 e pp. 231-237); vedi anche Bosio (BOSIO, 1997, pp. 198 e pp. 204-206) che fa passare il percorso per Cormons. Interessante anche la cartina di Modugno in MAGNANI, 2007, p. 132.

¹⁷⁴ BOSCAROL, 2009, pp. 56-59.

¹⁷⁵ L'analisi dei costi di superficie è una delle analisi spaziali più utilizzate in archeologia; per tale ragione è quindi difficile riuscire a fare un elenco

viene utilizzata la cartografia di tipo *raster*¹⁷⁶, dove ad ogni singolo pixel sono assegnati determinati valori, ricavati dalla somma o dalla sottrazione di un insieme di variabili¹⁷⁷. Attraverso queste operazioni è stata realizzata una superficie, in cui, ad ogni singolo pixel, è stato assegnato un valore numerico corrispondente alla difficoltà, e quindi al costo, per il suo superamento. Su questa superficie, sono stati posizionati il punto di partenza e il punto di arrivo della nostra ipotetica strada e il software ha quindi generato un percorso, selezionando le celle della superficie *raster* con i costi minori.

Per assegnare il valore numerico alle celle della nostra superficie di costo abbiamo eseguito diversi passaggi. Come primo passo è stato creato un modello digitale del terreno¹⁷⁸, su cui abbiamo in seguito sommato le diverse variabili. Il nostro modello digitale del terreno è stato generato utilizzando i dati altimetrici in formato ASCII¹⁷⁹ forniti dal sito della regione Friuli Venezia Giulia, ricavati dalla CTRn 1:5000. Tali file ASCII, uno per ogni foglio della CTRn 1:5000, sono stati inseriti all'interno di "Estrae", un software scritto in Visual Basic dal dott. Michele Fornetti, tecnico del laboratorio GEOLAB dell'Università degli studi di Trieste¹⁸⁰. Questo software permette di selezionare i dati altimetrici che saranno successivamente utilizzati per la creazione di un particolare formato di file TXT, leggibile dal software ArcINFO¹⁸¹. La possibilità di selezionare in maniera precisa i dati altimetrici è fondamentale, poiché ci permette di creare un modello digitale del terreno epurato dalle altimetrie ricavate da strutture moderne, come viadotti, ponti, quote di campanili o di case¹⁸². Questi punti quotati ricavati dalla cartografia, ci permettono di creare un TIN¹⁸³, da cui poi verrà generato il modello digitale del terreno vero e proprio. Per realizzare il TIN

esaustivo dei diversi lavori in cui è stata applicata. Tra i più recenti possiamo citare LLOBERA, 2000; LEUSEN, 2002; JSTRUD, 2005; PECERE, 2006; GIETI, DONEUS, & FERA, 2007; CASAROTTO *et al.*, 2009; SCHRIEGER, & SHACKLEY, 2010; POSLUSCHNY & HERZOG, 2011; BENFER, 2012; HERZOG & OUBI, 2012; CASANA, 2013; CASAROTTO & KAMERMANS, 2013.

¹⁷⁶ La cartografia *raster* è formata da celle o pixel, ad ogni cella è assegnato un valore che identifica o descrive la classe, la categoria o il gruppo a cui la cella appartiene (oppure una determinata quantità che identifica il fenomeno descritto). Un esempio di rappresentazione di un dato in formato *raster* è il modello digitale dell'elevazione (*DEM* in inglese), in cui, ad ogni cella, viene assegnata una determinata altitudine.

¹⁷⁷ Per effettuare questi calcoli su dei dati in formato *raster* utilizzeremo dell'algebra *raster* o "Map Algebra". Il termine "Map Algebra" è stato coniato negli anni Novanta dal Dr. Dana Tomlin (TOMLIN, 1990), il quale ha definito gli operatori e le modalità per realizzare una struttura che si potesse definire Map Algebra. Queste operazioni si possono effettuare tra diverse strutture con dati *raster* e sono una delle più importanti capacità di analisi che si possono realizzare in un GIS. Usi frequenti di questo tipo di operazioni si ritrovano nelle analisi spaziali (come le interpolazioni, le analisi di costo o quelle di visibilità) e vengono inoltre usate per effettuare particolari analisi nelle

immagini telerilevate.

¹⁷⁸ In inglese *DTM*, è un acronimo di *Digital Terrain Model*, è un formato *raster* che riproduce l'andamento della superficie geodetica, quindi non tenendo in considerazione la componente antropica e vegetativa della superficie.

¹⁷⁹ I file hanno un'estensione DAT.

¹⁸⁰ <http://www2.units.it/geolab/> (20 ottobre 2014).

¹⁸¹ Dalla versione 10.2, ArcINFO workstation non viene più supportato; la creazione del TIN avviene solo attraverso l'interfaccia grafica.

¹⁸² All'interno della CTRn ogni tipologia di quota o punto altimetrico ha un determinato codice, per esempio: 1T000VP = Valore altimetrico di punto quotato.

¹⁸³ Il TIN, acronimo inglese per *Triangulated Irregular Network*, letteralmente "rete irregolare di triangoli", è un modello tridimensionale del terreno basato su delle triangolazioni. I triangoli vengono generati unendo i punti rilevati in una rete di maglie triangolari che soddisfano il criterio di Delaunay, cioè: un cerchio disegnato per i tre punti di un triangolo non deve contenere altri punti. Ogni punto è connesso con i due più vicini per formare un triangolo; questi triangoli saranno sempre più numerosi nei punti dove sono più marcate le variazioni altimetriche del terreno. Dal modello TIN, attraverso diverse metodologie d'interpolazione, è possibile generare un modello *raster*.

è stato utilizzato un software commerciale realizzato dalla ditta ESRI chiamato ArcINFO, nella sua versione *workstation*. In questa particolare versione del software, i comandi vengono inseriti attraverso la riga di comando, quindi, non essendo caricata l’interfaccia grafica, le interpolazioni per creare il TIN risultano più veloci. Abbiamo caricato il file creato con il software ESTRAE e tramite il comando *lattice* abbiamo creato il modello TIN del terreno¹⁸⁴.

Una volta generato, il TIN può essere ancora modificato in ArcGIS: tale passaggio consente di correggere eventuali artefatti moderni ancora visibili¹⁸⁵. Il file TIN così generato, è stato quindi trasformato attraverso il software ArcMAP - ed in particolare attraverso l'estensione *3D analyst* - nel DTM. Per passare dal TIN al DTM abbiamo utilizzato come algoritmo d’interpolazione *Natural Neighbor*¹⁸⁶; tale metodo si basa sull’attribuzione di pesi per ciascun punto, in base al concetto di “area di influenza”. Partendo dalla rete di triangoli, l’algoritmo crea dei poligoni di Thiessen o Voronoi; in seguito, sul nodo da interpolare, vengono ridefinite sia la rete di triangoli che i poligoni di Thiessen. Quest’ultimo passaggio comporta la creazione di un nuovo poligono e la ridefinizione di quelli adiacenti. Il nuovo poligono si caratterizza dall’aver una superficie generata dalla media ponderata dei dati ‘vicini’ (*neighbor*), il cui peso (valore di ponderazione) è proporzionale all’area associata ai poligoni risultanti.

Alla fine del calcolo d’interpolazione è stato creato un DTM, con una risoluzione di 5 metri¹⁸⁷.

A questo modello digitale del terreno abbiamo sommato le diverse variabili che avrebbero potuto influenzare la scelta di un territorio rispetto un altro nella costruzione del tracciato viario: la quota sul livello del mare, la rete idrografica, i possibili punti di passaggio o punti noti (punti in cui siamo a conoscenza dell’esistenza del tracciato, grazie alle evidenze archeologiche), la pendenza,¹⁸⁸ ed infine la *viewshed analysis*.

Inizieremo nel descrivere la *viewshed analysis*¹⁸⁹, che a differenza delle altre variabili, è in realtà un’analisi spaziale generata attraverso il GIS. La *viewshed analysis* (o anche *line of sight*) calcola il campo visuale umano sulla base delle caratteristiche morfologiche ed ambientali del territorio, e le relazioni spaziali tra i siti all’interno del paesaggio. Tale analisi è stata eseguita sulla città di Cividale e sui *castra* citati da Paolo Diacono nell’*Historia Langobardorum*¹⁹⁰. Molto probabilmente questi *castra*, oltre ad essere un luogo di rifugio in caso d’incursioni di altre popolazioni

¹⁸⁴ Nel software ArcGIS, per poter creare il modello digitale del terreno, bisogna innanzitutto creare questa rete di triangoli; in altri software come GRASS, nato come GIS raster, ciò non è necessario.

¹⁸⁵ Purtroppo, anche cercando di filtrare i file contenenti i dati di elevazione, si tratta di un’eventualità; per esempio è possibile che alcune curve di livello siano state disegnate riprendendo i bordi stradali.

¹⁸⁶ SIBSON, 1981.

¹⁸⁷ La risoluzione è data dalla grandezza del pixel, in questo caso il lato del pixel misura 5 metri, quindi ogni pixel avrà una superficie quadrata di 25 m².

¹⁸⁸ Come già evidenziato in precedenza - nonostante si sia cercato di epurare il più possibile il

modello digitale del terreno dagli elementi antropici, cercando di tenere conto degli eventuali cambiamenti del paesaggio dovuti alla realizzazione di cave o colline artificiali - il modello si è comunque generato partendo da misurazioni di quota realizzate sulla cartografia moderna. Quando si parla quindi di pendenza, quota sul livello del mare, analisi di visibilità e rete idrografica, si fa sempre riferimento a dati relativamente contemporanei.

¹⁸⁹ Vi sono numerosi articoli ed esempi sull’utilizzo di entrambe le metodologie, per citarne alcuni: (CASAROTTO, GUIO, FERRARESE, 2009, p. 307; FORTE, 2002; VERHAGEN, 2008; CONOLLY & LAKE, 2006; LEUSEN, 2002; POSLUSCHNY & HERZOG, 2011).

¹⁹⁰ Più precisamente, quelli riconosciuti come tali dalla maggior parte degli storici.

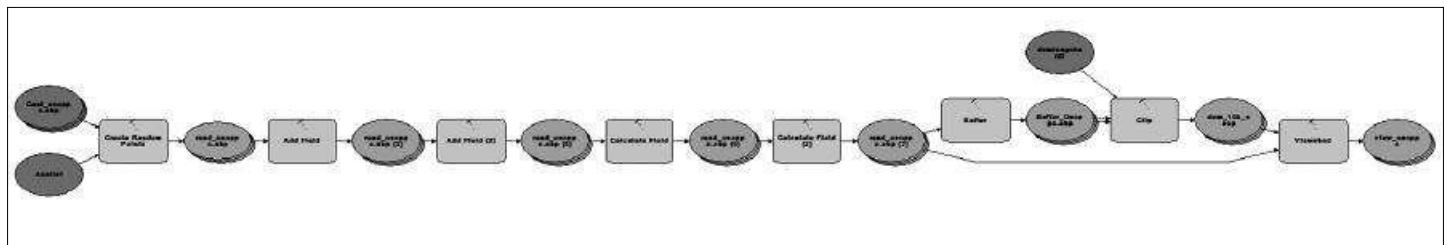


Fig. 34 – Modello per creare la *Viewshed analysis*, realizzato attraverso *model builder* per ArcGIS 10.

barbare, servivano anche come punto di osservazione e di controllo del territorio circostante; difficilmente gli assi viari che permettevano il rapido spostamento delle merci, ma anche degli eventuali aggressori, erano infatti nascosti alla vista di questi *castra*.

Per avere una corretta visione del paesaggio circostante, abbiamo utilizzato diversi punti d'osservazione all'interno dei *castra*; per posizionare tali punti, abbiamo ridisegnato¹⁹¹ con una *polyline* i contorni del *castra* e, con l'apposito comando di ArcGIS, abbiamo convertito la *polyline* ottenuta in un insieme di punti equi distanziati di 10 metri; così facendo, abbiamo quindi simulato la visuale da qualsiasi parte delle mura perimetrali del *castra*. Alla tabella degli attributi dei punti sono stati aggiunti due campi: il primo contenente l'altezza¹⁹², che andremo a sommare a quella ricavata dal modello digitale del terreno; il secondo contenente la distanza massima di visibilità sul territorio, che è stata fissata a 10 Km. Tale distanza è stata utilizzata per generare dei *buffer* attorno ai punti, che a loro volta sono serviti, attraverso il comando *clip*, per ritagliare il modello digitale del terreno¹⁹³. Su tale porzione di territorio, partendo dai punti di osservazione dei *castra*, abbiamo quindi eseguito le nostre *viewshed analysis*, che sono state successivamente unite per creare un unico mosaico. Infine, come ultimo passo, abbiamo riclassificato le analisi di visibilità in due zone: una colorata, che identifica le aree visibili, e un'altra senza colore, che identifica quelle non visibili. (Fig. 34 e 35)

Le altre variabili utilizzate

La quota sul livello del mare è genericamente una variabile piuttosto importante. Nella zona presa in esame, l'influenza di tale variabile è minore laddove le quote sono più elevate, poiché i rilievi non raggiungono mai altezze tali da creare delle vere difficoltà negli spostamenti. Al contrario, il suo peso aumenta sensibilmente nelle zone con valori di quota molto bassi o che presentano un dislivello marcato con le quote che li circondano; queste zone saranno più facilmente soggette a effetti di ristagno delle acque e quindi a fenomeni d'impaludamento o di cedimento del terreno.

Anche la rete fluviale ha un peso molto importante sulla scelta del percorso. Nell'antichità, l'attraversamento di un fiume comportava non poche difficoltà: la costruzione dei ponti era piuttosto complicata e la loro realizzazione richiedeva uno sforzo notevole; non sempre, inoltre, era possibile attraversare il corso d'acqua con le barche

¹⁹¹ Per disegnare i contorni dei *castra*, abbiamo utilizzato le foto aeree verticali oppure le piante dei rilievi.

¹⁹² Abbiamo aggiunto 11 metri, ossia l'altezza

media delle mura dei *castra* a cui è stata sommata l'altezza media di un uomo dell'epoca (1.65 m).

¹⁹³ Abbiamo scelto di ridurre la zona su cui effettuare le analisi, per diminuire i tempi di calcolo.

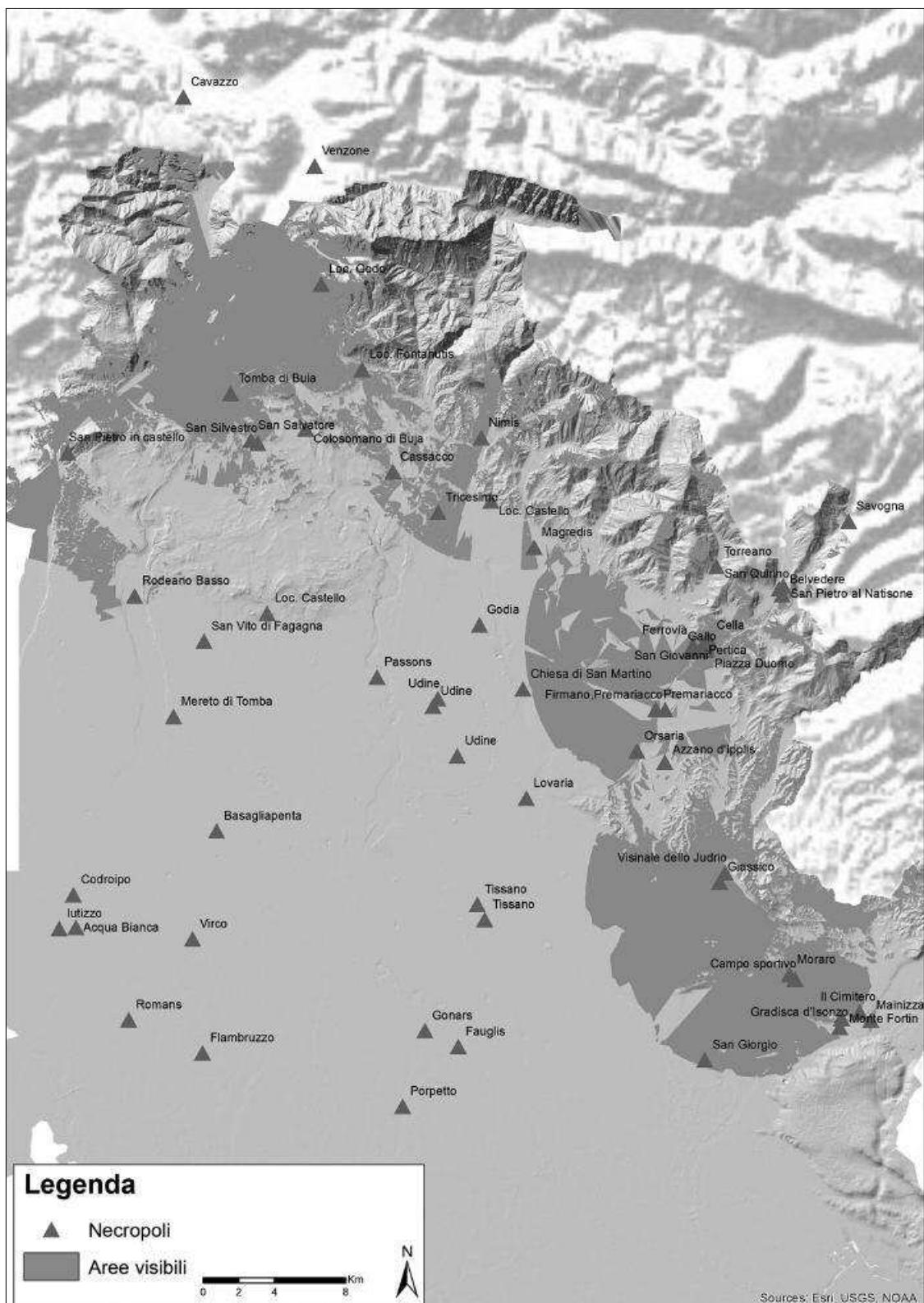


Fig. 35 – *Viewshed analysis*: le zone colorate identificano le aree visibili dai castra (Analisi ed elaborazioni effettuate in ambiente ArcGIS 10).

(per esempio, nel caso di forti piene). I ponti di epoca romana, venendo a mancare nel medioevo la necessaria manutenzione ed essendo costantemente soggetti all'azione erosiva del fiume, divennero rapidamente impraticabili e talvolta furono soggetti a crolli (come nel caso del ponte della Mainizza).

La rete idrografica di un territorio è costantemente in evoluzione, e quella del Friuli Venezia Giulia, negli ultimi cinquant'anni, ha subito numerosi cambiamenti: sono state realizzate delle canalizzazioni a scopi agricoli, sono stati costruiti degli argini più resistenti e l'azione dell'uomo, attraverso la costruzione di dighe¹⁹⁴, ha anche modificato la portata d'acqua dei fiumi. Per cercare di avere un quadro della situazione idrografica più somigliante a quello di epoca medievale, abbiamo sovrapposto alla rete idrografica attuale, ricavata dalla CTRn, la rete idrografica ricavata dalla cartografia dell'800 e dei primi del '900; abbiamo quindi creando un nuovo *shapefile* dei fiumi di fine '800 inizi '900, riposizionati però in maniera più precisa sulla CTRn. I fiumi sono stati inoltre suddivisi in due gruppi: quelli con un alveo maggiore di 50 metri, più difficili da attraversare (come il Tagliamento o l'Isonzo), e quelli con un alveo inferiore, più simili a torrenti o a piccoli corsi d'acqua, molto spesso a carattere torrentizio.

All'interno del nostro modello, abbiamo inoltre inserito i punti in cui è stata accertata la presenza di una strada. Questi punti sono stati individuati sul territorio grazie alle evidenze archeologiche (come i tratti in basolo, i resti di un ponte, ecc.), e attraverso la documentazione storiografica (anche se frequentemente i luoghi erano descritti approssimativamente).

Infine, una delle variabili più importanti che abbiamo utilizzato per la ricostruzione della rete viaria è stata sicuramente la pendenza. Utilizzando come base di partenza il DTM, e attraverso il comando *slope* del software GIS, è stato generato un *raster* delle pendenze, misurate non in gradi ma in percentuale¹⁹⁵. La pendenza (in inglese *slope*) ha un ruolo fondamentale, se vogliamo realizzare, come in questo caso, un modello di costo anisotropico¹⁹⁶. Nel modello anisotropico i costi sono calcolati in base alla direzione del tragitto e all'aumentare o al diminuire della pendenza (una discesa molto ripida comporta un dispendio energetico pari a quello di una salita altrettanto impegnativa). La pendenza influenza in maniera rilevante sul percorso di una strada: uno studio di Mannoni¹⁹⁷ ha per esempio rilevato che l'utilizzo del carro era limitato a pendenze massime intorno al 15% (che secondo altri studi potevano arrivare anche al 20%)¹⁹⁸, mentre già in caso di pendenze sopra il 5-7%, era necessario aumentare le bestie da tiro. Quando le pendenze superavano il 15%, le strade diventavano dei sentieri o delle mulattiere e il transito veniva effettuato a dorso di mulo o di cavallo. I costi di percorrenza aumentano in maniera proporzionale all'aumentare della pendenza, fino ad una pendenza di 45 gradi¹⁹⁹, positivi e negativi; oltre a questo grado, il costo tende all'infinito.

Una volta realizzata, la mappa della pendenza è stata riclassificata, per eliminare tutte le pendenze superiori al 35%. Per effettuare questa riclassificazione abbiamo utilizzato il comando *CON* (*conditional*) di ArcGIS: con tale comando abbiamo

¹⁹⁴ Per esempio l'afflusso di acqua del fiume Isonzo è regolato da una diga in Slovenia.

¹⁹⁵ Per una superficie piana, quindi con 0 gradi di inclinazione, la percentuale della pendenza è uguale a 0, mentre ad una pendenza di 45 gradi, corrisponde una pendenza del 100 %.

¹⁹⁶ DE SILVA M., PIZZIOLI G., 2000, p. 280; LLOBERA, 2000, pp. 65-84.

¹⁹⁷ MANNONI, 2004, p. 7.

¹⁹⁸ BERTINETTI, 1991, p. 38.

¹⁹⁹ CONOLLY & LAKE, 2006, p. 217; LEUSEN, 2002, p. CAP 6 p. 7.

creato un nuovo *raster*, all'interno del quale è stato assegnato il valore mille²⁰⁰ alle celle con pendenza superiore al 35%.

Il modello di costo

Per compiere le successive operazioni di *map algebra* per la creazione del modello di costo, abbiamo convertito le variabili di tipo vettoriale, come i fumi o la visibilità, in dati *raster*. Queste variabili sono state quindi riclassificate in dieci classi, per normalizzare i valori in esse contenuti. La metodologia che viene utilizzata per la riclassificazione dipende dal tipo di variabile. Per suddividere le variabili continue, come lo slope o l'altezza, abbiamo utilizzato la formula attraverso il *raster calculator*; per le variabili discrete, come l'analisi di visibilità, i fiumi e i punti di passaggio, abbiamo utilizzato il comando *reclassify*. Nell'analisi di visibilità è stato assegnato il valore 10 alle zone non visibili e 1 alle zone visibili, mentre ai fiumi sono stati assegnati valori diversi a seconda della tipologia della rete fluviale (principale o secondaria). È stato infine assegnato il valore 1, corrispondente quindi a un costo molto basso, ai punti di passaggio e laddove fosse accertata la presenza di una strada.

Una volta riclassificate tutte le variabili, abbiamo creato il modello utilizzando il comando *Weighted Sum*²⁰¹. Attraverso questo comando abbiamo assegnato ad ogni variabile un peso, andando così a definire quanto una variabile potesse incidere sui costi di passaggio di una strada rispetto ad un'altra. I pesi delle diverse variabili sono stati assegnati utilizzando la metodologia della *pairwise comparison*, creata da Saaty nel 1980, di cui parleremo in un capitolo dedicato.

Ad ogni cella è stato assegnato un peso specifico, con dei valori compresi tra 1 e 9, dove al valore più alto corrispondono le zone con il costo più alto.

Per ricostruire la viabilità è stato utilizzato il comando *path distance* di ArcGIS. Nella schermata di dialogo abbiamo inserito come parametri: il punto di partenza, il modello della superficie di costo e i valori opzionali dell'*horizontal factor* e del *vertical factor*; quest'ultima opzione ha permesso di prendere in considerazione la pendenza e la direzione. Nel nostro modello in particolare, abbiamo scelto di calcolare il fattore d'incidenza della pendenza, attraverso l'opzione contenuta in ArcGIS della *Symmetric Inverse Linear*; grazie a tale opzione abbiamo creato un modello anisotropico, i cui costi sono calcolati in base alla direzione dello spostamento, e all'aumentare o diminuire della pendenza. Nel grafico della *Symmetric Inverse Linear*, il costo minore è associato a una pendenza di 0 gradi²⁰², corrispondente quindi a una zona perfettamente pianeggiante. In realtà, secondo diversi studi effettuati negli anni Novanta²⁰³, i costi minori non si hanno su un terreno perfettamente pianeggiante, ma bensì su un terreno leggermente in discesa, con un angolo di pendenza di 5 o 6 gradi²⁰⁴. (Fig. 36)

Il software ha dunque generato due diversi *raster*: il primo contenente i costi calcolati dal punto di partenza, fino ai limiti della nostra regione di studio; il secondo, chiamato *back link raster*, con i costi calcolati in base alla direzione. Per creare il no-

²⁰⁰ Il valore mille è del tutto arbitrario; usare un valore così alto evita che il calcolatore crei un percorso in quelle zone.

²⁰¹ Il metodo della somma pesata o *Weighted Sum Model* (WSM), introdotto da Fishburn FISH-BURN, 1967, è probabilmente quello più frequentemente usato, soprattutto per risolvere i cosiddetti problemi "monodimensionali", che coinvol-

gono un certo numero di variabili aventi tutte le stesse dimensioni fisiche.

²⁰² <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#/009z000000z9000000> (30 ottobre 2014).

²⁰³ MINETTI, A. E., ARDIGÒ, L. P., SAIBENE, 1993; TOBLER, 1993.

²⁰⁴ TOBLER, 1993.

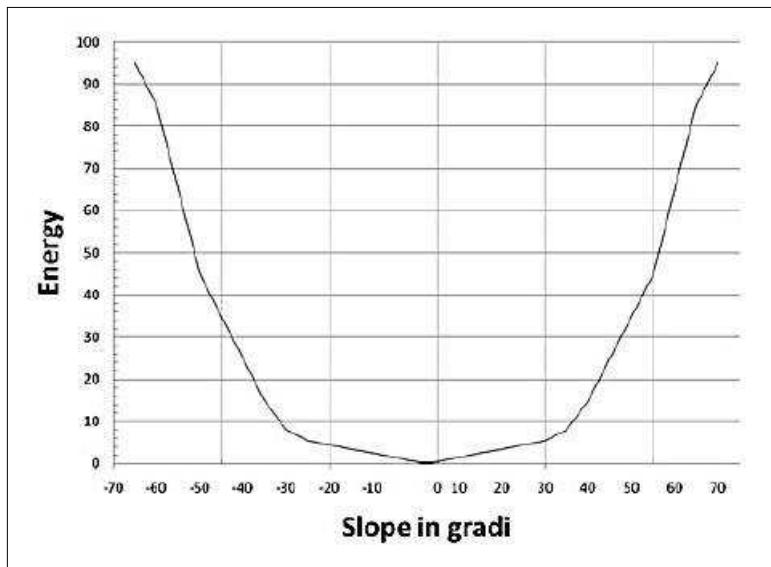


Fig. 36 – I costi al variare della pendenza (da Lloberra, 2000, p. 71).

stro tracciato è stato utilizzato il comando *cost path*, in cui sono stati inseriti il *raster* dei costi, il *back link raster* e il punto di arrivo della nostra ipotetica strada. Il calcolatore ha quindi creato un tracciato, unendo le celle con i costi minori. Per ripetere lo stesso procedimento anche in altri settori del territorio in esame, la procedura è stata automatizzata, attraverso l'utilizzo dell'estensione *model builder* di ArcGIS.

Abbiamo confrontato questi risultati con quelli ricavati dall'utilizzo di altre due metodologie, già frequentemente utilizzate in altri lavori, che si basano sulle formule elaborate da Tobler e da Pandolf.

L'equazione realizzata da Waldo Tobler nel 1993²⁰⁵ permette di calcolare la velocità media tenuta da una persona in base alla pendenza. Tobler ha realizzato questa formula basandosi sul lavoro empirico effettuato da Imhof²⁰⁶, nel 1950, dal quale risulta che la velocità che comporta il minor costo in termini energetici per un essere umano è di circa 6 km l'ora. Tale velocità è calcolata prendendo in considerazione un terreno con una leggera discesa, compresa tra i 5 e i 7 gradi; in caso di terreno pianeggiante, con una pendenza di 0 gradi, la velocità sarà di circa 5 km orari. Qui di seguito la formula calcolata da Tobler:

$$v = 6e^{-3,5|s|+0,05|}$$

Dove: v = la velocità espressa in km/h,

s = la pendenza in gradi,

e = la base del logaritmo naturale

Attraverso il *raster calculator* abbiamo realizzato un *raster* utilizzando la formula di Tobler, nel quale è stato associato alla variabile s il nostro *raster* delle pendenze. Il modello di costo che si è venuto a creare, ha assegnato ad ogni singola cella del *raster* la velocità di attraversamento di un essere umano; grazie al *raster calculator*, abbiamo convertito questa velocità di attraversamento da km/h in metri, moltiplicando il modello per 1000. Per sapere quale fosse il tempo di attraversamento di ogni singola cella del nostro *raster*, abbiamo utilizzato l'equazione elaborata da Kantner²⁰⁷, dividendo

²⁰⁵ TOBLER, 1993.

²⁰⁷ KANTNER, 1997, p. 53.

²⁰⁶ IMHOF, 1950, pp. 217-220.

la dimensione delle celle del DTM (5 metri) per il *raster* ricavato dalla formula di Tobler; successivamente questo *raster* è stato moltiplicato per 3600, al fine di ottenere il tempo di percorrenza di ogni singola cella in secondi. Il *raster* così generato è stato utilizzato per creare il nostro modello di costo attraverso il comando *cost distance*; una volta generato, esso è stato inserito all'interno della *Cost Path* per la realizzazione del percorso.

Nicholas Tripcevich²⁰⁸ ha utilizzato la formula di Tobler per ricavare il *vertical factor*, utilizzando una tabella in cui, ai gradi della pendenza, sono associate le velocità di percorrenza ricavate dalla formula di Tobler. Abbiamo voluto creare un modello di costo utilizzando anche questa metodologia; la tabella ricavata da Tripcevich è stata inserita all'interno della *least cost path* ed è stata utilizzata per calcolare il *vertical factor*, mentre come superficie di costo è stato utilizzato il modello pesato calcolato in precedenza.

Abbiamo infine calcolato un'altra superficie di costo, basandoci sulla formula di Pandolf modificata da Llobera²⁰⁹. Tramite questa formula viene calcolato il consumo metabolico, cioè il dispendio energetico utilizzato da una persona per spostarsi nel territorio. Tra le variabili utilizzate, oltre al tipo di terreno e della pendenza, è stato preso in considerazione anche il peso della persona, a cui è stato aggiunto il peso supplementare dato da un eventuale bagaglio.

$$M = 1.5W + 2.0 (W + L)(L / W)^2 + N(W + L)(1.5V^2 + 0.35V * \sqrt{G + 6})$$

M = consumo metabolico in watts
 W = peso della persona (kg)
 L = peso supplementare (kg)
 V = Velocità (km/h)
 N = tipo di terreno
 G = pendenza (gradi)

Per realizzare questa superficie di costo abbiamo utilizzato il *raster calculator*, in cui ovviamente sono stati inseriti i nostri valori:

$$M = (1.5 * 65) + (2.0 * (65 + 10) * (10 / 65)^2) + ("WeightModel" * (65 + 10) * (1.5 * 5)^2 + (0.35 * 5) * \sqrt{("Slope" + 6)})$$

Alla variabile N è stato associato il nostro modello pesato, creato in precedenza; la *slope* in gradi è stata realizzata a partire dal DTM a 5 metri; la velocità media che abbiamo inserito (5 Km/h) è quella di una persona in un tratto completamente pianeggiante. Purtroppo è difficile calcolare esattamente il peso medio di un uomo dell'epoca: malgrado siano considerate poco attendibili, ci siamo tuttavia basati sulle misurazioni ossee effettuate dagli antropologi²¹⁰, sulle inumanazioni di epoca longobarda.

Per calcolare questi costi abbiamo utilizzato nuovamente la funzione *cost distance*, mentre come modello di costo quello ricavato dalla formula di Llobera-Pandolf.

I percorsi ottenuti sono stati confrontati, e ovviamente vi sono delle differenze più o meno marcate tra le strade create dalle quattro metodologie. Nel caso del modello ricavato dalla formula di Tobler e Kantner, in cui l'unica variabile presa in esame è la pendenza, il risultato è comunque interessante, poiché ci permette di calcolare i tempi di percorrenza. Alla fine, tuttavia, si è scelto di utilizzare in particolare due

²⁰⁸ Abbiamo utilizzato la medesima metodologia di Nicholas Tripcevich (University of California, Berkeley). Sito internet: <http://www.mapspects.org/courses/gis-and-anthropology/workshop-2009-viewshed-and-cost-distance>.

²⁰⁹ LLOBERA, 2000.

²¹⁰ CARRARA, 2013.

modelli: 1. Il modello in cui è stato utilizzato come modello di costo il nostro modello pesato, e come *vertical factor* la tabella ricavata dalle formule di Tobler e Tripcevich; 2. Il modello creato utilizzando la formula di Llobera per ricreare la superficie di costo, che rimane sicuramente una delle equazioni più utilizzate.

4.8 I RISULTATI

Lo scopo della nostra *cost surface analysis* era di ricostruire la viabilità che collegava Cividale al territorio circostante, concentrando sui collegamenti verso il nord e il *castra* di Artegna, e verso il sud, lungo le direttrici viarie verso Roma e verso l'est. Per effettuare le nostre ricostruzioni abbiamo quindi posto come punto di partenza la città di Cividale, come punto di arrivo a sud le città di Aquileia e di Romans d'Isonzo, e come limite nord il *castra* di Artegna.

I percorsi viari così ottenuti, da Cividale verso Aquileia e Romans, sono stati confrontati con quelli ricostruiti da due importanti studiosi, Luciano Bosio²¹¹ e Mario Brozzi²¹². I risultati sono stati molto interessanti. Le strade ricostruite dal calcolatore attraverso il modello di Tripcevich ricalcano in parte quelle ricostruite da Bosio (fig. 37); in particolare, il percorso ricostruito della strada che collegava Aquileia a Emona, ripercorre il percorso ipotizzato da Bosio e dal Brozzi, di cui abbiamo inoltre diversi tratti accertati dalle indagini archeologiche (vedi ad esempio il ponte sulla Mainizza, che è stato documentato da due diverse campagne archeologiche). Possiamo anche notare una sovrapposizione tra la strada ricostruita dal nostro calcolatore e quella che, secondo Brozzi, andava da Aquileia verso Cividale. Interessanti sono anche le altre tre ricostruzioni generate dal calcolatore, che dalla Mainizza, passando per Gradisca, si dirigevano verso Cividale:

- una ricostruzione non passa lontana dalle necropoli longobarde di Villanova di Farra²¹³, Moraro e Giassico²¹⁴, si dirige verso Corno di Rosazzo e ripercorre la strada che ancora oggi prende il nome di Via Longobarda;
- l'altra ricostruzione passa vicino alla necropoli di Romans, s'incanala tra i torrenti Torre e Iudrio e si dirige verso nord, fino ad Azzano d'Ipplis, nel comune di Premariacco; Brozzi²¹⁵ segnala che qui, negli anni '50 del secolo scorso, furono trovate alcune tombe. Da questo punto la strada piega poi verso est, per dirigersi a Cividale.
- un terzo asse viario ricostruito dal calcolatore, partendo dalla Mainizza, corre lungo le valli ad est di Cormons: inizialmente parallelo alla strada che va da Gradisca a Cividale, si ricongiunge ad essa all'altezza di Corno di Rosazzo. Sebbene questa possibile strada non sia stata menzionata da Brozzi, si potrebbe trattare del percorso pedecollinare già citato in precedenza²¹⁶.

Le strade ricostruite utilizzando i modelli di Pandolf e di Tobler, in parte piuttosto diverse da quelle realizzate dal modello precedente, sono tuttavia di particolare interesse, poiché passano presso la necropoli di Romans, girano intorno al colle di Medea, e ritornano a seguire il percorso del torrente Torre, passando in questo caso non lontano dalle necropoli di Firmano²¹⁷ e da una tomba ritrovata a Orsaria²¹⁸ (Fig. 38).

²¹¹ BOSIO, 1997.

²¹² BROZZI, 1981.

²¹³ BROZZI, 1975, p. 66; V. Degrassi 1994, 374-376).

²¹⁴ BROZZI, 1975, pp. 66-68.

²¹⁵ BROZZI, 1975, p. 66.

²¹⁶ MODUGNO, 1999, p. 60.

²¹⁷ BROZZI, 1975, p. 64

²¹⁸ BROZZI, 1975, p. 65 Brozzi parla di una singola tomba di guerriero.

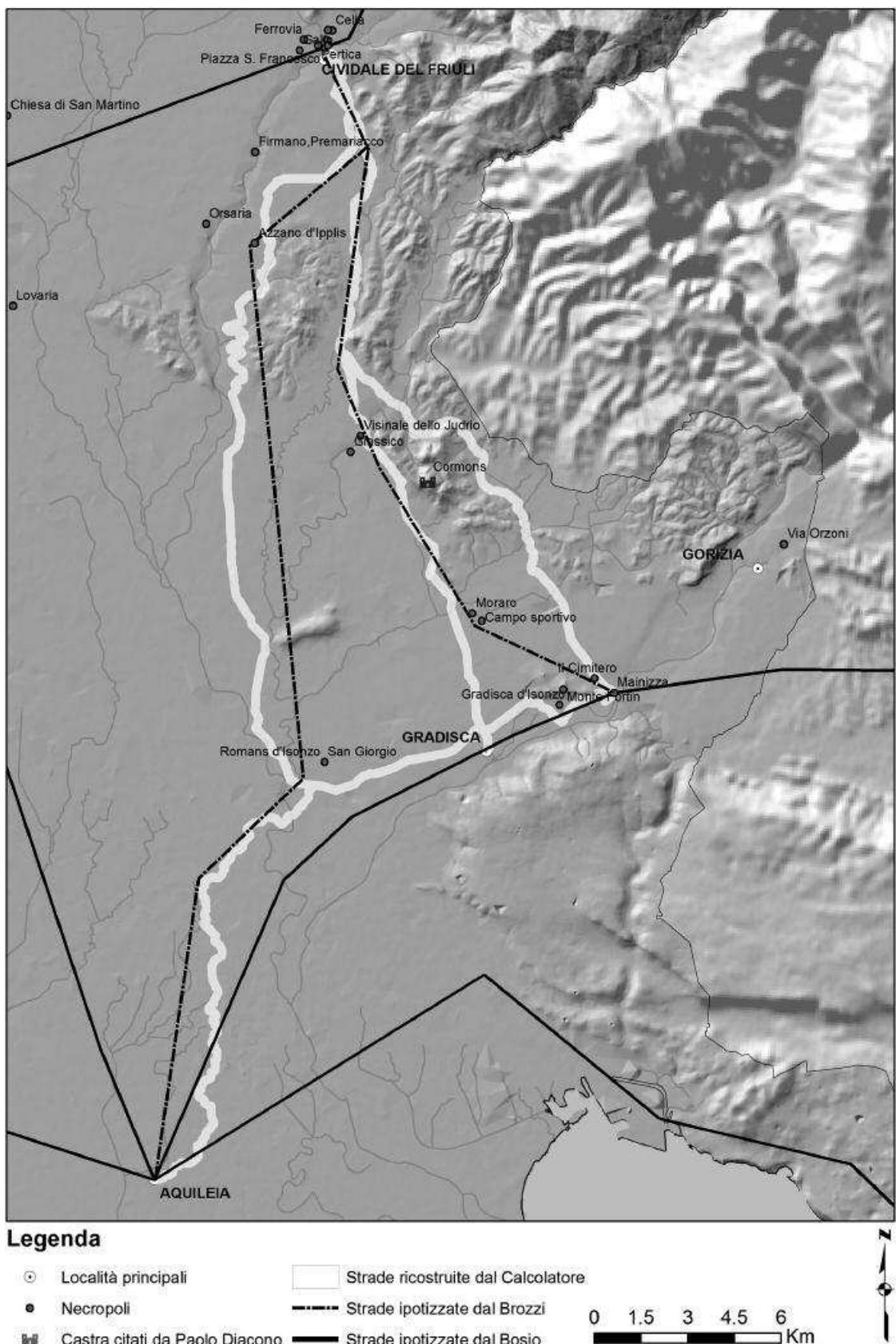
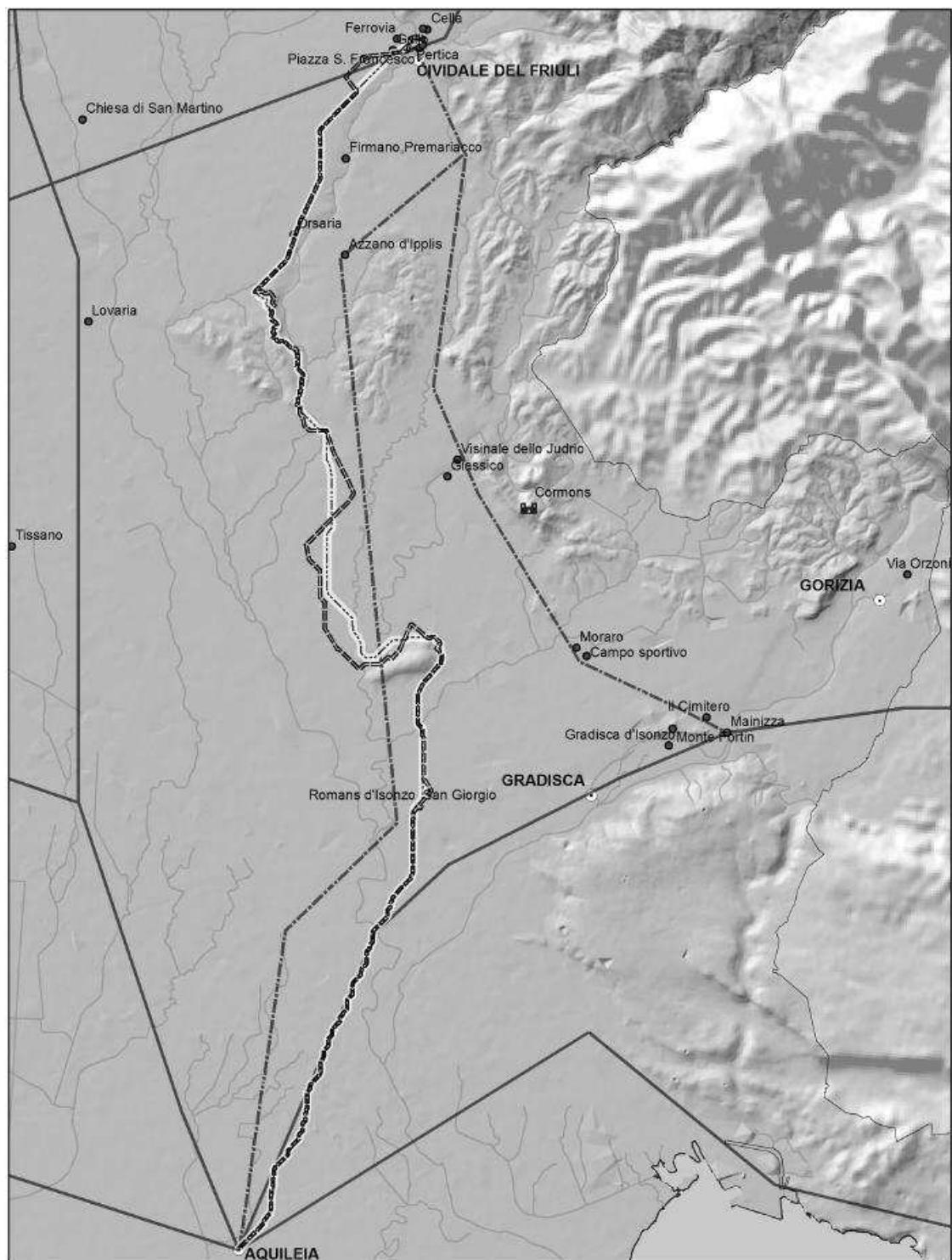


Fig. 37 – Strade ricostruite dal calcolatore, attraverso il modello di Tripcevich, confrontate con le strade ricostruite da Luciano Bosio e Mario Brozzi.



Legenda

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| — Strade ipotizzate dal Brozzi | ● Località principali |
| — Strade ipotizzate dal Bosio | ● Necropoli |
| ··· Strade ricostruite Pandolf | ■ Castra citati da Paolo Diacono |
| — Strade ricostruite Tobler | |
- 0 1.5 3 4.5 6 Km

Fig. 38 – Strade ricostruite dal calcolatore, utilizzando i modelli di Pandolf e di Tobler, confrontate con le strade ricostruite da Luciano Bosio e Mario Brozzi.

Per la zona a Nord di Cividale abbiamo confrontato le ricostruzioni generate dei quattro modelli di costo, utilizzando come punto di partenza Cividale e come punto d'arrivo il castello di Gemona (Fig. 39). Possiamo subito notare che i percorsi delle strade ricostruite utilizzando i modelli di costo di Tripcevich e di Pandolf, seguono dei percorsi piuttosto simili: entrambi corrono lungo la fascia pedemontana e si discostano in maniera evidente solamente in due punti, presso Povoletto e all'altezza di Magnano in Riviera. Partendo da Cividale, entrambi i percorsi proseguono in direzione ovest fino quasi a Remanzacco, girano in maniera decisa verso nord seguendo un tracciato pedecollinare già in uso in epoca preistorica²¹⁹ e passano non lontano da alcuni punti in cui ci sono stati dei ritrovamenti archeologici (come nei pressi della località Magredis, e a Savorgnano al Torre in località Castello). Lungo i due tracciati è stata inoltre riscontrata la presenza di un'anomalia di forma rettilinea, nei pressi di Collalto, di cui abbiamo già parlato nel capitolo relativo alle foto aeree²²⁰.

La strada ricostruita utilizzando l'equazione di Tobler, che utilizza come variabile solo la pendenza, segue da Cividale un percorso pedecollinare, tocca i paesi di Tarcento, di Magnano in Riviera (dove s'incrocia con il tracciato ricostruito con il metodo di Tripcevich, proprio nei pressi di un'evidenza archeologica in località Fontanutis) e passa per Artegna, per giungere poi a Gemona. Il modello generato con Tobler permette di calcolare i tempi di percorrenza attraverso delle semplici elaborazioni; nel nostro caso, abbiamo stimato che il tempo necessario a percorrere i 32591 m da Cividale a Gemona è di circa 7h 19m (25892 secondi). È interessante notare come le pendenze influiscano in maniera veramente significativa: se infatti il percorso fosse stato perfettamente piano (quindi con una pendenza di 0 gradi), tenendo una velocità di 5,035 Km/h²²¹, nello stesso tempo si sarebbero percorsi 36216 m.

Il tracciato che si discosta maggiormente è quello generato impostando la *Symmetric Inverse Linear* come *vertical factor*. Questa ricostruzione ha alcuni tratti piuttosto interessanti, poiché passa non lontano dalla necropoli di Tricesimo, segue fino a Magliano in Riviera lo stesso percorso individuato dalle ricostruzioni effettuate con i metodi Pandolf e Tripcevich, e giunge, proprio come quest'ultima, nei pressi del ritrovamento archeologico della località Fontanutis. Essa presenta tuttavia alcuni tratti meno logici, soprattutto per quanto riguarda il punto di attraversamento del torrente Torre, che è posizionato molto più a valle rispetto alle altre strade, dove l'alveo è piuttosto ampio.

Come già evidenziato in precedenza, queste analisi non potranno mai andare a sostituirsi alla ricerca archeologica sul campo e allo studio dei documenti storici, ma potranno fornire degli interessanti spunti per delle nuove ricerche, per discutere e confrontare nuove tesi, rimanendo tuttavia nel campo delle ipotesi.

4.9 DOVE VIVEVANO I LONGOBARDI? IL MODELLO PREDITTIVO

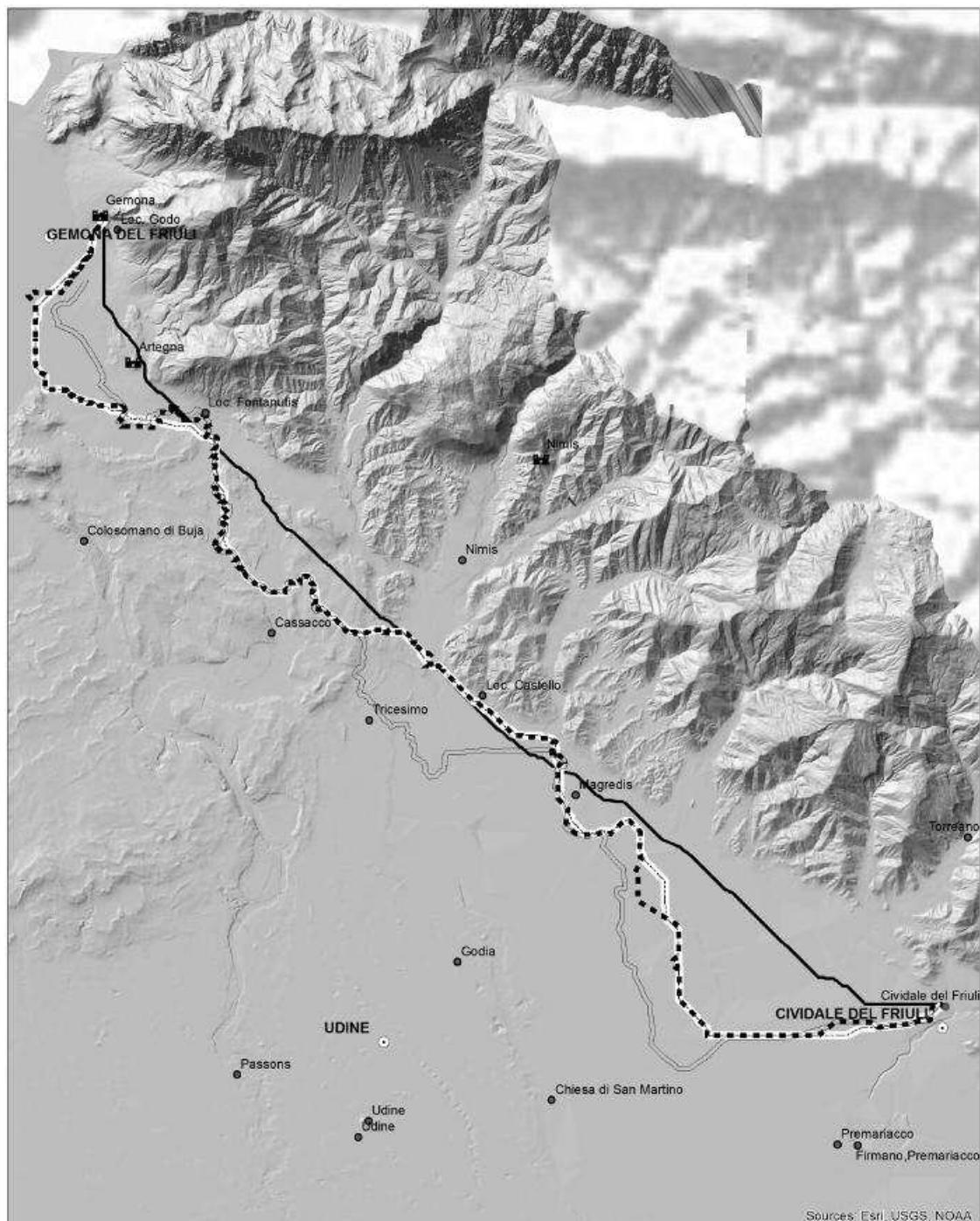
METODOLOGIA

Le conoscenze sugli insediamenti longobardi della nostra regione sono molto scarse e derivano quasi esclusivamente dalle informazioni che gli archeologi e gli antropologi hanno ricavato dalle necropoli disseminate sul territorio. Grazie alle notizie di alcuni storici del passato, come Paolo Diacono, conosciamo in parte la loro storia e

²¹⁹ BOSCAROL, 2009, p. 142

²²⁰ Vedi il paragrafo sull'individuazione di anomalie sul territorio.

²²¹ La velocità è ricavata dalla formula di Tobler.



Legenda

----- Tripcevic	— Tobler	● Necropoli
----- Pandolf	— Symmetric Inverse Linear	■ Castra

Fig. 39 – I possibili percorsi da Cividale a Gemona generati dai quattro diversi modelli di costo.

le tappe del loro ingresso in Italia; sappiamo che si avvalsero di un sistema difensivo formato da diversi *castra*, citati nell'*Historia Langobardorum* ed utilizzati nel 610 per difendersi dagli Avari: “*rex Avarum [...] cum innumerabili multitudine veniens, Venetiarum fines ingressus est*”; Paolo Diacono gli elenca con precisione: “*communie- rant se quoque Langobardi et in reliquis castris quae hic vicina erant, hoc est in Cormones, Nemas, Osopo, Artenia, Reunia, Glemona, vel etiam in Ibligine, cuius positio omnino inexpugnabilis existit*”²²². Purtroppo, però, né i documenti storiografici né le indagini archeologiche hanno portato alla luce delle ulteriori informazioni sui loro insediamenti.

Le analisi spaziali, ed in particolare i modelli predittivi²²³, sono stati utilizzati per individuare quali zone avessero le caratteristiche più adatte all’insediamento umano in epoca longobarda. Più precisamente, per realizzare il nostro modello predittivo, abbiamo utilizzato il software GIS, creando un modello pesato, basato sull’analisi multicriterio²²⁴. Tale modello è stato creato unendo diverse tipologie di analisi, ed in particolare:

- l’irraggiamento solare, che è stato calcolato durante tutto l’arco dell’anno (nel nostro caso prendendo come riferimento l’800 d.C.) per evidenziare le zone più in ombra e quindi meno adatte alla coltivazione o all’insediamento umano.
- la distanza dai corsi d’acqua; in questo specifico caso abbiamo utilizzato come riferimento gli studi effettuati in Veneto da Paolo Saggioro²²⁵, che, per il periodo longobardo, evidenzia una distanza media degli insediamenti dai fiumi di 259 metri.
- la distanza dalle necropoli;
- la pendenza del terreno;
- la quota sul livello del mare; non ci siamo particolarmente concentrati su zone con quote elevate o montane, ma piuttosto su quelle zone con una quota prossima allo zero, possibile indice di suoli in cui si sarebbero potuti verificare fenomeni di impaludamento o di allagamento.
- la distanza dalle vie di comunicazione, sia da quelle conosciute che da quelle ricostruite dal calcolatore.
- la distanza dai *castra* citati da Paolo Diacono, effettivamente utilizzati dalle genti longobarde come rifugio.
- le zone di visibilità dai *castra*, in quanto è molto probabile che vi fosse un’intervisibilità tra i castra e gli insediamenti.

Il modello viene creato dalla “sovraposizione” delle singole variabili, che vengono integrate tra loro attraverso l’attribuzione di un sistema di pesi. I pesi assegnati a queste variabili vengono calcolati sulla base di studi pregressi o grazie all’ausilio di esperti, come storici, archeologi e topografi. Per dare un peso a queste variabili, cioè per assegnare loro un’importanza diversa in base alla loro influenza sulla scelta di un luogo rispetto ad un altro, per la scelta del possibile insediamento, abbiamo utilizzato il metodo della *pairwise comparison* creato da Saaty nel 1980, nell’ambito dell’*Analytic hierarchy process*²²⁶.

²²² DIACONO P., *Hist. Lang.* IV, 37. Ci sono ancora dei dubbi sull’esatta ubicazione dei *castra*; soprattutto per il *castra* Ibligine, posizionato da alcuni studiosi a Invillino, possiamo trovare un’ampia letteratura al riguardo. Vedi: BIGLIARDI, 2004; MIOTTI, 1988; VILLA, 2001.

²²³ Esiste una vasta letteratura relativa alla meto-

dologia e all’utilizzo dei modelli predittivi in archeologia. Tra i vari lavori, ricordiamo: (KVAMME, 1988; VERHAGEN, 2007; TONDI, 2007; KAMERMANS *et al.*, 2009; POSLUSCHNY, HERZOG, 2011).

²²⁴ DI ZIO & BERNABEI, 2009.

²²⁵ SAGGIORO, 2005, p. 98.

²²⁶ THOMAS L. SAATY, 2008.

4.10 MULTI CRITERIA DECISION ANALYSIS, MCDA

di *Michele Ferneti*

Per evidenziare le possibili zone d'insediamento delle popolazioni longobarde e della possibile viabilità stradale utilizzata all'epoca, sono stati creati alcuni modelli predittivi basati sull'Analisi Multicriterio per il supporto alle decisioni (Multi Criteria Decision Analysis, MCDA). L'obiettivo dell'analisi multicriterio è quello di arrivare ad una soluzione di un quesito i cui presupposti, i criteri appunto per scegliere una soluzione piuttosto che un'altra, sono generalmente numerosi e non di rado in conflitto tra di loro.

Le decisioni di tipo spaziale spesso devono prendere in considerazione una serie di molteplici criteri di valutazione, anche conflittuali, espressi sotto forma d'informazioni cartografiche che si sovrappongono nello spazio geografico. Archiviati in formato digitale, questi strati o layer cartografici vengono elaborati e rappresentati in ambiente GIS. L'integrazione di GIS e MCDA è un approccio che ha trovato un significativo interesse negli ultimi 20 anni²²⁷ soprattutto in processi di analisi e pianificazione territoriale dove viene richiesta la valutazione di criteri e scenari alternativi da parte di una serie di decisori e portatori di interessi.

Nel nostro caso, nel valutare le zone potenzialmente favorevoli all'insediamento delle popolazioni, un criterio molto importante è la vicinanza a riserve d'acqua e quindi uno dei fattori da inserire nella valutazione è appunto la distanza dai fiumi. Più vicino è ad un fiume, maggiormente vocata sarà quella porzione di territorio ad ospitare un insediamento abitativo. D'altra parte, una zona più elevata ed arroccata, con molta visibilità sulle zone circostanti è maggiormente favorevole alla difesa da possibili aggressori ed è perciò importante perché garantisce la sopravvivenza della popolazione. E' evidente inoltre che questi due criteri riportati come esempio possono essere spesso tra di loro conflittuali in quanto avvicinarsi all'acqua può significare anche allontanarsi da una zona elevata e facilmente difendibile.

La metodologia di analisi multicriterio applicata al GIS consente appunto di organizzare e combinare tra di loro in maniera esplicita i diversi fattori che portano ad una decisione complessa, assegnando loro diverse priorità sulla base delle valutazioni e delle interpretazioni fatte sui singoli fattori (o indicatori) da un gruppo di esperti.

Nel caso di un sistema informativo geografico I diversi fattori sono costituiti da layer cartografici, generalmente in formato raster, omogenei tra di loro per sistema di riferimento, allineamento e risoluzione della cella in modo da facilitarne la sovrapposibilità e quindi la combinazione pesata.

L'ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) E LA MATRICE DI SAATY

L'AHP è una tecnica di analisi multicriterio che permette di valutare le alternative decisionali sulla base di una serie di criteri o fattori quantitativi o qualitativi, spesso non confrontabili, effettuando una combinazione di misure multidimensionali in una singola scala di priorità²²⁸. Il metodo è basato principalmente su una serie di confronti a coppie (pairwise comparison) tra i diversi criteri attribuendo ad ognuno di essi un valore di importanza relativa rispetto all'altro e l'importanza relativa di un criterio rispetto ad un altro è determinata dall'obiettivo finale della decisione (la migliore localizzazione di un insediamento o i migliori punti di passaggio per ottenere la via più breve ed efficace per andare da una località ad un'altra).

²²⁷ MALCZEWSKI, 1999.

²²⁸ T.L. SAATY, 1980.

L’assegnazione di un valore ad ogni combinazione possibile di fattori (in totale $n(n-1)/2$, dove n è il numero di fattori o criteri) si conclude con l’assegnazione di un peso percentuale ad ognuno dei criteri.

L’attribuzione dei valori d’importanza relativa è generalmente su scala arbitraria, con valori che possono ad esempio andare da 1 a 3, da 1 a 10 oppure da 1 a 100, sequenze ordinali che possono essere espresse anche in forma qualitativa (ad esempio l’importanza del criterio 1 è “molto alta” rispetto al criterio 2 in funzione dello specifico obiettivo decisionale). Per effettuare il confronto a coppie, in generale si utilizza quindi una scala di numeri che indicano quante volte è più importante un criterio rispetto ad un altro. Un esempio di tale scala viene riportato nella tabella 3²²⁹

Importanza relativa	Definizione	Descrizione
1	Ugualmente importante	I due fattori contribuiscono in maniera uguale al raggiungimento dell’obiettivo
2	Da uguale a moderatamente più importante	Esperienza e giudizio dell’esperto favoriscono leggermente un criterio rispetto all’altro
3	Moderatamente più importante	
4	Da moderatamente a molto più importante	Esperienza e giudizio dell’esperto favoriscono fortemente un criterio rispetto all’altro
5	Molto più importante	
6	Da molto a fortemente più importante	Un criterio è definitivamente più importante dell’altro e la sua dominanza è praticamente evidente e dimostrata
7	Fortemente più importante	
8	Da fortemente a estremamente più importante	L’evidenza che dimostra la superiorità di un criterio rispetto all’altro è la più alta possibile in funzione dell’obiettivo della decisione
9	Estremamente più importante	
Reciprocí	(1/2, 1/3,...,1/9) estremamente, fortemente, moderatamente, leggermente meno importante	Il valore assegnato al meno importante è espresso con il reciproco dei succitati valori

Tabella 3.

²²⁹ THOMAS L. SAATY, 2008.

Il risultato di tutti i confronti viene rappresentato sotto forma di matrice quadrata in cui i criteri sono sia sulle righe che sulle colonne (*tabella 4*).

	Slope	Fiumi	Necropoli	Strade	View	Sole	Castra
Slope	1.00	2.00	4.00	7.00	8.00	8.00	4.00
Fiumi	0.50	1.00	4.00	3.00	4.00	8.00	2.00
Necropoli	0.25	0.25	1.00	6.00	8.00	8.00	2.00
Strade	0.14	0.17	0.17	1.00	4.00	5.00	0.50
View	0.13	0.25	0.13	0.25	1.00	3.00	0.17
Sole	0.13	0.13	0.13	0.20	0.33	1.00	0.13
Castra	0.25	0.50	0.50	2.00	6.00	8.00	1.00

Tabella 4.

La matrice così generata verrà poi utilizzata per creare il vettore dei pesi relativi di ogni singolo criterio.

Abbiamo visto quindi che la matrice dei confronti è per sua definizione quadrata e costruita in modo da essere simmetrica e reciproca. Per determinare la priorità tra i singoli elementi messi a confronto si deve calcolare l'autovettore principale della matrice e normalizzarlo a 1 ottenendo in questo modo il vettore delle priorità.

Una semplice e buona approssimazione del metodo di calcolo dell'autovettore principale (eigen vector) di una matrice reciproca è quello che consiste in una prima normalizzazione della matrice lungo le colonne: si deriva il totale di ogni colonna e si ottiene una nuova matrice i cui valori si ottengono dividendo il valore originale per il totale della colonna stessa.

Calcolando il valore medio di ogni riga si ottiene l'autovettore principale o vettore di priorità tra gli elementi. Essendo normalizzato, la somma dei valori che compongono l'autovettore principale è 1 ed ogni valore esprime il peso relativo di ogni elemento (variabile, criterio, etc.) della matrice di confronti.

Oltre che il peso relativo dei diversi criteri, è possibile anche stimare l'effettiva significatività e robustezza della definizione dei pesi mediante il calcolo dell'autovalore principale (eigenvalue). L'autovalore principale si ottiene dalla somma dei prodotti di ogni totale di colonna della matrice reciproca per il corrispondente valore dell'autovettore.

Saaty ha dimostrato che per matrici reciproche coerenti il massimo autovalore è pari alla dimensione della matrice e ha introdotto una misura della consistenza (Consistency Index, CI) come deviazione dal grado massimo di consistenza con la formula che segue.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Tale valore va in seguito messo a confronto con il Random consistency Index (RI, indice di consistenza casuale) determinato generando casualmente una serie di matrici

reciproche casuali (con valori 1-9, 1/2, 1/3, ecc.). L'indice di consistenza RI calcolato su circa 500 matrici casuali di diversa dimensione n genera la seguente tabella:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Il rapporto di consistenza (Consistency Ratio, CR) è il confronto tra Il Consistency Index e il Random consistency Index:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Se il valore del rapporto di consistenza è uguale o inferiore al 10% (0.1), l'inconsistenza della matrice di confronto è accettabile, in caso contrario il procedimento di assegnazione dei rapporti di importanza tra i diversi criteri col metodo della pairwise comparison va rifatto, costruendo una nuova matrice.

4.11 RISULTATI

I dati emersi dal modello predittivo ci hanno permesso d'individuare tre diverse possibili zone d'insediamento (fig. 40). Le zone più vicine ai *castra*, visto il peso che è stato assegnato a tale variabile, sono evidentemente quelle più probabili per un insediamento; visto che i *castra* erano luoghi che fornivano protezione in caso d'incursioni nemiche - come quella degli Avari, nel 610, citata da Paolo Diacono - è molto probabile che gli insediamenti non fossero posizionati molto lontano da essi. È interessante notare come i luoghi d'inumazione, ad eccezione di Cividale, restino al limite della seconda fascia di probabilità, pressoché a metà strada tra i fiumi e i *castra*. Abbiamo effettuato due ulteriori analisi prendendo in esame i punti identificanti i luoghi di inumazione e le necropoli: la prima ci ha permesso di calcolare la distanza di tali punti dai corsi d'acqua, mentre la seconda, chiamata "analisi del vicino prossimo", è stata effettuata misurando la distanza in linea retta tra ogni punto e il suo punto più vicino. Questo dato ci ha permesso di capire la tipologia della distribuzione: ordinata, casuale o aggregata. Per calcolare l'indice di dispersione abbiamo utilizzato due valori: *Ro*, che è dato dalla media della distanza tra i punti e il loro vicino più prossimo, e *Re*, che è la media attesa, cioè la distanza teorica tra i punti e il loro vicino più prossimo. Tale valore si calcola conoscendo il valore della densità:

$$Re = 1/2 \sqrt{p}$$

p = popolazione

L'indice di dispersione è dato da *Ro/Re*: il suo valore è pari a 1 nel caso di una distribuzione casuale, minore di 1 nel caso di una distribuzione aggregata e da 1 fino a un massimo di 2,149 per una distribuzione ordinata²³⁰. I risultati emersi da queste due analisi sono piuttosto interessanti: lo studio della distanza tra i luoghi di sepoltu-

²³⁰ CONOLLY & LAKE, 2006, p. 149; MACCHI JÁNICA, 2009, p. 224.

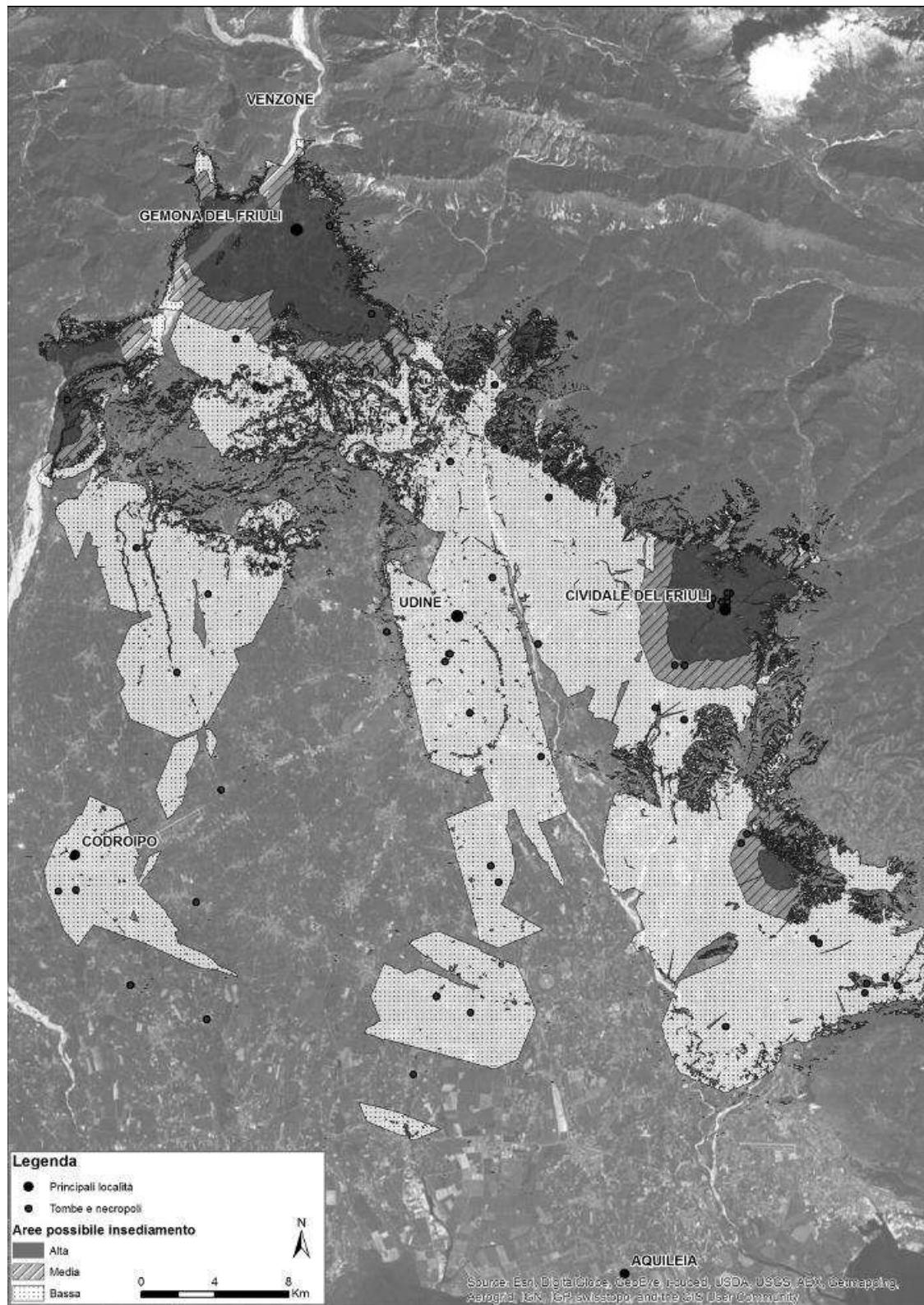


Fig. 40 – Mappa con evidenziate le aree con le condizioni più adatte all’insediamento.

ra e i corsi d'acqua ha evidenziato che nella nostra area di studio ci sono ben 21 luoghi di sepoltura²³¹, localizzati ad una distanza compresa tra i 200 e i 300 metri dai corsi d'acqua (fig. 41). Una distanza simile tra gli insediamenti longobardi e i corsi d'acqua era stata già evidenziata in Veneto da Saggioro, e potrebbe indicare un'effettiva vicinanza tra le necropoli e gli insediamenti. Il risultato dell'analisi del vicino prossimo²³² ha invece evidenziato, con un valore di 0.783375, che i luoghi di sepoltura hanno una distribuzione "aggregata" (fig. 42) e una distanza media tra loro di 3256 m: essi non sono quindi distribuiti in maniera casuale, ma molto probabilmente sono concentrati intorno agli insediamenti.

Se dal nostro modello predittivo eliminiamo la variabile dei *castra* (fig. 43) si ottiene una maggiore omogeneità tra il peso delle variabili e vi è la possibilità di evidenziare delle zone ristrette, dove i valori indicano una maggiore possibilità insediativa; è questo il caso della località Monticello, posizionata ad una distanza di 8 km dalla necropoli di Romans e a 6 km dal *castrum* di Cormons.

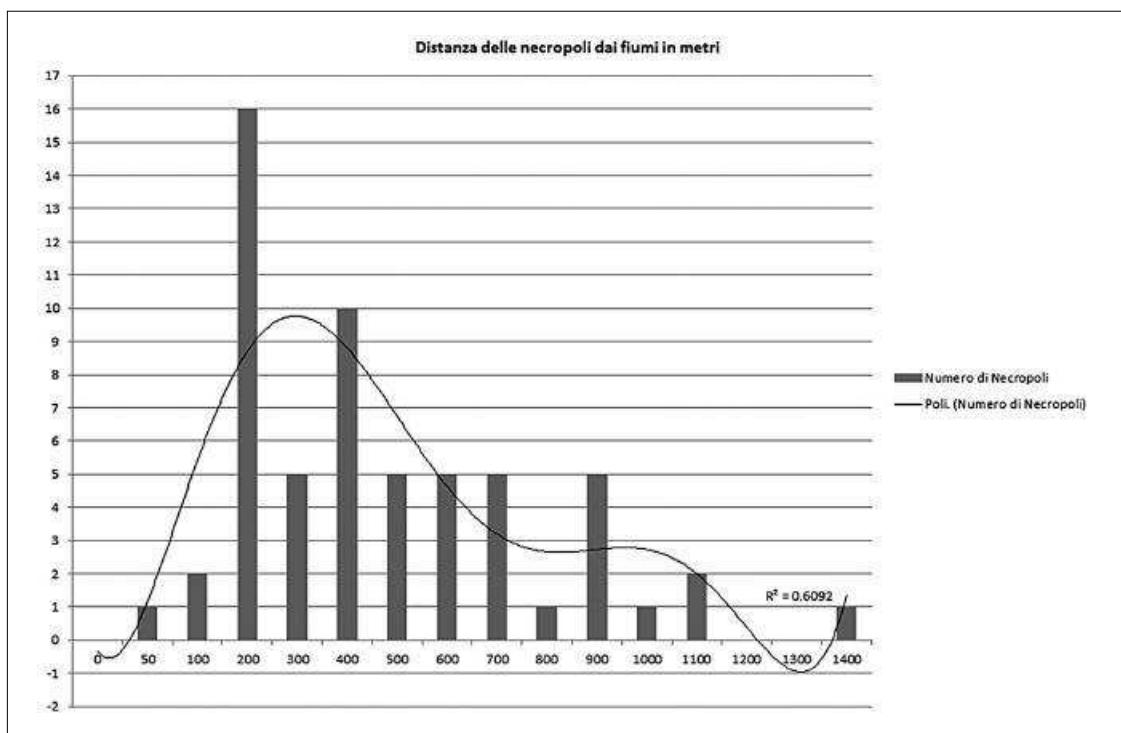


Fig. 41 – Grafico della distanza tra i luoghi di sepoltura e i corsi d'acqua.

²³¹ In questo caso abbiamo utilizzato non solo le necropoli, ma anche le tombe isolate.

²³² In inglese *Nearest Neighbor*.

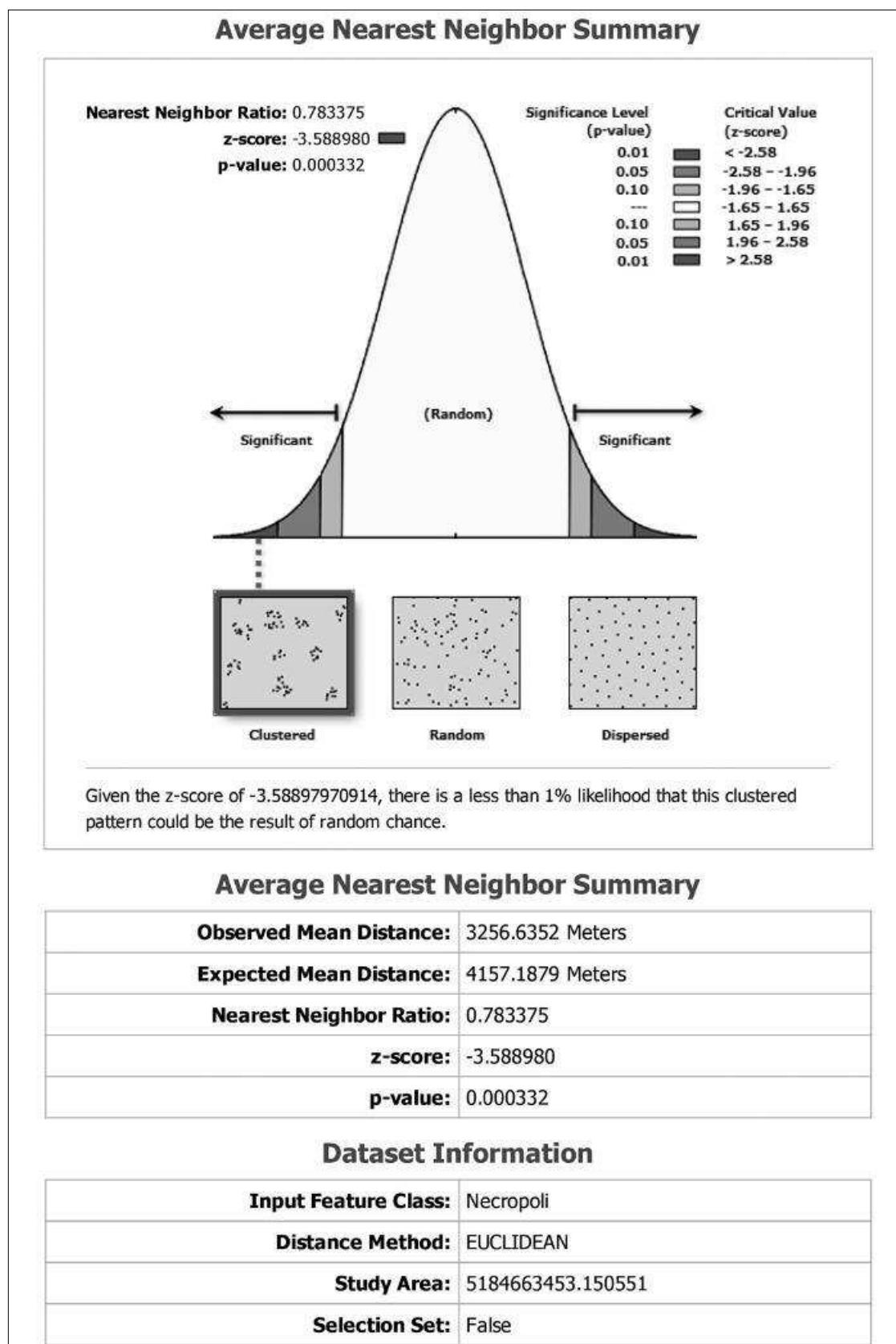


Fig. 42 – L'analisi del vicino prossimo ha evidenziato, che i luoghi di sepoltura hanno una distribuzione “aggregata”.

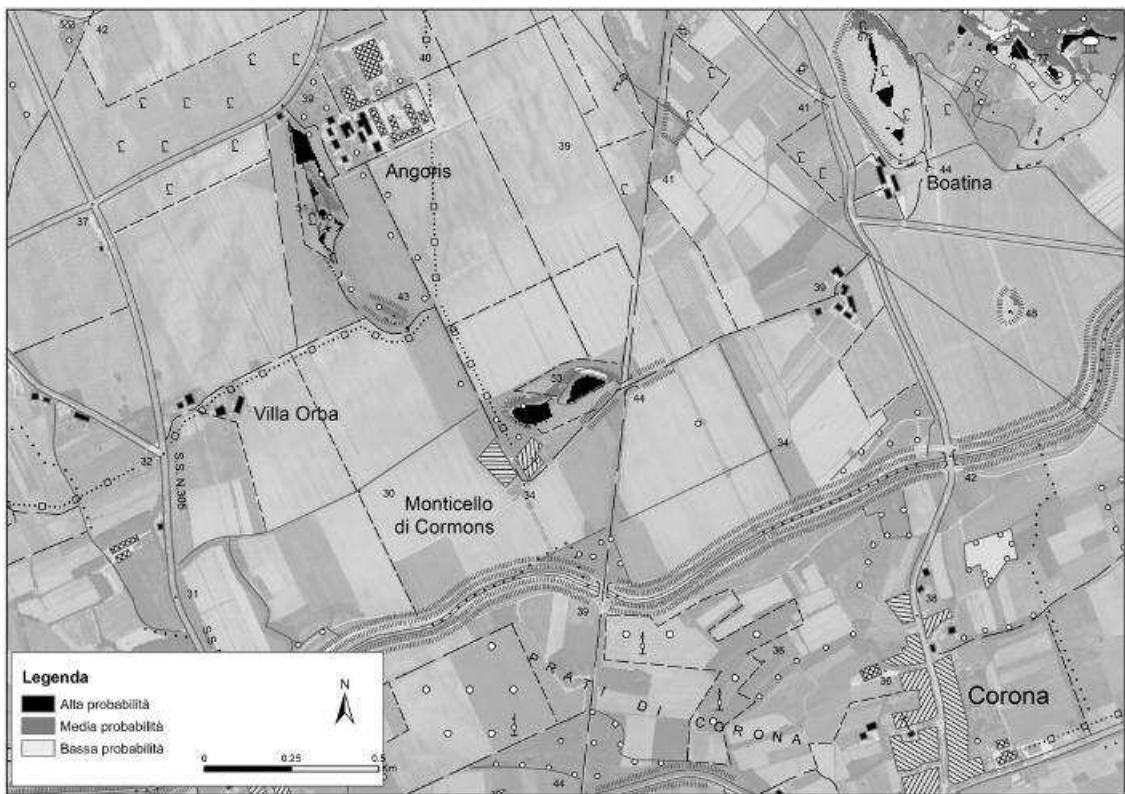


Fig.43 – In questa mappa sono visibili le aree, create dal calcolatore, in cui vi sono le condizioni più adatte all'insediamento.

Bibliografia

ASU – Archivio di Stato di Udine.

ASV – Archivio di Stati di Venezia.

BMAC – Biblioteca del Museo Archeologico Nazionale di Cividale.

- AA. Vv. 1988 - AA. Vv., *Premariacco e il suo territorio. Testimonianze e memorie storiche*, a cura di A. Tagliaferri, Premariacco (Ud).
- AA. Vv. 1990 - AA. Vv., *Uomini e terre. Storia di Remanzacco*, a cura di A. Tagliaferri, Udine.
- AA. Vv. 1992 - AA. Vv., *Primi dati sul paesaggio vegetale a Castelraimondo di Forgaria in età preromana, romana e postromana*, in *Castel Raimondo. Scavi 1988-1990. I. Lo scavo*, a cura di SANTORO BIANCHI S., Roma, pp. 255-263
- AA. Vv. 1999a - AA. Vv., *Cividât*, n. u. a cura di E. COSTANTINI, M. PASCOLINI, C. MATTALONI, Udine.
- AA. Vv. 1999b - AA. Vv., *An overview of Holocene forest pollen flora/vegetation of the Emilia Romagna Region (Northern Italy)*, "Archivio geobotanico" 5 (1-2), pp. 3-27.
- AA. Vv. 2000 - AA. Vv., "Castrum de Harperch apud Manzanum" (1251-1431). *Manzano e il suo castello: ricerche e indagini archeologiche*, a cura di S. COLUSSA e V. TOMADIN, Udine.
- AA. Vv. 2001 - AA. Vv., *Antichi toponimi del comune di Manzano. Storia e significato*, Cormons (Go).
- AA. Vv. 2003 - AA. Vv., *Comune di Buttrio. Una comunità tra ruralità e innovazione*, a cura di M. PASCOLINI, Udine.
- AA. Vv. 2006 - AA. Vv., *Il Tagliamento*, a cura di BIANCO F., BONDESAN A., PARONUZZI P., ZANETTI M., ZANFERRARI A., Sommacampagna (Vr).
- AA. Vv. 2007a - AA. Vv., *Le Valli del Natisone e dell'Isonzo tra Centroeuropea e Adriatico*, Atti del Convegno Internazionale di Studi, San Pietro al Natisone (Udine, 15-16 settembre 2006), Roma.
- AA. Vv. 2007b - AA. Vv., *Terre d'incontro. Contatti e scambi lungo le Valli del Natisone e dell'Isonzo dall'antichità al medioevo*, Atti della giornata internazionale di studi, S. Pietro al Natisone, 26 novembre 2005, Udine.
- AA. Vv. 2007c - AA. Vv., *Corno di Rosazzo. La sua storia, la sua gente*, a cura di M. VISINTINI, Manzano.
- AA. Vv. 2010 - AA. Vv., *La collina di San Mauro a Cividale del Friuli. Dalla necropoli longobarda alla chiesetta medievale*, a cura di I. Ahumada Silva, Firenze.
- AA. Vv. 2012 - AA. Vv., *Cividale longobarda e il suo Ducato: ricerche in corso*, a cura di VITRI S., Udine.
- AA. Vv. 2013 - AA. Vv., *Il tesoro dei Longobardi. Dagli antichi maestri agli artisti orafi contemporanei*, a cura di P. Bruschetti, P. Giulierini, F. Pagano, P. Frusone, Cortona (Ar).
- AA. Vv. 2015 - AA. Vv., *Ricerche archeologiche nella chiesa di San Giusto*, a cura di BRESSAN A., PIUZZI F., SARTORI F., Udine.
- AHUMADA SILVA 1998 - AHUMADA SILVA I., *Sepolture tra tardo-antico e alto medioevo a Cividale del Friuli. Considerazioni e bibliografia aggiornata*, "Documenti di Archeologia", 13, pp. 143-160.
- AHUMADA SILVA 2001 - AHUMADA SILVA I., *Necropoli longobarde a Cividale ed in Friuli*, in AA. Vv. *Atti del XIV Congresso internazionale di studi sull'Alto Medioevo*, Cividale del Friuli - Bottenicco di Moimacco 24-29 settembre 1999, Spoleto (Pg), pp. 321-356.

- AHUMADA SILVA 2010 - AHUMADA SILVA, *Brevi note su tre sepolture privilegiate della fase altomedievale della chiesa dei santi Pietro e Biagio di Cividale*, "Forum Iulii", 34, pp. 59-70.
- AHUMADA SILVA 2012 - AHUMADA SILVA I, *Oreficeria longobarda a Cividale. Croci auree*, Udine.
- AHUMADA SILVA 2013 - AHUMADA SILVA I, *Catalogo*, in AA. Vv. 2013, pp. 46-69.
- AMES, MICHAELIS, DUNSFORD 2007 - AMES D.P., MICHAELIS C., DUNSFORD T., *Introducing the MapWindow GIS Project*, "OSGeo Journal", The Journal of the Open Source Geospatial Foundation, 2, September, pp. 1-4.
- ANDERSEN 1979 - ANDERSEN S.T., *Identification of wild grass and cereal pollen*, "Danmarks Geologiske Undersøgelse", Arbog pp. 69-92.
- AZZARA 2003 - AZZARA C., *Le vie di comunicazione delle Venezie fra tardo antico e alto medioevo*, in *Per terra e per acque. Vie di comunicazione nel Veneto dal medioevo alla prima età moderna*, Atti del convegno, Castello di Monselice 16 dicembre 2001, a cura di D. GALLO e F. ROSSETTO, Padova, pp. 79-92.
- BAIOCCHI, LELO 2002 - BAIOCCHI V., LELO K., *Georeferenziazione di cartografie storiche in ambiente GIS e loro verifica mediante rilievi GPS*, Atti del VI Convegno Nazionale ASITA, Milano (estr.).
- BARAZZETTI, REMONDINO, SCAIONI 2010 - BARAZZETTI L., REMONDINO F., SCAIONI M., *Automation in 3D reconstruction: results on different kinds of close-range blocks*, "International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 38, parte 5, Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, pp. 55-61.
- BELTRAME, COLUSSA 2001 - BELTRAME F., COLUSSA S., *L'età romana: le centuriazioni*, in AA. Vv. 2001, pp. 23-36.
- BELTRAME, COLUSSA 2006 - BELTRAME F., COLUSSA S., *L'organizzazione del territorio in età romana: le centuriazioni e la viabilità*, in AA. Vv., *Pavie. Il Comune di Pavia di Udine e la sua storia*, a cura di A. BORZACCONI e G. CAIAZZA, Udine, pp. 48-81.
- BELVEDERE 1994 - BELVEDERE O., *La ricognizione sul terreno*, "Journal of Ancient Topography", 4, pp. 69-84.
- BELVEDERE 2010, BELVEDERE O., *La ricognizione di superficie. Bilancio e prospettive*, "Journal of Ancient Topography", 20, pp. 31-40.
- BENDEA ET ALII 2007 - BENDEA H., CHAIBRANDO F., TONIOLI F.G., MARENCHINO D., *Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV. The Augusta Bagiennorum test site*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 36, fasc. 5, pp. 117 - 122.
- BENFER 2012 - BENFER A.K., *Interregional "landscapes of movement" and the la unión archaeological district of northeastern Costa Rica*, tesi di dottorato, Università del Kansas.
- BERGLUND, RALSKA-JASIEWICZOWA 1986 - BERGLUND B.E., RALSKA-JASIEWICZOWA M., *Pollen analysis and pollen diagrams*, in *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, a cura di BERGLUND B.E., Chichester, pp. 455-484.
- BERTINETTI 1991 - BERTINETTI M., *La cura viarum. In Viae publicae romanae. Catalogo della mostra*, pp.36 -37.
- BEUG 2004 - BEUG H.J. 2004, *Leifaden der Pollenbestimmungen für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*, Stuttgart.
- BEVILACQUA, PUPPI 1987 - BEVILACQUA E., PUPPI L., *Padova: il volto della città: dalla pianta del Valle al fotopiano*, Padova.
- BEZZI, BEZZI, GIETL 2009 - BEZZI A., BEZZI L., GIETL R., *Archeologia e open source, il prossimo passo: costruire e sviluppare progetti hardware* in "Archeologia e Calcolatori", supplemento 2, pp. 183 - 193.
- BEZZI, BEZZI, DUCKE 2011 - BEZZI A., BEZZI L., DUCKE, B., *Computer Vision e Structure from Motion, nuove metodologie per la documentazione archeologica tridimensionale: un approccio aperto* in "Archeofoss 2010. Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica", V Workshop, Foggia, (6-7 maggio 2010), Bari, pp. 103-111.
- BIANCHETTI 2004 - BIANCHETTI A., *La centuriazione*, in AA. Vv., *Terra di Castellieri. Archeologia e Territorio nel Medio Friuli*, a cura di BIANCHETTI A., Tolmezzo, pp. 103-140.
- BIANCO 2008 - BIANCO F., *L'immagine del territorio. Società e paesaggi del Friuli nei disegni e nella cartografia storica (secoli XVI-XIX)*, Udine.

- BIGLIARDI 2004 – BIGLIARDI G., *Alpes, id est Claustra Italiae. La trasformazione dei complessi fortificati romani dell'arco alpino centro-orientale tra l'età tardo-antica, "Aquileia Nostra"*, 75, cc. 317-372.
- BIGNARDI 1978 - BIGNARDI A., *Le campagne emiliane nel Rinascimento e nell'età barocca*, Bologna.
- BOLLA 1996 – BOLLA M., *Le necropoli delle ville romane di Desenzano e Sirmione*, “Documenti di archeologia”, 11, pp. 51-70.
- BORIANI ET ALII 2004 - BORIANI, M., BORTOLOTTO S., PALO M.C., SANGIORGO C., SCAZZOSI L.- *La cartografia storica per le analisi paesistico-territoriali*, Atti del VIII Convegno Nazionale ASITA, Milano (estr.).
- BORZACCONI 2007 – BORZACCONI A., *Cividale, nuova zona artigianale*, “Forum Iulii”, 31, pp. 185-186.
- BORZACCONI 2024 – BORZACCONI A., *Spazi funerari suburbani in età longobarda. Recenti scoperte*, in AA. Vv. 2013, pp. 37-45.
- BORZACCONI, CAVALLI 2008 – BORZACCONI A., CAVALLI F., *Nuovi dati sulla necropoli alto-medievale in località Gallo a Cividale del Friuli*, “Forum Iulii”, 32, pp. 37-64.
- BORZACCONI, COLUSSA, VITRI 2007 - BORZACCONI A., COLUSSA S., VITRI S., *Cividale (Ud).* *Nuova zona artigianale. Sondaggi archeologici 2007*, “Notiziario della Soprintendenza per i Beni Archeologici del Friuli Venezia Giulia”, 2, pp. 27-33.
- BORZACCONI, PETRUCCI 2012 – BORZACCONI A., PETRUCCI G., *Cividale. Frequentazione degli spazi esterni alle mura in età longobarda*, in AA. Vv., 2012, pp. 37-51.
- BORZACCONI, NEGRI 2015 – BORZACCONI A., NEGRI A., *Osservazioni sui reperti ceramici*, in AA. Vv., 2015, pp. 25-26.
- BOSCAROL 2009 – BOSCAROL C., *Il comparto nord orientale del Friuli Venezia Giulia tra Neolitico e Bronzo antico: aspetti di viabilità e di economia pastorale*, tesi di dottorato, Università di Trieste.
- BOSIO 1970 – BOSIO L., *Itinerari e strade della Venetia romana*, Padova.
- BOSIO 1977 - BOSIO L., *Cividale del Friuli. La storia*, Udine.
- BOSIO 1991 - BOSIO L., *Le strade romane della Venetia e dell'Histria*, Padova.
- BOSIO 1997 - BOSIO L., *Le strade romane della Venetia e dell'Histria*, Padova (seconda edizione).
- BOTTEMA 1992 – BOTTEMA S., *Prehistoric cereal gathering and farming in the Near East: the pollen evidence*, “Review of Palaeobotany Palynology”, 7, pp. 21-23.
- BROGIOLO, CHAVARRIA 2003 - BROGIOLO G.P., CHAVARRIA A., *Chiese e insediamenti tra V e VI secolo: Italia settentrionale, Gallia meridionale e Hispania*, “Documenti di Archeologia”, 30, pp 9-37.
- BROZZI 1960 - BROZZI M., *Il monastero longobardo di Salt*, “Ce fastu?”, 36, n. 1-6, pp. 172-178.
- BROZZI 1969 – BROZZI M., *Ritrovamenti longobardi in Friuli*, “Memorie Storiche Forgiuliesi”, 49, pp. 114-120.
- BROZZI 1973- BROZZI M., *Schede di archeologia longobarda in Italia. Friuli*, “Studi Medievali”, serie 3^, 14, fasc. II, dicembre, pp. 1133-1151.
- BROZZI 1975 - BROZZI M., *Il Ducato longobardo del Friuli*, Udine (prima edizione).
- BROZZI 1980 - BROZZI M., *"In loco qui dicitur": appunti di toponomastica altomedievale cividalese*, “Memorie Storiche Forgiuliesi”, 60, pp. 223-231.
- BROZZI 1981 - BROZZI M., *Il Ducato longobardo del Friuli*, Udine (seconda edizione).
- BROZZI 1988 - BROZZI M., *Gli insediamenti longobardi*, in AA. Vv. 1988, pp. 43-54.
- BROZZI 1989- BROZZI, M., *La popolazione romana nel Friuli longobardo (VI-VII sec.)*, Udine.
- BROZZI 1990 - BROZZI M., *Una "fara" di cavalieri longobardi e il corredo funerario di una nobildonna*, in AA. Vv. 1990, pp. 31-37.
- BROZZI 1994- BROZZI M., *Togliano: un antico villaggio rurale*, “Memorie Storiche Forgiuliesi”, 74, pp. 25-41.
- BROZZI 2000 - BROZZI M., *La placca di fibbia di "tipo longobardo" proveniente dal castello di Manzano*, in AA. Vv. 2000, p. 167.
- BUORA 2011 - BUORA M., *L'indagine sulle strade romane del Friuli: dal Cinquecento ai nostri giorni*, in AA. Vv., *Città della strada, città della spada: Udine medioevale*, a cura di D'ARONCO M.A., Udine, pp. 33-52.

- BURROUGH 1986 - BURROUGH P.A., *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Oxford.
- BUSANA 2002 - BUSANA M.S, *Architetture rurali nella Venetia Romana*, Roma.
- CAGNANA 2001 – CAGNANA A., *Luoghi di culto e organizzazione del territorio in Friuli Venezia Giulia fra VII e VIII secolo*, “Documenti di Archeologia”, 26, pp. 93-122.
- CAGNANA 2003 – CAGNANA A., *La cristianizzazione delle aree rurali in Friuli Venezia Giulia fra V e VI secolo: nuove fondazioni religiose fra resistenze pagane e trasformazioni del popolamento*, “Documenti di Archeologia”, 30, pp. 217-244.
- CAMBI, TERRENATO 2004 - CAMBI F., TERRENATO N., *Introduzione all’archeologia dei paesaggi*, Roma.
- CAMPANA 2003 - CAMPANA S., *Catasto Leopoldino e Gis technology: metodologie, limiti e potenzialità*, “Trame Spaziali”, Quaderni di Geografia Storica del Dipartimento di Storia dell’Università di Siena, pp. 71-78.
- CAMPANA, REMONDINO 2008. - CAMPANA S., REMONDINO F., *Fast and detailed digital documentation of archaeological excavations and heritage artifacts in Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Berlin, Germany, April 2-6, 2007, Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, vol. 10, pp. 36 – 42.
- CAMPANA, REMONDINO, SARAZZI, SORDINI, 2008. - CAMPANA S., REMONDINO F., SARAZZI D., SORDINI M., *Integrated technologies for the 3D digital documentation of archaeological excavation and historical building*, in 37th International Symposium on Archaeometry, 12-16 May 2008, Siena, Italy (estratto).
- CARRARA 2013 - CARRARA N., *The Lombard necropolis of Dueville (Northeast Italy, 7th-9th c. AD): burial rituals, paleodemography, anthropometry and paleopathology*. “Antrocom: Online Journal of Anthropology”, 9, n. 2, pp. 259-271.
- CARULLI 2006 - CARULLI G.B.(a cura di), *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia alla scala 1:150.000*, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Firenze.
- CASANA 2013 – CASANA J., *Radial route systems and agro-pastoral strategies in the Fertile Crescent: New discoveries from western Syria and southwestern Iran*, “Journal of Anthropological Archaeology”, 32, n. 2, pp. 257–273.
- CASAROTTO, KAMERMANS 2013 – CASAROTTO A., KAMERMANS H., *Archaeological Predictive Modelling : a proposal for the CRM of the Veneto region*, in *Opening the Past. Archaeology of the Future*, Pisa 13-15 giugno 2013, pp. 10-11 (abstract).
- CASAROTTO, DE GUIO, FERRARESE 2009 – CASAROTTO A., DE GUIO, A., FERRARESE F., *ACTION GIS: un modello predittivo del movimento antropico in un paesaggio antico. Il caso di studio archeologico della Val d’Alpone (VR)*, “Archeologia e calcolatori”, 20, pp. 291-307.
- CATTABIANI 1996 - CATTABIANI A., *Florario - Miti leggende e simboli di fiori e piante*, Mondadori.
- CAVALLI, PASCUCCI, PIGNATTI 2009. - CAVALLI R.M., PASCUCCI S., PIGNATTI S., *Optimal spectral domain selection for maximizing archaeological signatures: Italy case studies*, “Sensors”, 9, n. 3, pp. 1754–67.
- CERAUDO 2012 - CERAUDO G., *100 anni di Archeologia Aerea in Italia*, in “Archeologia Aerea, studi di aerotopografia archeologica,” 4.10 – 5.11, Atti del Convegno Internazionale, Roma 15-17 aprile 2009.
- CERAUDO, BOSCHI 2009 – CERAUDO G., BOSCHI F., *Fotografia aerea per l’archeologia*, in AA. Vv., *Groma 2. In profondità senza scavare*, a cura di GIORGI E., pp. 171–186.
- CERAUDO, PICCARRETA 2004 - CERAUDO G., PICCARRETA F. (a cura di), *Archeologia aerea: studi di aerotopografia archeologica*, I, Roma.
- CHASE, CHASE 2001 - CHASE A.F., CHASE D.Z., *Ancient maya causeways and site organization at Caracol, Belize*, “Ancient Mesoamerica”, 12, n. 2, pp. 273–281.
- CHIABRANDO *et alii* 2009 - CHIABRANDO F., MARENCHINO D., NEX F., PIATTI D., RINAUDO F., *UAV systems for photogrammetric recording in archaeological areas: problems, suggestions, and products*, Proc. SPIE 7478, in *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IX*, 747807 (October 07, 2009); doi:10.1117/12.830412, pp. 747807-12.
- CHOUCHER, FAVORY 2001 - CHOUCHER G., FAVORY F., *L’arpentage romain*, Paris.

- CHRISMAN 1988 – CHRISMAN N., *The Risks of Software Innovation: a Case Study of the Harvard Lab.*, “Cartography and Geographic Information Science”, 15, n. 3, pp. 291–300.
- CIRELLI 2006 - CIRELLI E., *Classificazione e quantificazione del materiale ceramico nelle ricerche di superficie*, “Documenti di Archelogia”, 42, pp. 169-178.
- COLUSSA 2000 - COLUSSA S., *La ceramica*, in AA. Vv. 2000, pp. 95-133.
- COLUSSA 2003 – COLUSSA S., *Manzano, castello. Scavi 2003*, “Aquileia Nostra”, 74, cc. 776-779.
- COLUSSA 2010 - COLUSSA S., *Cividale del Friuli. L'impianto urbano di Forum Iulii in epoca romana. Carta archeologica*, “Journal of Ancient Topography”, suppl. V, Galatina (Le).
- COLUSSA 2001 - COLUSSA S., *Un modello di studio del paesaggio antico. Il caso dell'agro del municipio romano di Forum Iulii*. Tesi di dottorato in Geomatica e Sistemi Informativi Territoriali, Università degli studi di Trieste, a. a. 2009/2010.
- COLUSSA 2012 – COLUSSA S., *Cartografia catastale storica e gis nello studio della topografia antica: l'esempio della tavoletta IGM 25 II NE (Premariacco-Ud)*, “Journal of Ancient Topography”, 22, pp. 51-68.
- COLUSSA 2013 – COLUSSA S., *Gli edifici rustici di Michele della Torre: una verifica topografica*, “Forum Iulii”, 37, pp. 23-49.
- COLUSSA 2015 - COLUSSA S., *Chiese campestri e siti di epoca romana nel territorio di Remanzacco. Appunti per una ricerca*, in AA. Vv. 2015, pp. 7-9.
- COLUSSA, SACCHERI, TRAVAN 2009 – COLUSSA S., SACCHERI P., TRAVAN L., *Brevi riflessioni sulle sepolture con corredo di vasi in ceramica grezza provenienti dall'area cimiteriale della chiesa di San Martino a Remanzacco (Ud)*, “Forum Iulii”, 33, pp. 149-166.
- COMEL 1954 - COMEL A., *Monografia sui terreni della pianura friulana. Genesi della pianura orientale costruita dall'Isonzo e dai suoi affluenti*, “Nuovi Annali dell'Istituto Chimico-Agrario Sperimentale di Gorizia”, 5, Gorizia.
- COMEL 1955 - COMEL A., *Monografia sui terreni della pianura friulana. II. Genesi della pianura centrale connessa all'antico sistema fluvio glaciale del Tagliamento*, “Nuovi Annali dell'Istituto Chimico-Agrario Sperimentale di Gorizia”, 6, Gorizia.
- COMEL, NASSIMBENI, NAZZI 1982 - COMEL A., NASSIMBENI P., NAZZI P., *Carta pedologica della pianura friulana e del connesso anfiteatro morenico del Tagliamento*. Pubbl. Regione Aut. FVG., Dir. Reg. Pianif. Bilancio, Centro regionale per la sperimentazione agraria, s.l.
- CONOLLY, LAKE 2006 - CONOLLY J., LAKE M., *Geographical Information Systems in Archaeology*, Cambridge.
- CORBELLINI 1986 - CORBELLINI R., *Per un repertorio delle fonti catastali dell'ottocento, “Mетоди e Ricerche”*, n.s., 5, n. 2 (luglio-dicembre), pp. 51-85.
- CRAWFORD, KEILLER 1928 – CRAWFORD O.G.S., KEILLER A., *Wessex from the Air*, Oxford.
- CROPPER 2010 - CROPPER S., *GvSIG is a viable robust alternative to commercially available GIS packages*, “OSGeo Journal”, The Journal of the Open Source Geospatial Foundation, 6, settembre, pp. 23-25.
- DE FRANCESCHINI 1999 - DE FRANCESCHINI M., *Le ville romane della X Regio Venetia et Histria*, Roma.
- DEGRASSI 2007 - DEGRASSI D., *DAI MONTI AL MARE. TRANSITI E COLLEGAMENTI TRA LE ALPI ORIENTALI E LA COSTA DELL'ALTO ADRIATICO (SECOLI XIII-XV)*. IN AA. Vv., *VIE DI TERRA E D'ACQUA. INFRASTRUTTURE VIARIE E SISTEMI DI RELAZIONI IN AREA ALPINA (SECOLI XIII-XIV)*, a cura di BERGIER J-F., COPPOLA G., BOLOGNA, pp. 161-187.
- DEL BASSO, BROZZI 1962 - DEL BASSO G.M., BROZZI M., *La Prepositura e la chiesa di S. Stefano di Cividale*, “Ce Fastu?”, 38, n. 1-6, pp. 87-102.
- DELLA TORRE 1819 - DELLA TORRE M., *Tipo della città di Cividale ed Agro Suburbano con la specificazione delle Icnografie Romane dissotterrate nella Città stessa ed Agro negli Scavi fatti per Sovrana Risoluzione negli anni 1817 1818 e 1819*, ms. BMAC, fondo della Torre.
- DELLA TORRE 1827a - DELLA TORRE M., *Storia degli scavi praticati per Sovrana Risoluzione dal 1817 al 1826 in Cividale del Friuli e suo agro sotto la direzione del canonico mons. della Torre e Valsassina*, Cividale, ms. BMAC, fondo della Torre.
- DELLA TORRE 1827b - DELLA TORRE M., *Libri e Tavole dei Disegni* (6 Albi, disegni di Antonio Carli e Pellegrino Gabrici), ms. BMAC, fondo della Torre.
- DELLA TORRE 1827c - DELLA TORRE M., *Tabella di descrizione indicante co' numeri Romani*

- e Arabi i luoghi ne' quali si praticarono gli scavi per Sovrana Risoluzione dall'anno 1817 all'anno 1826*, ms. BMAC, fondo della Torre.
- DELLA TORRE 1827d - DELLA TORRE M., *Tipo della città ed agro di Cividale del Friuli*, ms. BMAC, fondo della Torre.
- DEL SEPPA 2005 - DEL SEPPA N., *IL MIGLIORAMENTO RADIOMETRICO E SPAZIALE DELLE IMMAGINI PER L'INDIVIDUAZIONE DI ELEMENTI LINEARI SEPOLTI*, "SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR CULTURAL HERITAGE", 14, NN.1/2, PP.1000-1007.
- DE MARCHI 2001 - DE MARCHI P.M., *Edifici di culto e territorio nei secoli VII e VIII: Canton Ticino, Area Abduana, Brianza e Comasco. Note per un'indagine*, "Documenti di Archeologia", 26, pp. 63-92.
- DE ROUGEMONT 2002 - DE ROUGEMONT G., *Guida delle piante di uso comune per la salute e l'alimentazione*, Padova.
- DE SILVA, PIZZIOLI 2000 - DE SILVA M., PIZZIOLI G., *Setting up a "human calibrated" anisotropic cost surface for archaeological landscape investigation*, in AA. Vv., *Proceedings of the 28th Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, a cura di STANI, Z., VELJANOVSKI T., pp. 279-288.
- DESINAN 1982 - DESINAN C.C., *Agricoltura e vita rurale nella toponomastica del Friuli-Venezia Giulia*, Pordenone.
- DI ZIO, BERNABEI 2009 - DI ZIO S., BERNABEI D., *Un modello GIS multicriterio per la costruzione di mappe di plausibilità per la localizzazione di siti archeologici: il caso della costa terramana*, "Archeologia e calcolatori", 20, pp. 309-329.
- DOCCI, MAESTRI 2009 - DOCCI M., MAESTRI D., *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Bari.
- EISENBEISS 2008 - EISENBEISS H., *The autonomous mini helicopter: a powerful platform for mobile mapping*, "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information", 37, parte B1, Pechino, pp. 977-983.
- EISENBEISS 2009 - EISENBEISS H., *UAV Photogrammetry*, Zurich.
- EISENBEISS, SAUERBIER 2010 - EISENBEISS H., SAUERBIER M., *UAVS for the documentation of archaeological excavations*, "The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information", 38, parte 5, Newcastle upon Tyne, pp. 526-531.
- FAEGRI, IVERSEN 1989 - FAEGRI K., IVERSEN J., *Textbook of Pollen analysis*, 4^o edizione a cura di FAEGRI K., KALAND P.E., KRZYWINSKI K., Chichester.
- FAVRETTO 2007 - FAVRETTO A., *Elementi di cartografia in ambiente GIS*, in AA. Vv., *Sviluppo locale ed integrazione regionale: metodologie e problematiche con particolare riferimento alla cartografia*, a cura FAVRETTO A., Bologna, pp. 11-39.
- FICARA 2006 - FICARA M., *L'occupazione dei dossi fluviali nel territorio di Reggio Emilia: il caso di Canolo di Mezzo*, "Documenti di Archelogia", 42, pp. 147-168.
- FISHBURN 1967 - FISHBURN P.C., *Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments*, Baltimore.
- FONTANA 2006 - FONTANA A. - *Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e sue relazioni con le dinamiche insediative antiche*, Udine.
- FONTANA, MOZZI, BONDESAN 2004 - FONTANA A., MOZZI P., BONDESAN A., *L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana*, in AA. Vv., *Note illustrate della Carta geomorfologica della provincia di Venezia*, a cura di BONDESAN A., MENEGHEL M., Padova, pp. 113-138.
- FORTE 2002 - FORTE M., *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*, Roma.
- FRANCOVICH, VALENTI 2005 - FRANCOVICH R., VALENTI M., *Forme del popolamento altomedievale nella campagna toscana (VII-X secolo)*, "Documenti di archeologia", 37, pp. 245-258.
- GELICHI, GABRIELLI 2003 - GELICHI S., GABRIELLI R., *Le chiese rurali tra V e VI secolo: l'Emilia Romagna*, "Documenti di Archeologia", 30, pp. 245-266.
- GHERDEVICH 2009 - GHERDEVICH D., *L'analisi spaziale come strumento per la ricostruzione della viabilità medievale nel Friuli Venezia Giulia*, Tesi di dottorato in Geomatica e Sistemi Informativi Territoriali, Università degli studi di Trieste, a.a. 2007/2008.
- GIETL, DONEUS, FERA 2007 - GIETL R., DONEUS M., FERA M., *Cost Distance Analysis in an Alpine environment: Comparison of different cost surface modules*, in AA. Vv., *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, a cura di STANI, Z., VELJANOVSKI T., pp. 279-288.

- tative Methods in Archaeology (CAA)*, a cura di Posluschny A., Lambers K., Herzog I., Berlino, Aprile 2-6, 2007 (Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, Vol. 10), pp. 279-286.
- GILARDONI 2007 – GILARDONI O, *Confronto di applicazioni Image-based e Range-based per applicazioni terrestri*, tesi di laurea, Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale, Polo regionale di Como, a.a. 2006/2007.
- GIOVANNINI 2002 – GIOVANNINI A. 2002, *Una scoperta di epoca altomedievale nel territorio di Remanzacco: la tomba di una donna di rango e il suo corredo*, “Forum Iulii”, 26, pp. 25-40.
- GOMBOSO 1990 - GOMBOSO R., *Congregazioni religiose sopprese. “A”. (Ordinamento e inventario)*. Tesi di laurea in archivistica generale e storia degli archivi, Università degli Studi di Udine, a.a. 1989-1990.
- GRILLI 1979 - GRILLI A., *Il sistema viario romano*, “Antichità Alto Adriatiche”, 15, pp. 223-257.
- GAUITOLI 2003 – GUAITOLI M. (a cura di), *Lo sguardo di Icaro. Collezioni dell'aerofototeca nazionale per la conoscenza del territorio*, Roma.
- HERZOG, OUBI 2013 - HERZOG I., OUBI P., *The Potential and Limits of Optimal Path Analysis Aims of least-cost path calculations in archaeology*, in AA. Vv., *Computational Approaches to Archaeological Spaces*, a cura di BEVAN A., LAKE M., Walnut Creek, pp.179-213.
- HUBBARD, CLAPHAM 1992 - HUBBARD R.N.L.B., CLAPHAM, A., *Quantifying macroscopic plant remains*, “Review Palaeobotany Palynology”, 73, 1992, pp. 117-132.
- IMHOF 1950 - IMHOF E., *Gelände und Karte*, Erlenbach-Zurich.
- JSTRUJD 2005 - JSTRUJD B.E., *Cost surface analysis and ancient roads : a comparison*, in AA. Vv., *Temps et espaces de l'homme en société, analyses et modèles spatiaux, XXV Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes*, a cura di BERGER J.-F., BERTONCELLO F., BRAEMER F., DAVTIAN G., GAZENBEEK M., Antibes, pp. 135-139.
- KAMERMANS, VAN LEUSEN, VERHAGEN 2009 - KAMERMANS H., VAN LEUSEN M., VERHAGEN P., *Archaeological Prediction and Risk Management: Alternatives to Current Practice*, Leiden.
- KANTNER 1997 - KANTNER J., *Ancient roads, modern mapping: Evaluating prehistoric Chaco Anasazi roadways using GIS technology*, “Expedition”, 39, pp. 49-62.
- KVAMME 1988 – KVAMME K., *Development and testing of quantitative models, in Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, method; and application of archaeological predictive modeling*, a cura di JUDGE W. J., SEBASTIAN L., Washington, pp. 325 – 418.
- LEUSEN 2002 – LEUSEN P., *Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial patterns in archaeological landscapes*, Tesi di dottorato, University of Groningen, a.a. 2001/2002.
- LIBRENTI NEGRELLI 2006 - LIBRENTI M., NEGRELLI C., *Ricerche territoriali in Emilia Romagna: le esperienze di Nonantola e di Cesena*, “Documenti di Archelogia”, 42, pp. 103-114.
- LLOBERA, M.2000. *Understanding movement: a pilot model towards the sociology of movement*, in AA. Vv., *Bejond the Map: Archaeology and Spacial Technologies*, a cura di LOCK G., Amsterdam, pp. 65-84.
- LOWE, ACCORSI *et alii* 1996 – LOWE J.J., ACCORSI C.A., BANDINI MAZZANTI M., BISHOP A., VAN DER KAARS S., FORLANI L., *Pollen stratigraphy of sediment sequences from carter lakes Albano and Nemi (near Rome) and from the central Adriatic, spanning the interval from oxygen isotope Stage 2 to the present day*, “Memorie Istituto Italiano Idrobiologia”, 55, pp. 71-98.
- MACCHI JÁNICA 2001 – MACCHI JÁNICA G., *Modelli matematici per la ricostruzione dei paesaggi storici*, “Archeologia e Calcolatori”, 12, pp. 143-165.
- MACCHI JÁNICA 2009 – MACCHI JÁNICA, G., *Spazio e Misura: introduzione ai metodi geografico quantitativi applicati allo studio dei fenomeni sociali*, Siena.
- MAGNANI 2007 - MAGNANI S., *Le vie di comunicazione in epoca romana*, in AA. Vv. 2007b, pp. 130-151.
- MAGNANI, BANCHIG, VENTURA 2005 - MAGNANI S., BANCHIG P., VENTURA P., *Il ponte romano alla Mainizza e la via Aquileia-Emona*, “Aquileia nostra”, 76, cc. 81-136.
- MAGRINI, KRUH 2007 - MAGRINI C., KRUH A., *Tra Natisone e Isonzo: il territorio in età romana*, in AA. Vv. 2007a, pp. 79-90.
- MALCZEWSKI 1999 - MALCZEWSKI J., *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, New York.
- MANCASSOLA 2006 – MANCASSOLA N., *Interpretazione di superficie del dato altomedievale in area padana. Il territorio a sud di Ravenna (Decimano) e la pianura a nord di Reggio Emilia*, “Documenti di Archelogia”, 42, pp. 115-146.

- MANFREDINI, REMONDINO 2012 - MANFREDINI A.M., REMONDINO F., *Reality-Based 3D Modeling, Segmentation and Web-Based Visualization Methods*, "International Journal of Heritage in the Digital Era", 1, n. 1, pp. 110-124.
- MANNONI 2004 - MANNONI T., *L'analisi critica nei problemi di cultura materiale: il caso delle strade romane*, in AA. Vv., *Insediamenti e territorio. Viabilità in Liguria tra I e VII secolo d.C.*, a cura di POZZAR M., Bordighera, pp. 5-17.
- MARCHEZINI 1998 - MARCHEZINI M., *Il paesaggio vegetale nella pianura bolognese in età romana sulla base di analisi archeopalinologiche ed archeocarpologiche*, Tesi di Dottorato in Biosistematica ed ecologia vegetale, Università degli Studi di Firenze, a.a. 1997/1998.
- MARCHEZINI, MARVELLI 2002 - MARCHEZINI M., MARVELLI S., *I risultati delle indagini palinologiche*, in AA. Vv., *Una sepoltura monumentale dell'antica età del bronzo: il tumulo di Sant'Osvaldo (Udine) scavi 2000-2002*, a cura di CASSOLA P., CALOSI M., Roma, pp. 63-80.
- MASELLI SCOTTI, DEGRASSI 1994 - MASELLI SCOTTI F., DEGRASSI V., *Villanova di Farra. Sepolcreto tardoromano e altomedievale*, "Aquileia Nostra", 61, cc. 357-8.
- MATTALONI 1989 - MATTALONI C., *Grupignano. Storia, cronaca e tradizioni di un borgo rurale friulano*, Udine.
- MINETTI, ARDIGÒ, SAIBENE 1993 - MINETTI A.E., ARDIGÒ L.P., SAIBENE F., *Mechanical Determinants of gradient walking energetics of man*, "Journal of Physiology", 472, pp. 725-735.
- MIOTTI 1988 - MIOTTI T., *Castelli del friuli 7. I sette castra di Paolo Diacono ed altri studi castellologici*, Udine.
- MODUGNO 1999 - MODUGNO I., *La viabilità aquilieiese tra fascia rivierasca e montagne: la questione della transumanza. Una nota preliminare*, "Journal of Ancient Topography", 9, pp. 51-66.
- MONEGATO 2006 - MONEGATO G., *L'anfiteatro morenico Tilaventino*, in AA. Vv. 2006, pp. 82-86.
- MONTAGNER 2009 - MONTAGNER G., *Studio integrato di foto aeree e immagini MIVIS per l'individuazione di anomalie a scopi archeologici*. Tesi di laurea in Ingegneria Ambientale, Università degli studi di Trieste, a.a. 2009-2010.
- MOORE, WEBB, COLLINSON 1991 - MOORE P.D., WEBB J.A., COLLINSON M.E., *Pollen Analysis*, Oxford.
- MOULON, BEZZI 2012 - MOULON P., BEZZI A., *Python Photogrammetry Toolbox: a free solution for ThreeDimensional Documentation*, "Quaderni del Centro Studi Magna Grecia", 13, pp. 153-170.
- MUSSON, PALMER, CAMPANA, 2005 - MUSSON C., PALMER R., CAMPANA S., *In volo nel passato. Aerografia e cartografia archeologica*, Firenze.
- MUZZIOLI 2005 - MUZZIOLI M.P., *La centuriazione di Aquileia: scelte tecniche nella progettazione*, "Atlante Tematico di Topografia Antica", 14, pp. 7-35.
- OLAYA, GIMENEZ 2008 - OLAYA V., GIMENEZ J.C., *SEXTANTE, a gvSIG-based platform for geospatial analysis*, "OSGeo Journal", The Journal of the Open Source Geospatial Foundation, 3, Aprile, pp. 1-9.
- OROMBELLINI, RAVAZZI 1996 - OROMBELLINI G., RAVAZZI C., *The late glacial and early Holocene chronology and paleoclimate. Il Quaternario*, "Italian Journal of Quaternary Sciences", 9, pp. 439-444.
- PAIERO 2006 - PAIERO G., *L'alta pianura: dallo sbocco della valle montana alla fascia delle risorgive*, in AA. Vv. 2006, pp. 119-126.
- PAVANELLO 2003 - PAVANELLO I., *I catasti storici di Padova XIX-XX secolo*, Cittadella (Pd).
- PECERE 2006 - PECERE B., *Viewshed e Cost Surface Analyses per uno studio dei sistemi inesistitivi antichi: il caso della Daunia tra X e VI sec. a.C.*, "Archeologia e calcolatori", 17, pp. 177-213.
- PICCARRETA 1987 - PICCARRETA F., *Manuale di fotografia aerea*, Roma.
- PICCARRETA, CERAUDO 2000 - PICCARRETA F., CERAUDO G., *Manuale di aerofotografia archeologica*, Bari.
- PICCINI 2006 - PICCINI D., *Lessico latino medievale in Friuli*, Udine.
- PIGNATTI 1989 - PIGNATTI S., *Flora d'Italia*, Bologna.

- PIUZZI 2010 - PIUZZI F., *Indagini archeologiche preliminari*, in AA. Vv., *La chiesa di San Giusto a Premariacco. Studi e ricerche 2009*, Udine, pp. 30-40.
- PIUZZI 2015 – PIUZZI F., *Conclusioni*, in AA. Vv. 2015, pp. 27-28.
- POSLUSCHNY, HERZOG 2011 - POSLUSCHNY A., HERZOG I., *Tilt – Slope-Dependent Least Cost Path Calculations Revisited*, in AA. Vv., *On the Road to Reconstructing the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Proceedings of the 36th International Conference Budapest, April 2–6, 2008, a cura di Jerem E., Red F., Szeverényi V, pp. 236–242.
- PRENC 2000 – PRENC F., *Viabilità e centuriazioni nella pianura aquileiese*, in AA. Vv., *Cammina Cammina... Dalla via dell'ambra alla via della fede*, a cura di BLASON SCAREL S., Ronchi dei Legionari (Go), pp. 43-58.
- PRENC 2002 – PRENC F., *Le pianificazioni agrarie di età romana nella pianura aquileiese*, Trieste.
- PUNT *et alii* 2009 – PUNT W., BLACKMORE S., HOEN P.P., STAFFORD P.J., *The Northwest European Pollen Flora*, Elsevier, Amsterdam.
- QUARINA 1943 – QUARINA L., *Castellieri e tombe a tumulo nella provincia di Udine*, “*Ce Fastu?*”, 19, pp. 54-86.
- RAJŠP 1995 – RAJŠP V., *Slovenija na vojaskem zemljevidu 1763-1787 : opisy = Josephinische Landesaufnahme 1763-1787 fur das Gebiet der Republik Slowenien : Landesbeschreibung*, Ljubljana.
- REMONDINO 2011 – REMONDINO F., *Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning*, “*Remote Sensing*”, 3, n. 6, pp. 1104-1138.
- REMONDINO, EL-HAKIM 2006 - REMONDINO F., EL-HAKIM S., *Image-based 3D modelling: a review*, “*The Photogrammetric Record*”, 21, n.115, pp. 269-291.
- ROBERTSON, SEINBERT, FERNANDEZ, ZENDER 2006 - ROBERTSON E., SEINBERT J.D., FERNANDEZ D.C., ZENDER, M.U., *Space and spatial analysis in archaeology*, Calgary.
- ROSADA 2010 – ROSADA G., *Viam Anniam influentibus palustribus aquis eververatam... : tradizione, mito, storia e catastrofe di una strada romana*, Treviso.
- ROSSETTI 2006 - ROSSETTI A., *Julia Augusta: da Aquileia a Virunum lungo la ritrovata via romana per il Noricum*, Mariano del Friuli (Go).
- ROSSI 2005 – ROSSI, M., *Kriegskarte, 1798-1805. Il Ducato di Venezia nella carta di Anton von Zach/Das Herzogtum Venedig auf der Karte Antons von Zach*, Treviso-Pieve di Soligo.
- ROSSI 2007 – ROSSI M., *L'officina della Kriegskarte. Anton von Zach e le cartografie degli stati veneti, 1796-1805*, Treviso-Pieve di Soligo.
- RUPEL 2004 – RUPEL L., *Contributi alla carta archeologica delle Valli del Natisone*, “*Forum Iulii*”, 28, pp. 55-78.
- RUPEL 2005 - RUPEL L., *Contributi alla carta archeologica delle Valli del Natisone, II*, “*Forum Iulii*”, 29, pp. 37-116.
- SAATY 1980 - SAATY T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, New York.
- SAATY 2008S – SAATY T.L., *Decision making with the analytic hierarchy process*, “*International Journal of Services Sciences*”, 1, n. 1, pp. 83-98.
- SAGGIORO 2005 - SAGGIORO F., *Insediamenti, proprietà ed economie nei territori di pianura tra Adda e Adige (VII-IX secolo)*, “*Documenti di Archeologia*”, 40, pp. 81–104.
- SEVER, IRWIN 2003 - SEVER T.L., IRWIN D.E., *Landscape Archaeology: Remote-sensing investigation of the ancient Maya in the Peten rainforest of northern Guatemala*, “*Ancient Mesoamerica*”, 14, n. 1, pp.113–122.
- SIBSON 1981 - SIBSON R., *A brief description of natural neighbor interpolation*, in AA. Vv., *Interpreting Multivariate Data*, a cura di BARNETT W., Chichester, pp. 21–36.
- SIMMOND 1976 - SIMMOND N.W., *Evolution in crop plants*, London.
- TAGLIAFERRI 1986 - TAGLIAFERRI A., *Coloni e legionari romani nel Friuli celtico*, I e II, Pordenone.
- TAGLIAFERRI 1988a – TAGLIAFERRI A., *Coloni e legionari romani nel Friuli celtico*, III, Pordenone.
- TAGLIAFERRI 1988b, - TAGLIAFERRI A., *La colonizzazione romana*, in AA. Vv. 1988, pp. 27-39.

- TAGLIAFERRI 1990 - TAGLIAFERRI A., *Cinque secoli di colonizzazione romana*, in AA. Vv. 1990, pp. 24-28.
- TALIAFERRO, SCHRIEVER, SHACKLEY, 2010 - TALIAFERRO M.S., SCHRIEVER B.A., SHACKLEY M.S., *Obsidian procurement, least cost path analysis, and social interaction in the Mimbres area of southwestern New Mexico*, "Journal of Archaeological Science", 37, n. 3, pp. 536-548.
- TERRENATO 2006 - TERRENATO N., *Le misure (del campione) contano! Il paradosso dei fenomeni globali e delle cognizioni locali*, "Documenti di Archeologia", 42, pp. 9-24.
- TOBLER 1993 - TOBLER W., *Three presentations on geographical analysis and modeling speculations on the geometry of geography, global spatial analysis*, "National Center for Geographic Information and Analysis Technical Report", 93, n.1, pp. 1-25 (estr).
- TOMLIN 1990 - TOMLIN, C.D., *Geographic information systems and cartographic modeling*, Englewood Cliff, New Jersey.
- TONDI 2007 - TONDI E., *Archeologia predittiva e geographic information systems*, Roma.
- TRAVIGLIA 2006 - TRAVIGLIA A., *Archaeological usability of Hyperspectral images: successes and failures of image processing techniques*, in *From Space to Place. 2nd International conference on Remote Sensing in Archaeology*, Roma, 4-7 Dicembre 2006, a cura di CAMPANA S., FORTE M., Oxford, pp. 123-130.
- TRAVIGLIA, A., 2011, *Integrated Archaeological Investigations for the Study of the Greater Aquileia Area*, in *The New Technologies for Aquileia*, Workshop, Museo di Aquileia, Italia -2 maggio 2011, a cura di Vito R., pp. C1-C14.
- TWEDDLE, EDWARDS, FIELLER, 2005 - TWEDDLE J.C., EDWARDS K.J., FIELLER N.R.J., *Multivariate statistical and other approaches for the separation of cereal from wild Poaceae pollen using a large Holocene dataset*, "Vegetation History and Archaeobotany", 14, pp. 15-30.
- VALDES, DIEZ, FERNANDEZ 1987 - VALDES B., DIEZ J., FERNANDEZ I., *Atlas polinico de Andalucía Occidental*, Utrera (Sevilla).
- VERHAGEN 2008 - VERHAGEN P., *Testing archaeological predictive models: a rough guide*, in *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, Berlin, Germany, April 2-6, 2007, vol. 10, a cura di POSLUSCHNY A., LAMBERS K., AND HERZOG I., pp. 285-291.
- VILLA 2001 - VILLA L., *Nuovi dati archeologici sui centri fortificati tardoantichi-altomedievali del Friuli*, in AA. Vv., *Paolo Diacono e il Friuli altomedievale (secc. VI - X)*, Atti del XIV Congresso Internazionale di Studi sull'Alto Medioevo, Cividale del Friuli - Bottenicco di Moimacco, 24 - 29 settembre 1999, Spoleto, pp. 825-861.
- VERHAGEN 2007 - VERHAGEN P., *Case Studies in Archaeological Predictive Modelling*, tesi di dottorato, Leiden University, a.a. 2007.
- VISENTINI, VISINTINI 2007 - VISENTINI P., VISINTINI M., *Il materiale archeologico*, in AA. Vv. 2007c, pp. 81-95.
- VISINTINI 1980 - VISINTINI M., *L'agro di Forum Iulii*, in AA. Vv., *Contributo per la storia del paesaggio rurale del Friuli-Venezia Giulia*, Pordenone, pp. 74-89.
- VITO, BUORA 2010 - VITO R., BUORA M., 2010, *New work on the plan of Aquileia based on aerial photographs and a GIS platform*, "Journal of Roman Archaeology", 23, pp. 320-334.
- VITRI 1983 - VITRI S., *Il tumulo di Selvis*, in AA. Vv., *Preistoria del Caput Adriae*, Udine, pp. 84-85.
- VITRI 2010 - VITRI S., *Scavi diretti dalla Soprintendenza per i Beni Archeologici del Friuli Venezia Giulia in contesti altomedievali di Cividale*, "Forum Iulii", 34, pp. 231-235.
- WILSON 2000 - WILSON D.R., *Air Photo Interpretation for Archaeologists*, London.
- ZANFERRARI et alii 2008 - AA. Vv., *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 066 "Udine"*, a cura di ZANFERRARI A., AVIGLIANO R., MONEGATO G., PAIERO G., POLI M.E., Udine.
- ZANGHERI 1976 - ZANGHERI P., *Flora italica*, Padova.
- ZENAROLA PASTORE 1990 - ZENAROLA PASTORE I., *Gli archivi delle confraternite udinesi*, "Atti dell'Accademia di Scienze, Lettere e Arti di Udine", 83, pp. 175-189.

Journal of Ancient Topography
RIVISTA di TOPOGRAFIA ANTICA
Direttore Giovanni Uggeri

SUPPLEMENTI

Supplemento I

GIOVANNI UGGERI, *Carta Archeologica del Territorio Ferrarese (F.º 76)*
Mario Congedo Editore, Galatina 2002, pp. 400, ill., euro 80,00

Supplemento II

GIOVANNI UGGERI, *La viabilità della Sicilia in età romana*
Mario Congedo Editore, Galatina 2004, pp. 414, ill., euro 85,00

Supplemento III

GIOVANNI UGGERI, *Carta Archeologica del Territorio Ferrarese.
(F.º 77 III S.E.) Comacchio*
Mario Congedo Editore, Galatina 2006, pp. 192, ill., euro 70,00

Supplemento IV

Palaià Philía. *Studi di Topografia Antica in onore di Giovanni Uggeri*
a cura di Cesare Marangio e Giovanni Laudizi
Mario Congedo Editore, Galatina 2009, pp. 654, ill., euro 120,00

Supplemento V

SANDRO COLUSSA, *Cividale del Friuli.*
L'impianto urbano di Forum Iulii in epoca romana. Carta Archeologica
Mario Congedo Editore, Galatina 2010, pp. 216, ill., euro 75,00

Supplemento VI

GERARDO FRATIANNI, *Terventum.*
Carta Archeologica della media valle del Trigno
Mario Congedo Editore, Galatina 2010, pp. 288, ill., euro 80,00

Supplemento VII

RICCARDO CHELLINI, *Firenze. Carta archeologica della provincia.*
Valdarno superiore - Val di Sieve - Mugello - Romagna toscana
Mario Congedo Editore, Galatina 2012, pp. 344, ill., euro 75,00

Supplemento VIII

GIOVANNI UGGERI, *Camarina. Storia e topografia*
di una colonia greca di Sicilia e del suo territorio
Mario Congedo Editore, Galatina 2015, pp. 312, ill., euro 75,00

Supplemento IX

Itinerari storico archeologici per la conoscenza del Friuli Longobardo
a cura di Sandro Colussa, Davide Gherdevich, Sara Gonizzi Barsanti
Mario Congedo Editore, Galatina 2015, pp. 184, ill., euro 75,00

Per l'acquisto diretto presso la Casa Editrice Congedo:

per 1 volume sconto 15% sul prezzo di copertina; per 2 volumi sconto 20%; per 3 volumi sconto 25%; per 4 volumi sconto 30%; per 5 volumi sconto 35%; per 6 volumi sconto 40%; da 7 volumi in poi sconto 50% (spese di spedizione incluse; pagamento anticipato o su autorizzazione in contrassegno; fornire i dati per la fatturazione e l'invio compreso Codice Fiscale).

CONGEDO EDITORE, Piazza Stazione, 6-16 - 73013 GALATINA (Lecce) - Italy
Tel. 0836 568809 - 0836 563543 Fax 0836 563543
e-mail: info@congedoeditore.it, editorecongedo@iol.it
www.congedoeditore.it



Finito di stampare per conto di CONGEDO EDITORE – GALATINA (Le)
nel 2015 da ARTEBARIA – MARTINA FRANCA (Ta)