



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE UMANISTICHE

**DOTTORATO DI RICERCA IN STUDI SUL PATRIMONIO CULTURALE
XXX CICLO**

ANDREA MARIA GENNARO

**PROCEDURE PREDITTIVE E POSTDITTIVE A SUPPORTO DEL REMOTE
SENSING IN ARCHEOLOGIA.
CASI STUDIO DAI COMUNI DI BRONTE E MALETTO (CT)**

TESI DI DOTTORATO

Relatore: Chiar.ma Prof.ssa M. Sgarlata

Correlatore: Chiar.mo Prof. G. Mussumeci

ANNO ACCADEMICO 2016- 2017

INTRODUZIONE	p. 8
---------------------------	------

CAPITOLO 1

1.1 Archeologia e informatica: questo matrimonio s’ha da fare.....	p. 12
1.1.1 La nascita dell’archeologia computazionale: i primi passi.....	p. 12
1.1.2 L’archeologia informatica a cavallo tra anni ’80 e ’90: una nuova rivoluzione.....	p. 16
1.2 L’archeologia informatica e le <i>digital humanities</i> nel nuovo millennio: centro o periferia?.....	p. 19

CAPITOLO 2

2.1 IL <i>REMOTE SENSING</i> E L’ARCHEOLOGIA.....	p. 24
2.1.1 Introduzione al <i>Remote Sensing</i>	p. 24
2.1.2 Breve storia dell’applicazione <i>del Remote Sensing</i> e della sua applicazione in ambito archeologico.....	p. 28
2.1.2.1 La fotografia aerea.....	p. 28
2.1.2.2 Immagini satellitari.....	p. 32
2.1.2.3 RADAR.....	p. 44
2.1.2.4 LIDAR.....	p. 46
2.1.2.5 Applicazioni archeologiche di sensori termici.....	p. 49
2.1.2.6 Tecniche per l’acquisizione di dati multispettrali e iperspettrali.....	p. 51
2.1.2.7 La <i>Geographic Wave</i> nelle <i>Digital Humanities</i>	p. 55

CAPITOLO 3

3.1 I MODELLI PREDITTIVI E LA NASCITA DI UN APPROCCIO

POSTDITTIVO IN ARCHEOLOGIA.....	p. 58
3.1.1 Introduzione.....	p. 58
3.1.2 I modelli predittivi in archeologia.....	p. 59
3.1.2.1 Modelli predittivi in archeologia: il caso dei Paesi Bassi.....	p. 65
3.1.2.2 Analisi dell'effetto economico dei modelli predittivi olandesi.....	p. 69
3.1.3 Essere certi dell'incertezza.....	p. 72
3.1.4 La lunga strada della predittività in Italia.....	p. 76
3.1.4.1 Da MAPPA agli <i>ACTION-based</i> GIS: alcuni esempi di modelli predittivi italiani.....	p. 79
3.1.5 Genesi e sviluppo dell'archeologia post-dittiva.....	p. 83
3.1.5.1 Approccio postdittivo al <i>remote sensing</i> : applicazioni (GE)OBIA.....	p. 85

CAPITOLO 4

4.1 IL CONTESTO TERRITORIALE.....	p. 90
4.1.1 La scelta dei luoghi.....	p. 90
4.1.2 Macroarea 1: Maniace, contrade Galatese, Cavallaro, Vaccheria Boschetto.....	p. 92
4.1.2.1 Caratteri geo-morfologici e idrografia.....	p. 100
4.1.3 Macroarea 2: Bronte, contrade Sciare di Santa Venera, Balze Soprane, Edera.....	p. 103
4.1.3.1 Caratteri geo-morfologici e idrografia della macroarea 2.....	p. 109
4.1.4 Storia della ricerca archeologica nei contesti territoriali affrontati.....	p. 111

CAPITOLO 5

5.1 LA STRATEGIA DELLA RICERCA.....	p. 122
5.1.1 Le scelte e la tempistica della ricerca.....	p. 122

CAPITOLO 6

6.1 LE TECNICHE E GLI STRUMENTI DELL'INDAGINE: CARATTERISTICHE, VANTAGGI E LIMITI.....

6.1.1 Letteratura archeologica.....	p. 125
6.1.2 Ricognizioni di superficie.....	p. 127
6.1.3 SISTEMI AEREI O SPAZIALI.....	p. 133
6.1.3.1 Aereofotointerpretazione.....	p. 133
6.1.3.2 <i>Remote Sensing</i>	p. 134
6.1.4 Satelliti ad altissima risoluzione	p. 137
6.1.4.1 <i>Worldview-2</i>	p. 137
6.1.5 Satelliti a media risoluzione	p. 140
6.1.5.1 <i>Landsat 7</i>	p. 140
6.1.5.2 <i>Unmanned Aerial System</i>	p. 142
6.1.5.3 <i>Phantom 4</i>	p. 143

CAPITOLO 7

7.1 IL LAVORO SUL CAMPO: I RISULTATI	p. 148
7.1.1 Le ricognizioni di superficie	p. 148
7.1.1.1 Le ricognizioni di superficie: Galatese	p. 156
7.1.1.2 Alcune breve considerazioni storiche sui dati del <i>survey</i>	p. 162
7.1.1.3 Verifica delle anomalie	p. 165

CAPITOLO 8

8.1 TRATTAMENTO DIGITALE DELLE IMMAGINI: METODOLOGIA APPLICATA E SOFTWARE IMPIEGATI	p. 168
8.1.1 Caratteri dell'immagine telerilevata	p. 168
8.1.2 <i>Input image</i>	p. 171
8.1.3 Tecniche di miglioramento dell'immagine	p. 172
8.1.4 <i>Data fusion</i> (o <i>Pan Sharpening</i>)	p. 172
8.1.5 Tecniche di <i>enhancement</i>	p. 173
8.1.6 Indici di vegetazione	p. 174
8.1.7 Tecniche di classificazione dell'immagine	p. 179
8.1.8 Le classificazioni semi-automatiche	p. 179
8.1.9 La classificazione supervisionata <i>pixel-based</i>	p. 182
8.1.10 I software utilizzati	p. 185

CAPITOLO 9

9.1 CONTENUTO SEMANTICO DELLE IMMAGINI	p. 192
9.1.1 Parametri di identificazione delle anomalie	p. 192
9.1.2 Identificazione delle anomalie: tipologie e origine	p. 195
9.1.3 Identificazione delle anomalie: casi studio	p. 197
9.1.4 Tentativi di classificazione	p. 203

CONCLUSIONI	p. 206
--------------------------	--------

BIBLIOGRAFIA	p. 209
---------------------------	--------

APPENDICE

TAVOLE

“If you don't know where you are going any road can take you there”
Lewis Carroll

INTRODUZIONE

Nel corso degli ultimi decenni la scienza archeologica è stata investita e costantemente stimolata da una serie di innovazioni tecnologiche che hanno interessato sia i diversi ambiti applicativi che i singoli momenti della ricerca, dalla raccolta del dato alla sua analisi finale. Non esiste settore in cui non sia nato un dibattito e, di conseguenza, uno schieramento sull'impiego o meno di uno strumento di recentissima creazione. D'altronde, la nostra disciplina è senza dubbio quella che, all'interno delle c.d. *Digital Humanities*, più si presta a fertili contaminazioni multidisciplinari. Non sorprende notare come il legame tra archeologia e *Remote Sensing*, o Tele-rilevamento nell'equivalente formula italiana, sia diventato sempre più stretto con lo scorrere del tempo, per cause endogene ed esogene. Da un lato, infatti, l'incredibile miglioramento della risoluzione geometrica, ormai ampiamente sub-metrica, delle immagini satellitari multispettrali e il loro costo ormai ridotto hanno spinto gli archeologi a utilizzare con frequenza sempre maggiore gli strumenti offerti dalla geomatica. Dall'altro lato, le terribili distruzioni del patrimonio culturale cui l'Occidente ha assistito negli ultimi anni hanno tristemente ricordato come il progresso della conoscenza archeologica debba coniugarsi necessariamente con l'esercizio della tutela sia dei siti già noti sia di quelli oggetto di più recenti indagini. Il telerilevamento ha rappresentato l'unica arma per garantire un costante monitoraggio delle aree archeologiche e degli edifici monumentali soprattutto durante le fasi più acute di scontro bellico, evidenziandone in molti casi la distruzione. Seguendo quest'ottica, sono nati e sono stati sviluppati molti progetti, soprattutto all'esterno, che hanno garantito, tra le altre cose, un livello di *engagement* della popolazione, locale e non, molto alto, applicando nel concreto quanto dichiarato nella Convenzione di Faro a proposito della visione del patrimonio culturale come bene comune e collettivo¹. Al di là degli aspetti più specifici legati all'attività dei gruppi terroristici, la minaccia è ben più vasta di quanto appare.

La questione generale è strettamente connessa con il tema della gestione della risorsa archeologica e del suo rapporto con le politiche di pianificazione territoriale e ambientale. Anche in questo settore, negli ultimi anni, si è assistito ad un netto miglioramento degli strumenti tecnici e normativi a disposizione, con l'inserimento definitivo dell'archeologia preventiva all'interno del Codice dei Contratti Pubblici. Rimanendo in ambito italiano, è evidente come si stiano moltiplicando, dal Progetto MAPPA² in poi, le esperienze incentrate sulla creazione di modelli predittivi testati soprattutto sui contesti urbani pluristratificati. Si tratta di un filone di ricerca tardivamente arrivato in Italia e che vede i ricercatori olandesi come i massimi esperti del settore. Ai modelli predittivi, in

¹ MONTELLA *et al.* 2016.

² GUALANDI 2013.

grado cioè di inferire l'esistenza di una stratificazione archeologica dall'analisi di una serie di parametri, si sta affiancando un approccio definito post-dittivo, in grande crescita soprattutto nel corso degli ultimissimi anni. Da un punto di vista metodologico, esso prevede l'inversione della logica corrente. Il punto di partenza è fissato non nell'incognita ma nel dato noto, utilizzato per verificare la possibile esistenza di specifiche connessioni tra l'anomalia tele-osservata e la medesima struttura archeologica nota³. Il tutto è reso possibile grazie ai miglioramenti non soltanto delle tecniche del telerilevamento ma soprattutto delle procedure di classificazione automatica, sviluppate attraverso l'applicazione di specifici *plugin* e algoritmi. Nel nostro campo tali procedure, così innovative, vanno ancora testate per provarne il grado di funzionalità e utilità.

Il lavoro che presentiamo in questa sede è un tentativo di chiudere il cerchio sopra descritto. Esso affonda le sue radici in approcci e ambiti disciplinari diversi: dall'archeologia tradizionale al telerilevamento, passando per le procedure per la definizione e stima del rischio (o del potenziale) archeologico alla produzione di cartografia di predittività archeologica. Come sempre accade, sono le domande ad avviare le ricerche. Prima di avviare l'indagine, ci siamo posti alcuni interrogativi:

- Quanto è adatto il contesto ambientale etneo alle procedure di fotointerpretazione archeologica?
- Quali tipologie di tracce e siti saranno individuabili?
- Quali sono i canali multispettrali più adatti per la ricerca di anomalie archeologiche?
- Qual è il rapporto fra traccia aerea e ricognizione archeologica?
- Con un approccio post-dittivo, è possibile studiare il legame che esiste tra l'anomalia osservata e la struttura archeologica già nota? Esistono dei parametri fissi?
- Con un approccio post-dittivo, è possibile caratterizzare tramite firma spettrale un manufatto già noto?
- In caso positivo, è possibile ottenere una classificazione automatica (*pixel-based* od *object-oriented*) in grado di inferire, in maniera predittiva, l'esistenza di una stratificazione archeologica?
- Perché l'archeologia etnea si è concentrata quasi esclusivamente sulle grotte di scorrimento lavico abbandonando tutte gli altri contesti?
- Quanto sono ricostruibili le dinamiche insediative nel territorio di Bronte e Maletto tra l'età romana e l'alto Medioevo ?

³ Per l'Italia DE GUIO 2015.

Gli obiettivi che c'eravamo posti all'inizio del progetto erano tanti; in linea generale, crediamo di aver rispettato le premesse, sebbene una ricerca comporti sempre il sorgere di nuovi interrogativi. Sin dall'inizio, comunque, abbiamo fissato alcuni punti fermi dai quali non ci siamo mossi: la necessità di pensare e costruire la nostra indagine in ambiente GIS, la voglia di poter disporre di dati provenienti da tecniche e strumenti diversificati, il desiderio di poter lavorare con informazioni archeologiche dimenticate negli scaffali e per questo non ancora edite. Il dato *spaceborne* ha costituito la base della ricerca ma senza esserne il limite invalicabile; abbiamo provato, infatti, a inglobarlo all'interno di procedure sperimentali, ponendo l'accento in molti casi più sulla metodologia in sé che sul risultato archeologico finale.

Per quanto concerne il territorio da sottoporre a indagine, la scelta è ricaduta sul versante Nord-Ovest dell'Etna e, in particolare, su alcune contrade appartenenti ai comuni di Bronte e Maletto. L'area, posta tra i 650 e gli 800m s.l.m., è stata suddivisa in due campioni, uno costituito dalla terrazza fluviale di Galatese, l'altro dalle sciere vulcaniche di Santa Venera ed Edera. Le ricerche storiche e archeologiche in ambito mediterraneo hanno, da lungo tempo, trascurato le zone montuose e interne, concentrandosi molto di più sulle *lowlands* come osservava già Braudel nel 1972⁴. Il tema, in effetti, ha conquistato negli ultimi anni sempre più spazio, divenendo uno dei filoni di ricerca principali soprattutto nei progetti di archeologia medievale⁵. I contesti territoriali scelti presentano caratteristiche geografiche e geologiche completamente differenti che permettono, proprio in virtù di tale ricchezza tipologica, di testare al meglio procedure diverse. Da un punto di vista archeologico, inoltre, i siti oggetto di indagine costituiscono un vero e proprio *unicum* nella storia della ricerca dell'isola; il padre dell'archeologia siciliana, il trentino Paolo Orsi, pur avendo segnalato l'esistenza di una villa tardo-antica con mosaici, non effettuò mai neanche uno scavo tra queste valli. Così scriveva, infatti, non senza una vena di rammarico:

«se la regione etnea dal punto di vista archeologico è quasi un'incognita..., il versante occidentale poi mai è stato per quanto io sappia argomento di studi e di pubblicazioni. Eppure non vi difettano nel raggio di Bronte e Maniace reliquie dei bassi tempi romani, e bizantini, ma più dei normanni, che vorrebbero essere meglio conosciute di quanto non siano sin qui⁶»

Il quadro descritto da Orsi si è modificato soltanto nell'ultimo decennio, grazie ad una serie di interventi di archeologia d'emergenza, condotti dalla Soprintendenza, e dai recentissimi scavi svolti,

⁴ BRAUDEL 1972, p. 29: «...the historian is not unlike the traveller. He tends to linger over the plain, which is the setting for the leading actors of the day, and does not seem eager to approach the high mountains nearby. More than one historian who has never left the towns and their archives would be surprised to discover their existence».

⁵ Un esempio di analisi di paesaggio marginale in DE GUIO *et al.* 2015a.

⁶ ORSI 1905, p. 445.

grazie a un finanziamento del Parco dell'Etna, in contrada Santa Venera. I più recenti lavori hanno permesso l'individuazione di edifici e fortificazioni databili, per lo più, ad epoca greca (VI-IV secolo a.C.) e bizantina (VII-IX secolo d.C.), e la creazione di un piccolo museo comunale a Maletto, dove sono esposti i reperti più interessanti. Grazie alla disponibilità dei promotori del progetto, abbiamo potuto lavorare sui dati ancora inediti e risalenti alle campagne del 2006 e del 2007 dell'*Upper Simeto Valley Project*; il progetto di *survey* fu condotto dall'Università di Durham in collaborazione con la Sovrintendenza di Catania, ma dell'intera attività è rimasto edito soltanto un *preliminary report*⁷.

Speriamo, infine, che il nostro lavoro, oltre a contribuire al miglioramento della conoscenza archeologica dei luoghi prescelti, possa servire soprattutto come strumento in grado di risvegliare l'attenzione verso un contesto ambientale dove la bellezza naturalistica si intreccia con l'archeologia. Sarebbe un vero delitto non valorizzare questo incantevole frammento del Parco dell'Etna⁸.

⁷ LEONE *et al.* 2007.

⁸ Il Parco dell'Etna è stato dichiarato Patrimonio dell'UNESCO e inserito nella World Heritage List nel mese di giugno del 2013.

CAPITOLO 1

1.1 Archeologia e informatica: questo matrimonio s'ha da fare

Il progresso scientifico che ha caratterizzato la seconda metà del Novecento ha lasciato un segno profondo anche nel campo della scienza archeologica. Uno degli aspetti più interessanti da considerare è il peso sempre crescente che ha avuto l'informatica nel settore umanistico; la disciplina, infatti, non solo ha rivoluzionato il modo in cui gli archeologi lavoravano e lavorano sul campo ma, aspetto forse ancora più importante, ha permesso un radicale ripensamento da un punto di vista teorico. Il paradigma teorico dell'archeologia è stato continuamente sottoposto a critiche e nuovi stimoli, riesaminato e rielaborato nel corso di alcuni decenni, inizialmente con la sfida al tradizionale approccio di matrice storico-culturale proprio dell'archeologia processuale⁹ e, successivamente, con l'avvento del post-processualismo. Nonostante la varietà e la diversità delle sperimentazioni in corso, i computer non costituiscono un mero strumento ma sono una parte attiva del dibattito, in particolare in relazione allo sviluppo di alcuni concetti chiave quali quelli del contestualismo, della complessità e della riflessività¹⁰.

Come magistralmente annotato da D'Andrea¹¹, il rapporto tra informatica e archeologia è sempre stato contraddistinto dalla volontà di percorrere due binari solo apparentemente distinti: da un lato l'aspetto tecnico, ovvero la gestione del versante tecnico delle applicazioni, migliorandone sempre la qualità; dall'altro, quello funzionale-teleologico, ovvero l'obiettivo di contribuire al progresso della disciplina relativamente ai metodi e alle tecniche di scavo, rilievo, alle procedure di archiviazione dei dati, alla pubblicazione dei risultati e alla divulgazione.

1.1.1 La nascita dell'archeologia computazionale: i primi passi

La nascita e lo sviluppo delle prime applicazioni informatiche in campo archeologico si colloca tra la fine degli anni '50 e gli inizi degli anni '60 quando, in alcuni centri di ricerca anglosassoni e

⁹ La nascita della *New Archaeology* è fissata, generalmente, nel 1958, anno in cui fu pubblicato il lavoro di Gordon Willey e Philip Phillips (WILLEY-PHILIPS 1958) in cui i due noti studiosi affermarono la necessaria corrispondenza tra l'archeologia americana e l'antropologia.

¹⁰ Su questi temi vedi D'ANDREA 2006; FORTE 2002.

¹¹ D'ANDREA, 2006.

statunitensi, la disponibilità dei primi *computer* permise la sperimentazione di procedure prettamente statistiche finalizzate all'inferenza di particolari complessi archeologici¹². È, ovviamente, all'interno delle riflessioni teoriche della *New Archaeology* che avvenne il primo cambio di paradigma. In un ambiente in cui l'attenzione era rivolta principalmente alla riflessione teorica, fu così abbandonata, per la prima volta, la visione empirica dominata dalla soggettività della realtà materiale, criticando così apertamente il modello allora dominante. Da un punto di vista epistemologico, infatti, nella logica processualista l'impiego dell'informatica costituiva la chiave di volta proprio per espungere l'elemento soggettivo. L'obiettivo, infatti, era la costruzione di un'archeologia di chiara matrice neo-positivista, contraddistinta da un rigoroso approccio formale e basata su uno schema, desunto dalle scienze esatte¹³, di tipo logico-deduttivo.

Le prime ricerche furono concentrate in campi quali la statistica, l'analisi dei dati raccolti (*data processing*) e il c.d. *information retrieval*¹⁴. Non a caso, la rivoluzione fu resa possibile grazie alla comprensione del potenziale euristico che derivava dall'applicazione di un nuovissimo strumento, il *database*. Grazie alla capacità, evidente già nei *software* di prima generazione, di registrare e gestire un numero di dati fino ad allora impensabile, i *database* ebbero un impatto straordinario in campo archeologico, soprattutto a partire dai primi anni '70¹⁵. Naturalmente, tale tecnologia era stata progettata originariamente per svolgere un altro compito, cioè gestire la contabilità finanziaria e le operazioni di banca. Il presupposto teorico di tale avanzamento tecnologico era lo sviluppo dell'algebra funzionale, branca specifica dell'algebra che fornì i necessari postulati per quel settore

¹²All'interno di una bibliografia sterminata citiamo soltanto le opere di carattere generale. In lingua inglese: LOCK 2003 per un'ampia panoramica; BARCELÒ 2002; DJINDJIAN 1996; RENFREW-BAHN 1995; COPPOCK-RHIND 1991; KVAMME 1983a; BINFORD 1983. In lingua italiana: BALDI 2010; D'ANDREA 2006.

¹³'*Fisici, chimici, biologi e altri non immaginano certo che le relazioni osservate tra oggetti abbiano significati che automaticamente si evidenzino. Tentano continuamente in primo luogo di dare significato a tali osservazioni e poi di verificare quanto tale significato si accosti alla realtà. Questa, senza dubbio, è la posizione dell'archeologo: il dare senso ai fatti archeologici da lui osservati nel suo tempo, cercando poi di capire quanto questa ricostruzione del passato possa essere veritiera*'. BINFORD 1983, trad. it. 1990, p. 27.

¹⁴GAMBLE 2008; TRIGGER 1989; CLARKE 1968; BINFORD 1962.

¹⁵Bastino come esempio la fortuna riscontrata da *corpora* epigrafici, tra cui segnaliamo, tra i tanti, l'EDR, voluto da Silvio Pancera e consultabile all'indirizzo <http://www.edr-edr.it/default/index.php>. Restando in campo epigrafico, citiamo anche il progetto EAGLE (*Europeana network of Ancient Greek and Latin Epigraphy*), co-fondato dalla Comunità Europea e che permette anche la visualizzazione dell'epigrafe ricercata <http://www.eagle-network.eu/resources/search-inscriptions/>. Per una carrellata sui partner e le attività specifiche di questo *network* vedi il recente volume con gli atti della conferenza tenutasi a Roma, ORLANDI *et al.* 2014. Da segnalare come il progetto sia giunto alla conclusione il 31 Marzo del 2016. Per i prossimi sviluppi dopo EAGLE vedi FELLE 2016.

specifico dell'informatica definito come *'accountant's computing'*¹⁶. Come si può facilmente notare, si tratta di riflessioni teoriche e applicazioni che ben poco avevano a che fare con la scienza archeologica, almeno inizialmente.

L'impiego del formalismo statistico rappresentava il passo successivo, lo strumento perfetto per chiudere il cerchio. È proprio a questo punto che il mondo informatico e quello archeologico entrano in contatto. Infatti, rendendo possibile analizzare e ottenere quadri di sintesi da un'enorme mole d'informazioni, le prime applicazioni statistiche incarnavano perfettamente il paradigma riduzionista, c.d. *data minimal*, della *New Archaeology*. La fiducia neo-positivista caratterizzava tale visione, fondata sull'oggettività insita nella misurazione della cultura materiale e nello studio dei grandi e piccoli processi archeologici. Il dato¹⁷, pertanto, ridotto a unità minime di conoscenza. Sulle problematiche esistenti, ancora oggi, sull'inadeguatezza del formalismo su cui si basa il rapporto tra la ricerca archeologica e la classificazione tipologica (spesso effettuata attraverso l'impiego di *database* relazionali) si è sviluppata, in tempi recenti, una corposa bibliografia. Il tema, sollevato inizialmente in campo storico¹⁸, ha acquisito una notevole importanza anche in campo prettamente archeologico, dove si è sviluppato un filone di ricerca, abbastanza fecondo, relativo al superamento della logica booleana e ai vantaggi che scaturiscono dall'applicazione della logica *'fuzzy'*¹⁹ anche ad ambito archeologico²⁰. Ritourneremo su questo argomento nei capitoli seguenti ,

¹⁶CANTONE-NICOLUCCI 2001. A. D'Andrea riprende l'espressione e dedica particolare attenzione alla c.d. *'informatica del ragioniere'* (D'ANDREA 2001, p. 199-220).

¹⁷Sul dato nella ricerca archeologica vedi le considerazioni di HODDER 1999, p. 36; per il rapporto tra i dati archeologici e il loro inserimento in analisi informatiche vedi LOCK 2003; per un inquadramento più generale sul dibattito teorico e metodologico vedi D'ANDREA 2004.

¹⁸THALLER 1993. Il ragionamento, introdotto per la ricerca storica, risulta valido anche per quella archeologica. L'archeologo, nel momento iniziale nel quale definisce i criteri e le voci del suo *database*, non conosce, in realtà, il valore dei dati con cui dovrà interagire, al contrario del ragioniere per il quale i dati contabili sono quelli sia all'inizio che alla fine.

¹⁹La logica fuzzy, letteralmente "confuso, sfocato", introdotta dal professore Zadeh nel 1964 (il primo lavoro è dell'anno seguente), definisce insieme 'i cui contorni sono sfumati e non ben definiti' (NICCOLUCCI-HERMON 2003, p. 100). Si tratta di un sistema che supera la logica binaria, dove i valori sono esclusivamente 0 o 1, conferendo, invece, valori compresi nell'intervallo da 0 a 1 e definendo, all'interno di tale scala, il livello di appartenenza di ogni preposizione (operazione svolta tramite un'apposita funzione matematica $\mu_A : X \rightarrow [0,1]$). Il sistema così costruito, pertanto, non si fonda sulla logica aristotelica, in cui valgono i principi di non-contraddizione e del terzo escluso, né sulla dualità dei binomi vero-falso / appartenenza-non appartenenza, ma si configura come un sistema polivalente e sfumato. L'appartenenza a un dato insieme è data da una gradazione del livello di certezza (sempre compreso tra 0 e 1) e indicato attraverso acronimo DOF, cioè *degree of fulfillment*. La logica fuzzy, che, in virtù del metodo appena delineato, supera in maniera brillante le difficoltà poste dal celebre paradosso del cretese Epimenide, ha trovato applicazioni pratiche in diversi campi, soprattutto nei sistemi di controllo e di supporto decisionale. Inoltre, la maggior parte dei dispositivi "intelligenti", dalla lavatrice, al televisore passando per il condizionatore o per il sistema di frenata controllata montato sulle autovetture più recenti, funzionano grazie ad un *microchip* con sistema fuzzy. Sulla logica fuzzy vedi ZADEH 1964; 1996; ZIMMERMANN 1985. In lingua italiana, per un'introduzione alle problematiche vedi VERONESI - VISIOLI 2003. Per le prime applicazioni nel campo delle scienze sociali RAGIN 2000. Per il funzionamento dei motori di ricerca sul web con logica fuzzy CHOI 2003.

quando affronteremo il tema della nascita e dello sviluppo dei modelli archeologici predittivi.

Il primo archeologo ad avere tale impostazione nel proprio lavoro fu D. Clarke²¹, autore di numerosi studi sulla preistoria britannica. Egli è ritenuto uno dei pionieri dell'approccio quantitativo, nato grazie all'applicazione su larga scala di modelli matematici, e largamente diffusosi, in seguito, non soltanto nel mondo anglosassone ma anche in Paesi e culture fino ad allora poco inclini a tali aperture. L'esempio più rappresentativo a tal proposito è sicuramente quello offerto dalla Francia e dalla scuola dell' *Analyses des données*, dove si sviluppò un originale metodo di classificazione statistica di tipo multidimensionale e descrittivo. In generale, possiamo affermare, senza timore d'essere smentiti, che gli archeologi, soprattutto nel corso degli anni '70, approfittarono della diffusione dei primi *software* per portare avanti analisi quantitative dove i dati archeologici²² erano svestiti della loro peculiarità e trattati come un qualsiasi altro campione statistico. Scarsa o quasi nulla era, infatti, l'attenzione rivolta verso l'aspetto qualitativo dell'elemento archeologico e del tutto assente era la riflessione sulle relative implicazioni sociali e culturali.

A domande diametralmente opposte tentò di rispondere, come è noto, la *Post-Processual Archaeology*, corrente sviluppatasi nel mondo anglosassone soprattutto a partire dagli inizi degli anni '80. Intorno a figure come quelle di Ian Hodder, Michael Shanks, Christopher Tilley e Peter Ucko si accese una riflessione teorica che ribalta²³, anche in maniera abbastanza dichiarata, i presupposti teorici dell'approccio processualista.

²⁰Per un inquadramento generale abbastanza recente in lingua italiana vedi NICCOLUCCI-HERMON 2003. Per una breve storia in lingua italiana delle applicazioni archeologiche vedi CRESCIOLI *et al.* 2000. In breve, da una primitiva applicazione all'interno di analisi quantitative (analisi della strutturazione dei *database*) la logica *fuzzy* è ormai costantemente applicata anche all'interno di studi di archeologia del paesaggio o di ceramologia. L'approccio *fuzzy* possiede l'indubbio vantaggio di poter inserire 'l'esperienza' del ricercatore nel campo e di esplicitare la soggettività insita in ogni raccolta dei dati.

²¹CLARK 1968.

²²All'interno dei molteplici ambiti disciplinari, il settore più fertile per l'applicazione di tale tipologia d'indagine fu, senza ombra di dubbio, la ceramografia. La possibilità di creare corposi *database* sembrava essere lo strumento attraverso il quale gli studi sulla distribuzione della specifica forma o della specifica bottega avrebbero compiuto un passo in avanti assai significativo. L'impatto dei *database* fu straordinario anche in ambienti fino ad allora legati ad un'impostazione storico-artistica della disciplina e restii ad ogni tipo di contaminazione. Citiamo uno degli esempi più eclatanti, cioè la diffusione dell'approccio quantitativo nello studio sulla distribuzione della ceramica attica figurata dopo il lavoro di Sir J. Beazley. Vedi tra le opere di carattere generale i contributi di WEBSTER 1972; BOARDMAN 1979. In Italia, quasi contemporaneamente con il resto del mondo, i primi progetti che sfruttano le banche dati informatiche per studi di ceramografia si devono a P.E. Arias, il primo, tra l'altro, a promuovere l'informatizzazione dei volumi del *Corpus Vasorum Antiquorum* (CVA).

²³HODDER 1986;

Al materialismo si oppose l'enfasi sulla ideologia²⁴ (e sulla religione), mentre cadeva, influenzata da profonde riflessioni filosofiche e sociali, la presunta oggettività del dato archeologico raccolto²⁵. Non sorprende, pertanto, che il dibattito teorico e metodologico sull'informatica applicata all'archeologia abbia con il tempo perso di importanza e sia stato quindi relegato in secondo piano. L'unica eccezione furono gli Stati Uniti dove, nonostante il trend complessivo di generale sfiducia, persisteva un moderato interesse, in virtù di una visione positivista, nei progressi dell'archeologia computazionale. In realtà, a ben vedere, è proprio a partire già dalla fine degli anni '70 e poi, soprattutto, con l'inizio degli anni '80 che vengono messe a punto quelle nuove tecnologie che avrebbero poi rivoluzionato il quadro appena delineato. Ci stiamo riferendo, nello specifico, allo sviluppo della tecnologia CAD e della cartografia numerica che, nate con un forte debito verso il design d'interni o, più in generale, del comparto della progettazione architettonica, avrebbero poi aperto la strada alla diffusione dei Sistemi Informativi Territoriali.

²⁴Per esempio, vedi la lettura di M. Parker Pearson del corredo funerario come prodotto dell'ideologia in PARKER PEARSON 1984

²⁵Sulla lettura dei dati come 'appropriazione teorica' del record archeologico vedi SHANK-TILLEY 1987a; SHANK-TILLEY 1987b.

1.1.2 L'archeologia informatica a cavallo tra anni '80 e '90: una nuova rivoluzione

Un profondo mutamento e l'inizio di una significativa inversione di tendenza si segnala, come detto in precedenza, con gli anni Ottanta, quando si afferma la c.d. 'informatica senza informatici'²⁶. L'espressione fu utilizzata per identificare il nuovo corso dell'informatica dovuto alla comparsa di applicazioni *user-friendly* (ovvero strumentazione in grado di essere utilizzata anche da un utente non esperto) e della diffusione su larga scala di computer avvenuta grazie ad un notevole riduzione del costo d'acquisto. Tale innovazione provocò un notevole fermento anche in archeologia, dove contribuì alla nascita dei primi grandi progetti multidisciplinari, con un conseguente crollo dei limiti disciplinari di ogni singola disciplina²⁷. Come anticipato, due sono gli emblemi della nuova rivoluzione: i sistemi GIS, di cui la prima implementazione per piccoli hardware è ARC-INFO, creata ad inizio degli anni Ottanta²⁸, e le pionieristiche applicazioni del telerilevamento in archeologia. Torneremo su questi due temi nei prossimi capitoli.

Come sottolineato da Forte²⁹, proprio l'impiego dei GIS ha permesso un riavvicinamento anche degli archeologi di scuola post-processualista ai metodi informatici, in quanto le potenzialità offerte dalla nuova tecnologia erano spendibili anche in campi d'indagine, come le analisi spaziale, tradizionalmente centrali per essi. Le prime esperienze nel mondo dei GIS furono così innovative da provocare una scossa anche nell'ingessato mondo del *cultural management* italiano. Nel corso degli anni '80, a partire dalla Legge Finanziaria del 1986, prese avvio il celebre progetto ministeriale 'Giacimenti Culturali'³⁰, voluto dall'allora Ministro del Lavoro Gianni De Michelis. Si trattò di un grande piano di investimento pubblico nel settore dei beni culturali, proseguito attraverso due successive leggi speciali quali la 160/1988 e la 84/1990, con il quale furono avviati diversi progetti pilota, tra cui, per esempio, la sperimentazione di nuovi modelli per la catalogazione³¹. Ai fini della nostra analisi, è importante sottolineare come fu proprio questo il momento in cui fu avviata la discussione, almeno per l'Italia, sulle metodologie da adottare per un

²⁶Definizione, ripresa anche da D'Andrea, ma coniata da DJINDJIAN 1996.

²⁷Sul tema vedi GAMBLE 2008.

²⁸L'arrivo di Arch-Info in Italia è da collocarsi, in realtà, alla metà degli anni '90.

²⁹FORTE 2002.

³⁰Sull' 'infausta nozione' coniata per designare il progetto vedi GAMBINO 1988; in senso contrario, vedi la posizione espressa da Umberto Eco nello stesso anno in ECO 1988, p. 15.

³¹Sul tema vedi CORTI 2003, p. 49.

approccio unitario al problema della conservazione dei beni culturali. Infatti, con il progetto intitolato 'Per una carta del rischio del patrimonio culturale', sviluppato all'interno dei Giacimenti Culturali, fu finanziato il SIT Carta del rischio³², considerato il primo «*sistema di sperimentazione e ricerca sul territorio per la conoscenza sul rischio di danno dei beni immobili*»³³.

Al successo dei GIS, o SIT nell'accezione italiana, si affiancò l'emergere di un'altra tipologia di applicazioni informatiche, quelle legate alla Realtà Virtuale. Sebbene essa necessiti di una curva di apprendimento molto alta e notevoli siano anche i costi della tecnologia, si è imposta rapidamente come uno dei filoni più importanti dell'intero mondo dell'archeologia³⁴. L'espressione 'archeologia virtuale' fu originariamente coniata nel 1990 da Paul Reilly³⁵ e legata allo sviluppo di modelli tridimensionali relativi ad oggetti e monumenti. Essa si configurava, inizialmente, come un settore dell'informatica in cui a farla da padrone era quasi esclusivamente l'aspetto legato alla visualizzazione (*visual*). Oggigiorno, invece, in maniera abbastanza ampia, rientrano all'interno di questa branca dell'archeologia sia le semplici ricostruzioni in 3D sia percorsi o progetti più complessi in cui confluiscono anche i più innovativi metodi di narrazione (*virtual story-telling*, audio, video...). Emergono all'interno di tale disciplina due componenti principali: una legata alla divulgazione del dato archeologico, l'altra legata alla ricerca scientifica vera e propria³⁶. Rientrano in quest'ultima categoria tutte le applicazioni legate, per esempio, alla modellazione 3D con le *computer graphics*³⁷. Come si sarà capito, il concetto di archeologia virtuale va oltre, ormai, la semplice rappresentazione digitale. L'esperienza 'immersiva' che la tecnologia è in grado di offrire al visitatore presuppone una ricostruzione effettuata a monte dall'archeologo: un'azione «*complessa*

³²L'esperienza della Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, un SIT e una banca dati realizzati dall'Istituto Centrale del Restauro e dall'allora Ministero per i Beni e le Attività Culturali (1992-1996), va distinta dalle serie delle carte del rischio archeologico, come quella promossa dal comune di Cesena e portata avanti dall'equipe del prof. Gelichi nel 1999 (GELICHI 2001). Sul tema vedi il capitolo dedicato alla nascita dell'archeologia predittiva.

³³Così lo definisce la *homepage* del sito ministeriale <http://www.cartadelrischio.it>, ultimo accesso 23/03/2017.

³⁴Rilievo ben esemplificato dal numero di incontri e convegni internazionali in cui si discute di *virtual archaeology*, ricostruzioni in 3D ecc...

³⁵REILLY 1990; in Italia il primo ad affrontare in maniera sistematica la questione è stato Forte (FORTE 1996)

³⁶GILLINGS 1999.

³⁷Con una bibliografia sterminata e un numero davvero considerevole di esempi di progetti virtuosi in Italia, abbiamo scelto di citare, per la sua completezza, solo il caso di *Aquae Patavinae. Per un parco archeologico delle Terme Euganee*. L'intera storia del progetto, è consultabile, sia per il lato prettamente archeologico che per quello più propriamente divulgativo, all'indirizzo <http://www.aquaepatavinae.it>, ultimo accesso 15/3/2017.

e proiettiva dell'interpretazione»³⁸. Una simulazione, insomma, dell'intero ecosistema antico. Alla luce di queste ultime precisazioni, non sorprende come un archeologo come Ian Hodder abbia rivolte le sue attenzioni anche verso questo settore. Le ricostruzioni archeologiche con la realtà virtuale, definita anche 'realtà aumentata', ben si legarono con il metodo di *interpretive archaeology* applicato dall'insigne studioso nello scavo del sito preistorico di *Çatal Hüyük*³⁹. Il progetto aveva come obiettivo primario la sperimentazione di un nuovo modo di fare archeologia, mettendo in dubbio tutti i dogmi precedenti. Inoltre, oltre al coinvolgimento diretto di etnografi ed etno-archeologi, al fine di documentare al meglio il processo di documentazione, si fece ampio ricorso a *database*, riprese video e audio. Tali fermenti furono forieri di molteplici cambiamenti; da un lato, è garantito un livello di *engagement* delle comunità locali molto alto in quanto il *team* di ricerca continua, ancora adesso, a invogliare la gente del posto a prendere parte in maniera diretta alle operazioni di scavo, tramite continue visite e presentazioni pubbliche dei risultati raggiunti; per quanto concerne la documentazione, aspetto che ci interessa di più in questo caso, sono disponibili, direttamente dal sito internet, diversi *virtual tour* e tantissime ricostruzioni in 4D⁴⁰. Si tratta, come risulta evidente, del ricongiungimento, dopo decenni di comunicazione interrotta, di archeologia e informatica. Paradigmatica l'inclusione tra i dodici concetti cardine di archeologia riflessiva elencati da Hodder di quattro dedicati proprio al computer, visto in una duplice accezione: come strumento tecnico e come elemento latore di forte innovazione.

1.2 L'archeologia informatica e le *digital humanities* nel nuovo millennio: centro o periferia?

*Humanities computing is precisely the formalisable part of the Humanities and in this sense is not new subject born with the computer*⁴¹.

Giunti alle soglie della contemporaneità, nel nostro breve *excursus* sull'evoluzione del concetto di archeologia computazionale, abbandoniamo lo sguardo storicista per assumere una prospettiva che provi a cogliere le tante criticità che continuano a emergere. Gli ultimi anni del Novecento e, in

³⁸Così FORTE 2007, p. 8. Ampiamente affrontato, nello stesso capitolo, i problemi metodologici ed epistemologici legati a tale visione.

³⁹HODDER 2000; per una riflessione sull'approccio riflessivo adottato da Hodder vedi CALETTI 2015.

⁴⁰Tutto facilmente accessibile a partire dal sito <http://www.catalhoyuk.com>. Segnaliamo, nello specifico, il progetto LEAP (*Learning of Archaeology through Presence*), di durata biennale, finanziato dall'Unione Europea, e che ha come obiettivo lo sviluppo di un *innovative conceptual and technological framework for Virtual Archaeology* <http://www.catalhoyuk.com/content/depicting-catalhoyukness>, ultimo accesso 23/3/2017.

⁴¹ORLANDI 1992.

maniera più decisa, i primi decenni del nuovo millennio saranno ricordati, come abbiamo brevemente tracciato, come l'età *del trionfo della tecnologia*⁴². La grande enfasi posta su *software* e progetti di ricerca sempre più ambiziosi⁴³, l'attesa, quasi messianica, per il rilascio degli ultimi aggiornamenti dei programmi più utilizzati⁴⁴, o l'attenzione rivolta alla comunicazione e divulgazione archeologica sui *social*⁴⁵ o, in generale, sullo straordinario strumento e canale rappresentato da Internet, sembrano la testimonianza della nascita di un nuovo rapporto, almeno in Italia, tra archeologia e informatica⁴⁶. Purtroppo, a uno sguardo più attento emergono ancora molteplici criticità. Sebbene non siano mancate le occasioni per il dibattito e il confronto⁴⁷, rimane irrisolto il problema relativo alla formazione degli studenti che, domani, saranno gli attori del processo. Dal 1988 al 2010, il professore T. Orlandi ha tenuto, presso La Sapienza di Roma, un corso, destinato a studenti laureati, di informatica umanistica⁴⁸, contribuendo così, in maniera diretta, alle fioriture della scuola romana⁴⁹. Al momento, l'insegnamento della disciplina è professato in varie città italiane⁵⁰ e si è assistito anche alla moltiplicazione dei master post-laurea,

⁴²ORLANDI 2009, p. 18.

⁴³Per ultimo il progetto ArchAIDE, finanziato con i fondi di *Horizon 2020*, che si pone l'obiettivo di fornire agli archeologi una *app* in grado, tramite il riconoscimento automatico delle immagini, di classificare e riconoscere i frammenti ceramici che, quotidianamente, emergono da ogni scavo. Capofila del progetto è l'Università di Pisa. <http://www.archaide.eu> (ultimo accesso 23/3/2017).
Per i principi di *Horizon 2020* <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en> (ultimo accesso 28/3/2017).

⁴⁴Sul tema vedi HUGGETT 2004, p. 84.

⁴⁵Per ultimo vedi D'EREDITÀ *et al.* 2016, pp. 331-352.

⁴⁶Per un bilancio sulla situazione italiana prima dell'inizio del nuovo millennio vedi l'illuminante analisi di MOSCATI 1996.

⁴⁷Tra tutte le riviste spicca 'Archeologia e Calcolatori', periodico, fondato da Cristofani e Francovich, che a partire dal 1990 rappresenta lo spazio ideale per chiunque voglia contribuire al progresso della disciplina o, semplicemente, voglia rimanere aggiornato sulle ultime sperimentazioni. Tutti i numeri sono facilmente scaricabili direttamente dal sito internet. La rivista, inoltre, è stata inserita in fascia A dall'ANVUR. Tra i convegni con cadenza annuale o quasi citiamo, per l'Italia, gli atti degli incontri ArcheoVirtual alla BMTA di *Paestum* o ArcheoFOSS (<http://www.archeofoss.org>, ultimo accesso 24/3/2017). Da segnalare come negli ultimi anni si stiano moltiplicando gli incontri in cui sono sviscerati, insieme ai classici temi dell'informatica umanista, i problemi e le potenzialità dell'*open access* e *open data* nell'archeologia italiana. Su quest'ultimo tema molta attiva la scuola pisana; vedi per ultimo ANICHINI-GATTIGLIA 2015.

⁴⁸ORLANDI 1990.

⁴⁹Tra i tanti, non possiamo non ricordare il compianto del prof. Giuseppe Gigliozzi, pilastro italiano degli studi di informatica digitale. Cfr. GIGLIOZZI 1997.

⁵⁰Oltre Roma, corsi di informatica umanistica si tengono in diverse Università italiane, tra cui Pisa, Genova, Trento, Venezia, Firenze. Sul tema cfr. CRISTOFORI 2005. Non è il nostro obiettivo presentare una carrellata completa dei corsi e dei centri di ricerca attivi nel settore. Rimandiamo al portale <https://dhcenter.net.org> (ultimo accesso 24/3/2017) per una delle mappature più complete.

sebbene sia ancora vivo il dibattito incentrato sull'effettiva caratura accademica del *humanities computing*⁵¹. Nel corso dei decenni, infatti, sono emersi, principalmente, due schieramenti, anche con posizioni provocatorie e negazioniste. Riassumendo brevemente⁵², da un lato abbiamo coloro che ritengono che il computer sia solo uno strumento (*just a tool*), negando, così, anche l'esistenza dell'informatica umanistica⁵³; dall'altro coloro che, seppur ne forniscano una definizione in negativo⁵⁴, ritengono che la disciplina abbia uno *status* e un'importanza tale da ritenerne l'insegnamento come un punto fondamentale della formazione di uno studente umanista.

Se tale è il dibattito, anche internazionale, sul riconoscimento teorico e didattico dell'informatica umanistica come materia indipendente, ben più complessa appare la questione relativa specificatamente all'archeologia. L'archeologia computazionale, infatti, nel migliore dei casi, costituisce solo una piccola porzione delle *Digital Humanities*⁵⁵. Tante le questioni ancora irrisolte. I presupposti metodologici fondativi della disciplina sono raramente discussi, si evidenzia una posizione di alterità dell'archeologia informatica rispetto alle DH e, infine, il mondo accademico sembra limitarne l'insegnamento. Iniziamo l'analisi partendo proprio da quest'ultimo punto.

L'archeologia computazionale è sostanzialmente confinata in quello spazio, quasi facoltativo, rappresentato dalle attività extra-curricolari come i laboratori e i seminari, a cui sono costretti a ricorrere gli studenti per raggiungere l'agognato numero di crediti annuali. In linea di massima, all'interno del rigido sistema previsto dal MIUR, l'insegnamento dell'archeologia informatica rientra nella *Metodologia della ricerca archeologica* (L-ANT 10). Come sottolineano D'Andrea e Niccolucci⁵⁶, sembrerebbe muoversi qualcosa nella direzione giusta, almeno leggendo le ultime parole e decisioni del Ministero; infatti, all'interno della pagina dedicata alla descrizione della materia, si citano *i metodi informatici della ricerca archeologica* tra i principi cardini

⁵¹Seppur di qualche decennio fa, fondamentale (e infatti ripubblicato di recente), già nel titolo '*Is Humanities Computing an Academic Discipline?*', il lavoro di ROCKWELL 1999 in cui l'autore prova a rispondere a una serie di interrogativi.

⁵²Il problema è ben affrontato, con bibliografia, in ORLANDI 2002.

⁵³Tra questi la posizione, volutamente provocatoria, di Lou Burnard in BURNARD 2001.

⁵⁴Per una definizione 'in negativo' vedi RONCAGLIA 2002; UNSWORTH 2002.

⁵⁵Sull'ampiezza del concetto, che ha sostituito ormai l'espressione *humanities computing*, c'è una vastissima bibliografia. Tra i punti fermi, ormai consolidati, la data di nascita della disciplina, fissata nel 1949 cioè quando inizia il progetto di P. Busa sul *index Thomisticus* in stretto contatto con l'IBM. L'impiego del termine *Digital* è, invece, imputabile alla diffusione del web avvenuta a partire dagli anni Novanta. Un'accurata analisi della *status quaestionis* su *this thing called Digital Humanities* in PERAZZINI 2013, PP. 171-193.

⁵⁶D'ANDREA - NICCOLUCCI 2000, p. 19.

dell'insegnamento dell'intera disciplina. Rimane, comunque, molta strada da percorrere⁵⁷. Infatti, al di là delle questioni di metodo⁵⁸, verrebbe da chiedersi, in maniera provocatoria, se l'archeologia computazionale sia considerata in Italia una disciplina degna degli altri insegnamenti archeologici professati nelle Università italiane.

Paradossale appare, inoltre, la sostanziale assenza dell'archeologia dal più ampio gruppo della c.d. 'Informatica Umanista'⁵⁹, ambito dominato dagli studi di carattere testuale e linguistico. Volgendo lo sguardo alla letteratura scientifica più recente, tale discrasia si palesa in modo sempre più chiaro. Citiamo il caso del *Companion*⁶⁰, pubblicato dall'Università di Oxford, in cui all'archeologia è dedicato appena un piccolo paragrafetto. Se aggiungiamo che perfino un'opera importante come quella edita dal MIT⁶¹ e interamente dedicata al rapporto tra patrimonio culturale e mondo digitale tocca solamente di striscio l'archeologia, affrontando, invece, in maniera specifica aspetti più legati alla museologia e alla comunicazione (dall'uso dei *digital media* nelle istituzioni culturali allo *story-telling*) vuol dire che la questione posta è seria e delicata. A tal proposito, è interessante sottolineare come una metafora molto calzante, assai ricorrente nella letteratura più recente⁶²,

⁵⁷BUZZETTI 2014, pp.81-87.

⁵⁸Una brillante analisi di questo rapporto, sebbene datata a circa un decennio fa, è opera di Orlandi, vedi ORLANDI 2004.

⁵⁹Tra le questioni insolute vi è anche quella lessicale, relativa alla terminologia da adottare per designare la materia. Coesistono, infatti, in maniera ondivaga, le espressioni archeologia computazionale, archeologia digitale, archeoinformatica e informatica archeologica in italiano. In inglese, al di là del termine omnicomprensivo *Digital Humanities*, sono state impiegate le denominazioni *Humanistic Informatics*, *Humanities Computing* e *Humanities Computer Science*; sul significato di tali distinzioni vedi DE SMEDT *et al.* 1999, 2.3.1 (<http://clu.uni.no/AcoHum/book/fm-chapter-final.html>, ultimo accesso 25/3/2017). In lingua tedesca la denominazione più frequente è *Computerphilologie*, volutamente incentrata sulla dimensione testuale della ricerca. Il merito è probabilmente della rivista *Jahrbuch für Computerphilologie*, prestigioso punto di riferimento dell'intero settore disciplinare. Sullo stato della *Computerphilologie* vedi il sempre attuale HARDMEIER 2000.

⁶⁰Prima edizione SCHREIBMAN *et al.* 2004, in cui all'archeologia è dedicato un breve capitolo a firma di Harrison Eiteljorg e intitolato *Computing for Archaeologist*. Consultabile all'indirizzo: http://digitalhumanities.org:3030/companion/view?docId=blackwell/9781405103213/9781405103213.xml&chunk.id=ss1-2-2&toc.id=0&brand=9781405103213_brand. La seconda edizione è stata pubblicata nel 2016. I medesimi autori hanno curato un volume esclusivamente incentrato sugli studi letterari digitali (SCHREIBMAN, SIEMENS UNSWORTH 2004). Il recente volume edito dal MIT sulle *Digital Humanities* (BURDICK *et al.* 2012) non affronta questioni direttamente legate all'archeologia. Tale trend non è per niente nuovo, come si evince facilmente dalla consultazione dell'opera edita, con amplissima bibliografia, da Lancashire (soprattutto LANCASHIRE-MCCARTY 1988; LANCASHIRE 1991), in cui a monopolizzare l'attenzione sono, ancora una volta, gli studi di linguistica. D'altro canto, è facilmente tracciabile anche il fenomeno inverso, ovvero la scarsa presenza di riferimenti bibliografici sulle *Digital Humanities* nei volumi dedicati all'Archeologia Digitale. Cfr. KANSA *et al.* 2011; CHYRSANTHI *et al.* 2012.

⁶¹CAMERON - KENDERDINE 2007.

⁶²Per ultimo WATRALL 2016.

paragoni le *Digital Humanities* ad una grande tenda⁶³. Ethan Watrall⁶⁴, dopo aver brevemente tracciato un profilo storico della disciplina⁶⁵, si chiede perché all'interno della *big tent* l'archeologia sia sostanzialmente assente. L'analisi è molto lucida e le problematiche individuate risultano ampiamente condivisibili: perché nonostante le numerose affinità l'archeologia non rientra pienamente nelle DH? Perché l'archeologo raramente partecipa ai numerosi incontri in cui gli studiosi di DH si confrontano⁶⁶? Sono le DH a restringere il campo agli studi *text-based* respingendo l'archeologia o è quest'ultima a sentirsi un corpo estraneo? Eppure non mancano certo i campi d'interesse comuni, dall'applicazione di GIS alla gestione e l'elaborazione d'immagini, in cui sia gli studi di natura testuale che quelli archeologici (si pensi al *Remote sensing* o al ricorso ai modelli 3D) hanno compiuto passi da gigante negli ultimi decenni.

La disconnessione tra archeologia e DH è imputabile, almeno in parte, alle differenti basi epistemologiche delle discipline sebbene, ad uno sguardo più approfondito, sembrano essere più numerosi i punti di contatto rispetto alle discrasie.

Numerosi sono i lavori in letteratura in cui si è tentato di comprendere i motivi alla base di tale peculiare situazione. Il punto di partenza sembra essere lo stesso, ovvero la considerazione, assai condivisibile, che «*archaeology remains largely distinct – some might say aloof – from DH*»⁶⁷. Questo il giudizio emesso da un archeologo, J. Huggett, esperto di *Digital Humanities* il quale, in maniera assai accurata, ha analizzato il rapporto tra le pubblicazioni scientifiche dedicate alle DH e il peso dell'archeologia in esse. Il titolo, *Core or periphery? Digital Humanities from an Archaeological perspective*, calza alla perfezione. Sebbene l'archeologia formi quasi una cuspide tra le DH, le scienze sociali e le *hard science*, e possa vantare, ormai da lungo tempo, una tendenza sempre viva all'interdisciplinarietà, i dati presentati nell'articolo sono inequivocabili.

⁶³La metafora della tenda, più o meno accessibile a chi ci voglia entrare, è ripresa anche da SVENSSON 2016, p. 482. Si deve originariamente a K. Fitzpatrick la creazione di questa fortunata immagine. Vedi FITZPATRICK 2010: *...(big tent) as a nexus of fields within which scholars use computing technologies to investigate the kinds of questions that are traditional to the humanities, or, as is more true of (her) own work, who ask traditional kinds of humanities-oriented questions about computing technologies.* (Pubblicato online)

⁶⁴Assistant Professor alla Michigan State University e direttore del *Cultural Heritage Informatics Initiative*, e Associate Director del Matrix (*Center for Digital Humanities and Social Sciences*)
<http://www2.matrix.msu.edu/people/ethan-watrall/>.

⁶⁵Nella ricostruzione storica grande attenzione è rivolta al pionieristico lavoro di J. Deetz, impegnato nel corso degli anni '60, nell'analisi della ceramica della tribù degli Arikara attraverso l'impiego dei primi computer (un IBM 704). Cfr. DEETZ 1965.

⁶⁶Tra le tante occasioni Watrall cita il THAT-Camp. Cfr. <http://thatcamp.org> (ultimo accesso 28/3/2017).

⁶⁷HUGGETT 2012, p. 91.

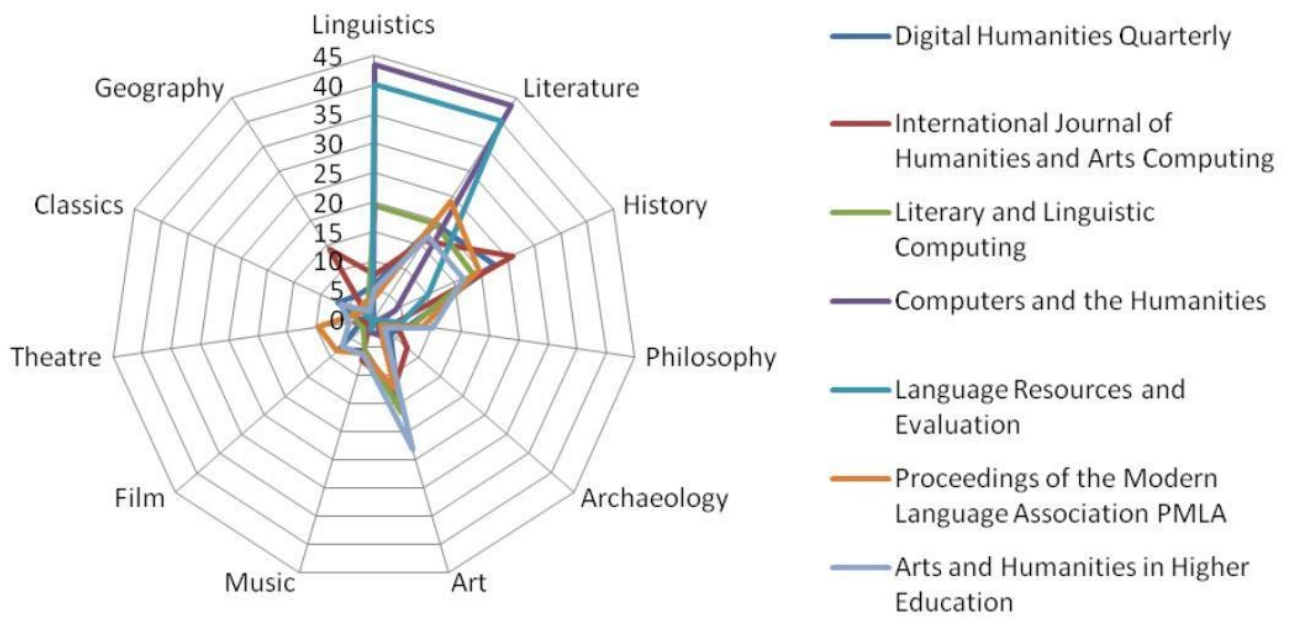


Figura 1. Distribuzione per ogni settore del numero di pubblicazioni nei giornali e nelle riviste di DH (da Huggett 2012, fig. 1).

Costruire un legame migliore, una *cross-fertilization* tra le due scienze, sottolineare i punti in comune piuttosto che le differenze sarà uno degli obiettivi del futuro prossimo.

Tratteremo, nel prossimo capitolo, in maniera approfondita la nascita e lo sviluppo di un settore, il *Remote sensing*, che ha fornito un contributo fondamentale per il progresso dell'archeologia negli ultimi decenni grazie soprattutto all'impiego di sistemi e tecnologie digitali dall'alto contenuto innovativo.

CAPITOLO 2

2.1 IL REMOTE SENSING E L'ARCHEOLOGIA

One ought to be a bird in order to be a field archaeologist
O. G. S. Crawford

2.1.1 Introduzione al *Remote Sensing*

Con l'espressione inglese *Remote sensing* si definisce la scienza che identifica, misura e interpreta oggetti o superfici senza entrare direttamente in contatto con essi⁶⁸. Quando stiamo davanti al computer siamo coinvolti, pur non sapendolo, in un'operazione che rientra all'interno del *remote sensing*. I nostri occhi, infatti, lavorano come sensori, catturando la luce emessa dallo schermo (senza averne un contatto diretto) e trasmettendo poi l'impulso al cervello. In quest'ottica, la disciplina abbraccia e interessa una serie di settori scientifici, dall'ingegneria civile e ambientale, alle scienze della terra⁶⁹ fino agli studi sul patrimonio culturale.

L'evidente approccio multidisciplinare, in aggiunta al carattere fortemente applicativo del *remote sensing*, ha avuto come conseguenza una tendenza alla frammentazione della disciplina, una frammentarietà che si è interrotta solamente intorno alla metà del secolo scorso.

Non a caso, l'introduzione del termine *remote sensing*.⁷⁰ si fa risalire ad un geografo, Evelyn Pruitt, attivo negli Stati Uniti tra gli anni Cinquanta e l'inizio degli anni Sessanta. L'ufficiale americano si trovò quasi costretto a coniare questa nuova espressione a causa della limitatezza (e sovrapposizione) dei concetti, fin a quel momento dominanti, legati alla fotografia aerea (quindi fotointerpretazione, aereo foto-interpretazione ecc...). In breve tempo, soprattutto in ambiente anglosassone, il telerilevamento assunse i crismi di una disciplina scientifica a sé stante, assorbendo e inglobando anche la lunga e fortunata tradizione di studi di fotografia aerea.

⁶⁸CCRS 1998; per uno sguardo d'insieme su alcune delle definizioni più impiegate vedi CAMPBELL-WYNNE 2011, p. 6.

⁶⁹MANTOVANI-MARCOLONGO 1992.

⁷⁰In linea di massima si considerano le espressioni *Telerilevamento*, *Télé-détection*, *Fernerkundung* e *Perception Remota* come sinonimi di *Remote Sensing*.

Negli ultimissimi anni, il telerilevamento e, soprattutto, l'impiego dei c.d. UAV⁷¹ ha oltrepassato i confini accademici, entrando a pieno titolo in molti aspetti della vita quotidiana. A partire dalla fine del 2016, il colosso americano Amazon ha iniziato ad effettuare le prime consegne sfruttando proprio un drone, ma molti sono gli esempi, anche meno futuristici, che possiamo trarre dal nostro vissuto. Non c'è, ormai, matrimonio in cui il fotografo non ricorra alla camera montata su droni per fotografare dall'alto gli sposi⁷² e perfino alcuni allenatori di calcio stanno iniziando ad usufruire delle nuove immagini per meglio apprezzare la disposizione tattica della propria squadra.

Da un punto di vista scientifico, l'impiego delle nuove piattaforme aeree è da ricondurre all'interno della Geomatica⁷³, i cui più importanti ambiti di ricerca sono legati alla tutela e alla gestione/pianificazione del territorio. Come testimonia la ricca letteratura scientifica, tra le principali tematiche di ricerca annoveriamo le ricerche condotte in ambiente GIS sulla mitigazione del rischio ambientale (sismico, idrogeologico, vulcanologico⁷⁴), gli studi sulla lotta all'inquinamento, sulla sostenibilità energetica o su più precise azioni di pianificazione urbana. Naturalmente, non mancano i progetti incentrati sulla tutela dei beni culturali e, più specificatamente, sull'archeologia.

Il rapporto tra il telerilevamento e il mondo dei beni culturali ha radici molto più profonde e non sorprende notare come esso sia ormai divenuto un elemento imprescindibile per lo studio e il monitoraggio del paesaggio⁷⁵.

Segnaliamo, limitatamente alle numerosissime applicazioni in ambito archeologico, come il telerilevamento sia balzato agli onori della cronaca nazionale e internazionale a seguito delle distruzioni perpetrate dall'ISIS nel Vicino Oriente⁷⁶. Le foto dalle piattaforme satellitari, e più

⁷¹Acronimo inglese per *Unmanned Aerial Vehicle*. L'espressione italiana equivalente è Aeromobile a Pilotaggio Remoto (APV).

⁷²Notevoli le problematiche nate sulla possibile violazione della privacy durante tali attività. La disciplina, già normata attraverso un regolamento, è stata recentemente aggiornata. Il nuovo dispositivo dell'ENAC è consultabile all'indirizzo https://www.enac.gov.it/repository/ContentManagement/information/N122671512/Regolamento_APR_Ed_2_Emend_3.pdf (ultimo accesso 1/7/2017).

⁷³Con il termine Geomatica, un neologismo da un punto di vista lessicale, si indica la disciplina che ha come oggetto l'acquisizione, l'elaborazione e l'analisi del dato geografico, attraverso l'impiego di tecniche tradizionali o più innovative. Alla Geomatica afferiscono tecniche e filoni di ricerca che trovano le loro basi scientifiche in settori quali la cartografia, la topografia, il telerilevamento, i sistemi informativi territoriali, la fotogrammetria... I due poli principali su cui si sviluppa la disciplina sono il rilievo e la rappresentazione cartografica. Per un'introduzione alla Geomatica vedi AMADIO 2012.

⁷⁴All'interno di una bibliografia molto vasta citiamo a carattere generale KONECNY *et al.* 2010.

⁷⁵Una sintesi generale sul rapporto tra tele-rilevamento e archeologia dei paesaggi in CAMPANA 2009a, pp. 139-157.

⁷⁶GENNARO-GENNARO 2017, pp. 309-330.

raramente quelle da UAV, hanno, infatti, rappresentato per un lungo periodo uno strumento imprescindibile per la verifica delle notizie sul danneggiamento dei beni culturali. Infatti, tra i vantaggi che derivano dall'impiego di droni spiccano la relativa facilità e rapidità di esecuzione, l'elevata qualità della risoluzione delle immagini, e, soprattutto, la possibilità di produrre documentazione di aree difficilmente accessibili o del tutto inaccessibili. In tal modo, gli studiosi sono riusciti a fronteggiare la mancanza di testimonianze dirette (e quindi certe) sullo stato di salute dei numerosi luoghi archeologici situati in regioni occupate dal sedicente stato islamico. In alcuni casi, purtroppo, i timori sull'integrità dei monumenti sono stati confermati. Tra gli esempi più dolorosi fotografati dalle piattaforme satellitari, ricordiamo le immagini dell'antica città di Dura Europos, posta sulla riva sinistra dell'Eufrate; i satelliti hanno fotografato una serie infinita di buchi, prove di scavi clandestini estensivi.

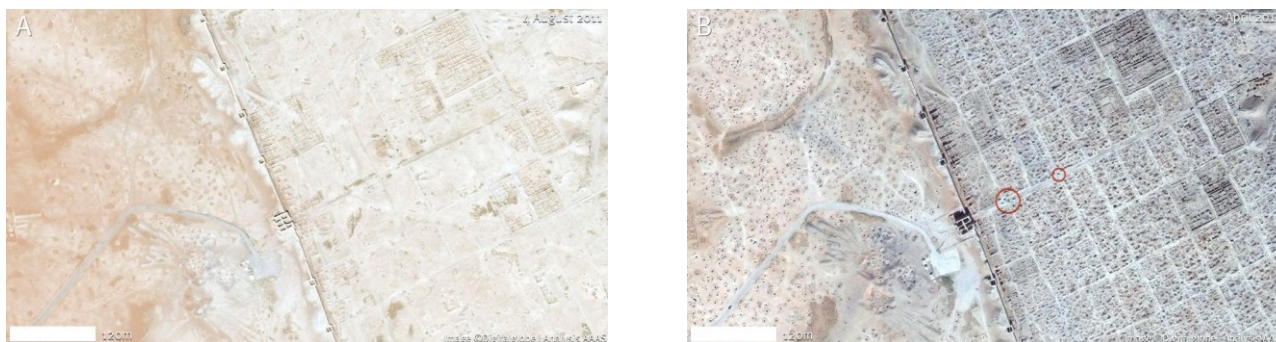


Figura 1. Confronto tra prima e dopo: nel giro di pochissimi anni (2011-2014) la città di Dura Europos è stata scavata clandestinamente nella quasi totalità del suo territorio (immagini Digital Globe, US Department of State).

Tali azioni, imputabili certamente non solo alle milizie islamiste, hanno completamente alterato la morfologia del paesaggio, oltre a costituire un danno irreparabile per la conoscenza di uno dei siti archeologici più interessanti del Vicino Oriente. Il confronto tra le foto del 2013 e quelle successive all'avanzata dell'ISIS, così chiare ed evidenti, hanno avuto una grande eco anche sulla stampa nazionale⁷⁷, provocando reazioni di preoccupazione e sgomento. L'attenzione verso il *remote sensing*, inteso come strumento fondamentale nella lotta contro gli scavi clandestini⁷⁸ è molto alta soprattutto tra i ricercatori di scuola americana impegnati nel vicino Oriente. La Scuola Americana

⁷⁷ Articolo su La Stampa consultabile anche *online* <http://www.lastampa.it/2014/12/29/vaticaninsider/ita/nel-mondo/siria-danni-anche-alla-domus-ecclesiae-di-dura-europos-1OoLuWk5kviikUkWgsX5rM/pagina.html> (ultimo accesso 25/5/2017).

⁷⁸ Il termine impiegato in lingua inglese è *looting*.

per gli Studi Orientali⁷⁹ (*American School of Oriental Research*, ASOR) pubblica *online* dei report settimanali sullo stato di conservazione (o distruzione purtroppo) dei monumenti antichi. A fronte delle evidenti difficoltà, il telerilevamento ha rappresentato lo strumento migliore per valutare e pesare le notizie provenienti direttamente dal fronte caldo. Oltre a pubblicazioni prettamente scientifiche⁸⁰, l'ASOR ha reso disponibile sul proprio sito internet numerosi *link* alle notizie più recenti, tra cui segnaliamo un articolo del *National Geographic*, in cui sono analizzate le immagini satellitari che testimoniano la distruzione della cittadella vecchia di Mosul⁸¹.

Tutte queste righe sono state spese per spiegare come l'impiego del *remote sensing* stia cambiando non soltanto tecnicamente il modo con cui si pratica (anche) l'archeologia, ma stia anche contribuendo a modificarne la sua valenza sociale all'interno della società.

Fino a poco tempo fa, circolava una bufala scientifica, ripresa da molti giornali, con la quale si annunciava la scoperta di una città perduta dei Maya⁸². Essa sarebbe stata effettuata per gioco da un ragazzino americano che avrebbe utilizzato immagini di Google Earth. Al di là della probabile infondatezza della teoria proposta, il messaggio veicolato era chiaro e assai negativo. L'idea alla base dell'articolo inferiva che lo studio delle foto satellitari, effettuato per finalità archeologiche o per monitoraggio dell'ambiente, fosse, praticamente, un passatempo ludico per ragazzi avvezzi alle tecnologie moderne. Nello stesso periodo, quasi da contraltare, era, però, assegnato il prestigioso *TED Prize*⁸³ del 2016 ad una giovane archeologa americana, Sarah Parcak, definita dalla stampa

⁷⁹Il suo direttore Michael Danti è stato ricevuto da Obama durante la fase conclusiva della sua presidenza. Un segno dell'importanza del compito svolto da questa istituzione di ricerca.

⁸⁰Sul rapporto tra immagini satellitari e contrasto alla distruzione del patrimonio culturali in Siria vedi CASANA 2015; CASANA-PANAHIPOUR 2014.

⁸¹*Satellite images reveal Mosul's cultural destruction*, articolo consultabile all'indirizzo <http://news.nationalgeographic.com/2017/06/Mosul-ISIS-Islamic-State-Iraq-Nuri-Mosque-Hadba-Minaret/>, articolo del 23 Giugno, (ultimo accesso il 13 Luglio 2017).

⁸²Notizia diffusa su molti giornali: La Stampa <http://www.lastampa.it/2016/05/10/esteri/a-anni-scopre-unantica-citt-maya-pXfekm5RIpnX7nwYdILsdN/pagina.html>; La Repubblica http://www.repubblica.it/scienze/2016/05/09/news/studia_stelle_scopere_citta_maya-139449562/; Huffington Post http://www.huffingtonpost.it/2016/05/10/citta-perduta-maya_n_9881084.html; notizia poi smentita, ovviamente con un'eco minore, su La Repubblica http://www.repubblica.it/scienze/2016/05/11/news/citta_maya_scoperta_dal_ragazzo_gli_scientiati_una_bufala_-139596524/ e National Geographic http://www.nationalgeographic.it/mondo-antico/2016/05/12/news/una_citta_maya_scoperta_da_un_quindicenne_probabilmente_no-3087628/ (ultimo accesso a tutti i siti in data 25/5/017).

⁸³Il *TED Prize* è un riconoscimento assegnato annualmente ad una persona che, attraverso la sua idea innovativa, fornisce uno strumento straordinario nel risolvere problemi di carattere mondiale. Al vincitore va anche un assegno da un milione di dollari. A questo indirizzo le motivazioni dell'assegnazione del premio e il progetto lanciato da Parcak <https://www.ted.com/participate/ted-prize/prize-winning-wishes/globalexplorer> (ultimo accesso 26/5/2017).

come una *satellite archaeologist* o come novella Indiana Jones *hi-tech (sic)*. In effetti, l'insigne studiosa è autrice di numerose pubblicazioni scientifiche⁸⁴ di ottimo livello, in cui si è occupata (non solo) di *remote sensing* come strumento per la salvaguardia del patrimonio culturale di diverse regioni della Terra, dall'Egitto al mondo precolombiano. L'idea davvero innovativa è stata quella di lanciare un progetto di *crowdsourcing* per l'archeologia, mettendo online una piattaforma⁸⁵. Dopo aver obbligatoriamente allenato l'occhio con diverse centinaia di foto, chiunque può dare una mano agli archeologi, tentando di individuare possibili tracce di scavi clandestini nelle immagini satellitari proposte. Naturalmente, le anomalie segnalate dagli utenti sono poi riviste dal personale scientifico, con il compito di validare o meno l'indicazione ricevuta. Evidente risulta il cambio di paradigma rispetto alle tradizionali ricerche accademiche. Nel passato, quella che definiremmo la società civile difficilmente era messa a conoscenza delle attività svolte dagli archeologi; in questo caso, invece, l'impegno civile, l'*engagement* per usare la terminologia inglese è massimo. E i risultati iniziano a premiare il nuovo approccio.

Proseguiamo la nostra disamina analizzando, in sintesi, la storia dell'applicazione del telerilevamento nel mondo dell'archeologia.

2.1.2 Breve storia del *Remote Sensing* e della sua applicazione in ambito archeologico

2.1.2.1 La fotografia aerea

Nel paragrafo precedente abbiamo fornito una definizione, abbastanza olistica, del telerilevamento, sottolineando come l'espressione sia stata coniata per superare l'*empasse* legata alla sovrapposizione concettuale con la fotografia aerea.

Non sorprende pertanto come, almeno per i primi cento anni, la storia del *remote sensing* coincida in maniera netta con la storia della fotografia aerea e con il suo successivo sviluppo. Com'è noto, le riprese fotografiche da palloni frenati nacquero a metà dell'Ottocento, quando l'intuizione di Nadar rese chiare le potenzialità del nuovo strumento; diventò possibile, infatti, compiere rilievi militari, topografici, catastali sfruttando l'altezza e la stabilità delle nuove "postazioni". Fino ai primi decenni del Novecento, la fotografia aerea fu considerata uno strumento ausiliario per il rilievo, e il

⁸⁴Di carattere generale PARCAK 2009;

⁸⁵<https://www.globalxplorer.org> (ultimo accesso 26/5/2017).

suo impiego rispondeva a finalità prettamente documentarie. In ambito archeologico⁸⁶, il primo a sfruttarle in Italia tale innovazione fu Giacomo Boni, impegnato negli scavi del Foro Romano. Egli si servì di un pallone del Genio Militare per fotografare l'area sottoposta a indagine archeologica nel 1899⁸⁷.

Una nuova stagione si aprì grazie al progresso tecnico conseguenza diretta dello scoppio della Prima Guerra Mondiale: furono perfezionati sia gli strumenti fotografici sia gli stessi aeroplani, impiegati per le prime operazioni militari in cielo. A seguito di tali miglioramenti, la fotografia aerea iniziò a diventare uno strumento valido per i primi studi sui paesaggi archeologici. Dopo le pionieristiche attività di Leon Rey in Macedonia e di Theodor Wiegand in Turchia, gli anni Venti del Novecento possono essere considerati come il vero momento in cui si pongono i fondamenti scientifici della disciplina, merito del lavoro di due noti studiosi, Antoine Poidebard e Osbert Guy Crawford. Grazie alle loro ricognizioni⁸⁸, condotte in contesti ambientali completamente diversi quali la Siria⁸⁹ e la Gran Bretagna, iniziarono ad essere sottoposte a sistematiche analisi scientifiche le tracce archeologicamente rilevanti: soprattutto i *crop marks* e i *soil marks*⁹⁰. Lo stesso Crawford avviò una campagna di scavo proprio nell'area in cui erano stati segnalati *crop marks*, dove fu portato alla luce un grande fossato circolare. Fu così dimostrato come l'applicazione della fotografia aerea fornisse ottimi risultati anche in contesti fortemente antropizzati e ben diversi dalle distese desertiche siriane. Come è noto, infatti, le ricerche di Crawford furono incentrate sui *Celtic fields*⁹¹ e sulla parcellizzazione agraria di età romana dell'Inghilterra e del Galles.

Ben diversa la situazione in Italia, dove lo scetticismo verso la disciplina rese marginale e assolutamente secondario l'impiego di tale strumento almeno fino agli anni Cinquanta. La

⁸⁶Negli scavi di Persepoli, condotti da una missione tedesca, fu sfruttata, per la prima volta, la fotografia aerea come strumento per documentare le attività archeologiche in corso.

⁸⁷PICCARRETA-CERAUDO 2000, p. 74-77.

⁸⁸Al primo si deve una serie di grandiose scoperte quali l'individuazione del limes romano in Siria, del porti di Tiro e Sidone nonché lo studio della topografia di Palmira e di Raqqa. Per ultimo vedi POIDEBARD 1934; CRAWFORD 1924; CRAWFORD 1928; CRAWFORD-KIELER 1928.

⁸⁹POIDEBARD 1929.

⁹⁰Dal Glossario in MUSSON *et al.* 2005, pp 11-13. *Cropmark* (tracce da vegetazione): variazioni della crescita, dell'altezza (o di altri parametri) delle colture che denunciano la presenza nel sottosuolo di elementi archeologici o alterazioni naturali. Sottotipi sono le *tracce di germinazione*, i *grassmark* (tracce sui suoli erbacei), i *parchmark* (tracce da aridità) e i *weedmark* (tracce da erbacce).

Soilmark (tracce sul suolo nudo): variazione di colore riscontrabile sul suolo nudo dovuta alla diversa composizione del terreno che influisce sulla tessitura e sulle capacità di trattenere e rilasciare l'umidità o sulla riflessione della luce. Le differenze di colore possono indicare la presenza di elementi archeologici o di altre anomalie presenti nel sottosuolo.

⁹¹I risultati furono presentati nel 1923, vedi CRAWFORD 1923.

fotografia aerea rimase assolutamente marginale all'interno della tradizione italiana, nonostante l'impegno diretto di Lugli, il quale, oltre ad ordinare una serie di sorvoli, ne ribadì con enfasi l'efficacia durante il V Congresso Nazionale di Studi Romani⁹².

Sebbene nell'immediato la Seconda Guerra Mondiale causò un'interruzione nel progresso delle attività di ricognizione aerea, nel dopoguerra divenne fruibile un gran numero di fotografie aeree. Esse erano state scattate, in maniera sistematica, per finalità militari, con un duplice intento: smascherare gli obiettivi militari che il nemico aveva mimetizzato nel terreno, e pianificare gli attacchi. Inoltre, la corsa verso il miglioramento delle tecnologie impiegate nei campi di battaglia ebbe anche positive ripercussioni scientifiche, con l'invenzione di nuovi strumentazioni: il sistema RADAR⁹³, la scansione con l'infrarosso termico⁹⁴ e le riprese all'infrarosso fotografico falso colore. A partire dagli anni Cinquanta, pertanto, la disciplina superò la sua fase pionieristica. Le esperienze e i risultati archeologici conseguiti furono così numerosi da costringerci a citare soltanto i più significativi. In Inghilterra, assai fruttuose si rivelano le ricerche soprattutto sui paesaggi preistorici e sulla centuriazione romana. Inoltre, St. Joseph fonda, nel 1945 a Cambridge, il primo centro di ricerca. Si tratta del CUCAP (*Cambridge University Committee for Aerial Archaeology*), istituto ancora esistente e che possiede il più grande archivio di fotogrammi, circa cinquecentomila tra riprese oblique e verticali⁹⁵.

Rimanendo sempre in Europa ricordiamo gli studi di Mertens in territorio belga, la sua scoperta del santuario di Fontaine-Valmont e del sistema viario di epoca romana, le attività di Almagro Basch⁹⁶ in Spagna, l'individuazione della centuriazione a Narbona a opera di Guy, e di Valenza a opera di Rob.

In Italia la fotografia aerea attraversa la sua fase migliore⁹⁷, come testimoniano le ricerche di Bradford in Puglia⁹⁸, vero e proprio punto di svolta per l'archeologia italiana e pugliese in

⁹²LUGLI 1939; LUGLI 1940.; PICCARRETA 1987, p. 8.

⁹³MANTOVANI-MARCOLONGO 1992, pp. 16-19.

⁹⁴Sull'infrarosso termico vedi KÜNZER-DECH 2013.

⁹⁵DOWNEY 1980, pp.1-21.

⁹⁶ALMAGRO BASCH 1943.

⁹⁷Per una storia degli studi degli studi di aerofotografia in Italia vedi MUSSON *et al.* 2005, pp. 16-33; CERAUDO 2004; PICCARRETA-CERAUDO 2000, pp. 73-97; ALVISI 1989, pp. 18-31. Interessante anche il catalogo, curato da M. Guaitoli, della mostra *Lo sguardo di Icaro* del 2003.

⁹⁸RADCLIFFE FRANCHIN 2006, pp. 39-51;

particolare. Egli era un ufficiale dell'esercito inglese di stanza in Puglia, in un'area, quella intorno a San Severo, già occupata senza difficoltà dagli alleati. Nonostante non fossero necessari ulteriori voli di ricognizione da parte della RAF, egli persuase l'aeronautica britannica a non interrompere i sorvoli, intuendo immediatamente il grande potenziale archeologico che era nascosto nel territorio circostante. Potendo contare anche su condizioni ambientali assai favorevoli, sia per i caratteri morfologici del terreno che per il basso tasso di antropizzazione, Bradford riuscì a ottenere straordinari risultati soprattutto per l'area del Tavoliere e della Daunia⁹⁹. Furono identificati numerosi villaggi neolitici trincerati, il più celebre quello di Passo di Corvo, e alcuni degli indicatori archeologici più significativi dell'occupazione e dello sfruttamento romano del territorio: le villa tardoantiche, per esempio quella di Troia, e le tracce della centuriazione, come quelle identificate nei pressi di Lucera. La sua attività varcò anche il confine pugliese, riuscendo a scoprire alcune delle necropoli più estese di Tarquinia e Cerveteri nell'Etruria meridionale. Inoltre, gli va ascritto il merito di aver chiarito il rapporto che deve esistere tra ricerca delle tracce aeree e indagini *ground truthing*, scavo e/o prospezioni archeologiche e/o geofisiche¹⁰⁰ che siano: esse devono necessariamente completare il lavoro dell'archeologo ricognitore.

Altre figure di primissimo piano furono Giulio Schmiedt, autore in collaborazione con l'IGM dell'Atlante¹⁰¹ e di numerosi studi sulla viabilità romana e medievale, e F. Castagnoli¹⁰², insigne studioso proveniente dalla scuola romana di Topografia Antica. Egli, oltre ad aiutare Schmiedt nelle sue attività di ricerca incentrate sui centri coloniali della Sicilia e della Magna Grecia, contribuì in maniera significativa al progresso delle conoscenze sulle divisioni agrarie del centro Italia (da Lucca a Spello, Nocera e Pompei) e all'individuazione del centro etrusco di *Pyrgi*. Per quanto concerne la realtà siciliana, fondamentale l'apporto di Dino Adamesteanu¹⁰³, che sfruttò per le sue indagini le immagini aeree provenienti dai voli della *Lutwaffe*. Egli fu anche il primo direttore dell'Aerofototeca Archeologica di Roma, centro di ricerca passato adesso sotto il controllo del

⁹⁹BRADFORD 1949, pp. 58-72; BRADFORD 1950, pp. 84-95.

¹⁰⁰Sulla verifica delle anomalie di carattere geofisico vedi HARGRAVE 2006; per un caso esemplare vedi CAMPANA *et al.* 2006, pp. 491-496.

¹⁰¹SCHMIEDT 1964; SCHMIEDT 1970; SCHMIEDT 1989.

¹⁰²Il professore romano fu tra i primi a scorgere nella fotogrammetria uno degli sviluppi tecnologici più interessanti in ambito archeologico. Dello stesso autore la voce *Esplorazione aerea* nell'Enciclopedia dell'Arte Antica. Per un inquadramento generale vedi anche CASTAGNOLI 1969, pp. 7 e ssg.

¹⁰³A Dinu Adamesteanu, figura di spicco dell'archeologia della Magna Grecia, si deve, oltre ad una lunghissima attività di scavi, anche l'istituzione di numerosi parchi archeologici nel Sud Italia, come Policoro, Metaponto, *Grumentum*. Sull'Aerofototeca vedi ADAMESTEANU 1964

MiBACT.

Non si trattò di un caso isolato in quanto è possibile notare come, a partire dagli anni Sessanta, gli studi di fotografia aerea acquisirono un peso sempre maggiore nel mondo della ricerca archeologica; non a caso, nacquero in Europa, e come abbiamo visto anche in Italia, numerosi centri di studio e programmi d'indagine di carattere nazionale¹⁰⁴. Molte delle istituzioni fondate durante quei decenni continuano a operare, nonostante le difficoltà economiche, anche nel nostro territorio. Ci riferiamo, per esempio, al Laboratorio di Fotointerpretazione archeologica dell'Università di Siena fondato da R. Francovich nella metà degli anni Ottanta (adesso Laboratorio Archeologia dei Paesaggi e Telerilevamento LAP&T), o ai più recenti laboratori nati in molti altri contesti universitari, come il LABTAF (Laboratorio Centro Fotografia antica e Fotogrammetria) dell'Università di Lecce, il Laboratorio fotografico e Laboratorio di Registrazione e Documentazione Grafica dell'Università della Tuscia di Viterbo. Negli ultimissimi anni si sono moltiplicate anche le *Summer School*, vere e proprie occasioni in cui studenti (e professionisti) hanno la possibilità di arricchire le proprie conoscenze, colmando anche alcune lacune presenti negli insegnamenti erogati dalle Università¹⁰⁵. Tali corsi si contraddistinguono per la propensione ad un livello fortemente applicativo e alla interdisciplinarietà, come dimostrano i moduli didattici riservati all'impiego dei droni o alle nozioni basi della geofisica o della geomatica.

2.1.2.2 Immagini satellitari

Dai lavori su Stonehenge¹⁰⁶ fino alle più recenti applicazioni, la più che centenaria storia dell'impiego della fotografia aerea costituisce una prova evidente del successo di questo strumento nel campo archeologico. L'impegno costante degli archeologi e degli scienziati attivi in campi affini come la geomatica ha reso possibile un progresso delle tecniche quasi inimmaginabile.

Dopo le prime pionieristiche riprese dallo spazio¹⁰⁷, uno dei primi punti di svolta nell'ambito del

¹⁰⁴In Inghilterra il *National Mapping Program* (NMP) con l'obiettivo, molto alto, di analizzare e archiviare ogni traccia di monumento antico. Secondo le ultime stime sarebbe stato analizzato poco meno della metà del territorio inglese; in Germania il Centro Prospezioni Archeologiche del Museo di Bonn; in Austria l'Università di Vienna, principale istituto di ricerca del Paese e tra i più prestigiosi dell'intera Europa. Sullo sviluppo e sulla tradizione di studi della scuola francese TREMENT 2000, pp. 1-14. In Svizzera il *Bureau central pour la photographie aérienne*.

¹⁰⁵Ultima la *Summer School* "Archeologia Aerea e Telerilevamento di prossimità con Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto" organizzata dal LabTaf Lecce

¹⁰⁶CAPPER 1907.

¹⁰⁷Le primissime camere erano montate sui missili americani V2 (sviluppati da molti scienziati tedeschi impiegati da Hitler durante la II Guerra Mondiale). Sul celebre Sputnik, nel 1957, la prima macchina su una piattaforma orbitante.

telerilevamento è stato riconosciuto nel lancio avvenuto il 23 Giugno del 1972 del satellite statunitense *ERTS (Earth Resources Technology Satellite)*, il primo di una lunga serie di satelliti messi in orbita per osservare i paesaggi e le regioni della Terra. Si trattò, come evidente, di una grande rivoluzione¹⁰⁸. La relativa disponibilità di immagini aprì, infatti, nuove prospettive non soltanto per diversi settori della scienza, ma riuscì a mutare anche il modo con cui l'uomo era abituato a osservare il nostro pianeta. Basti pensare alla nascita e allo sviluppo di un settore specifico dell'industria aerospaziale¹⁰⁹ o al significato politico (la famosa corsa alle *Star Wars*) che ha, ancora oggi, il lancio di un satellite o il finanziamento di progetti così impegnativi¹¹⁰.

In effetti, il potenziale archeologico insito nell' *imagery airborne* fu riconosciuto ben cinque anni prima del lancio del ERTS, in una nota a firma di Thompson¹¹¹ apparsa sulla rivista *Antiquity*. Nel breve scritto, l'autore notò per primo come le immagini ancora non disponibili dell'EROS (*Earth Resources Observation Satellite*) avrebbero avuto un impatto rivoluzionario in campo archeologico. A questa previsione rispose poco tempo dopo St. Joseph, il quale contrappose a tale visione la problematica bassa risoluzione spaziale delle foto come fattore fortemente limitante per l'archeologia.

In realtà, nel giro di pochi decenni la questione fu brillantemente risolta. La possibilità di avere a disposizione immagini multispettrali per quasi tutte le regioni del pianeta attivò un circolo positivo. Infatti, più cresceva l'interesse scientifico e quindi il numero di coloro interessati all'acquisto delle foto, maggiori erano i profitti che le aziende immediatamente reinvestivano nella ricerca, consegnando così agli scienziati dati via via sempre migliori. Il risultato dell'intero processo è ben rappresentato dalla figura sottostante. Un'abbondanza di satelliti, anche con risoluzione inferiori al metro, a disposizione (anche) degli archeologi.

¹⁰⁸Per una storia del programma Landsat LAUER *et al.* 1997.

¹⁰⁹GREEN 2006.

¹¹⁰Anche la Cina sta investendo nell'ultimo periodo moltissimo denaro sul suo programma spaziale. Tra gli obiettivi a lungo termine la costruzione di una stazione orbitante.

¹¹¹THOMPSON 1967.

Satellite	Sensor	Acquisition period	Spatial resolutions		Spectral Resolution (nm) (only VIS-VNIR are listed)	Temporal Resolution
			Pan	VIS-NIR		
ALOS	PRISM	2006-Today	2.5	10	420 - 890	46 days
CBERS	HRCC	2003-Today	20		450 - 890	26 days
CORONA		1960-1972	1.8 - 12		Panchromatic	
CARTOSAT-1		2005-Today	2.5		Panchromatic	116 days
EO-1	ALI	2000-Today	10	30	433-890	under req.
EO-1	Hyperion	2000-Today	10		356-996	under req.
FORMOSAT-2		2004-Today	2	8	450 - 900	under req.
GeoEye-1		2008-Today	0.41	1.65	450 - 920	under req.
IKONOS		1999-Today	1	4	450 - 950	under req.
IRS	Cartosat-1 (IRS-PS)	2005-Today	2.5		Panchromatic	under req.
IRS	Cartosat-2B	2010-Today	1		Panchromatic	under req.
IRS	Resourcesat-1 (IRS-P6)	2003-Today	5.8	23.5	520 - 860	under req.
IRS	Resourcesat-2	2011-Today	5.8	23.5	520 - 860	under req.
IRS	1C / 1D	1996/7-Today	5.8	23.5	520 - 860	under req.
KOMPSAT-2		2006-Today	1	4	450 - 900	under req.
Kometa	KVR-1000	1981-2005	2-3		Panchromatic	
Kometa	TK-350	1981-2005	2-3		Panchromatic	
Landsat 4	MSS	1982-1993	60		520 - 900	
Landsat 5	TM	1984-Today	15	30	450 - 900	16 days
Landsat 7	ETM+	1999-Today	15	30	450 - 900	16 days
Orbview-3		2003-Today	1	4	450 - 900	under req.
Pleiades-1		2011-Today	0.5	2	430-950	under req.
Proba	CHIRS	2001-Today	17-34		415-1050	under req.
QuickBird	-	2001-Today	0,60	2,4	450 - 900	under req.
RapidEye		2008-Today	5		440 - 850	under req.
SPOT-1	HRV	1986-2003	10	20	500-890	
SPOT-2	HRV	1990-2009	10	20	500-890	
SPOT-3	HRV	1993-1996	10	20	500-890	
SPOT-4	HRVIR	1998-Today	10	20	500-890	under req.
SPOT-5	HRG	2002-Today	5	10	500-890	under req.
Terra	ASTER	1999-Today	15		520-860	under req.
Kometa	KVR-1000	1981-2005	2-3		Panchromatic	
TK-350			2-3		Panchromatic	
WorldView-1		2007-Today	0.5		Panchromatic	under req.
WorldView-2		2009-Today	0.5	1.8	400-1040	under req.
Zenit	2-8	1961-1994	15-2		Panchromatic	

Figura 2. I principali satelliti utilizzati per ricerche archeologiche. Non inclusi nell'elenco i recentissimi WorldView 3 e 4. (da Hadjimitsis 2013)-

Focalizzandoci sull'ambito propriamente archeologico, i satelliti LANDSAT MSS (*MultiSpectral Scanner*, primo sistema capace di produrre dati multispettrali in formato digitale) costituiscono una pietra miliare per l'evoluzione della disciplina. Come è stato più volte sottolineato in letteratura¹¹², l'analisi delle immagini provenienti da queste piattaforme satellitari definisce e caratterizza la prima delle tre fasi con cui di solito si suddivide la storia degli studi archeologica. Nello specifico, la

¹¹²Prima volta in MARCOLONGO-BARISANO 2000, pp. 14-30; MARCOLONGO 2000, pp. 333-336; poi CAMPANA 2004, p. 279.

risoluzione al suolo era di 80 metri e le bande multispettrali disponibili 4. Pertanto, la loro applicazione nella ricerca archeologica era limitata ad indagini su larga scala, focalizzate, per esempio, sulla lettura del paleoalveo di un fiume¹¹³. D'altronde, il lancio di tale piattaforma satellitare era stato programmato dalla NASA con altre finalità: un monitoraggio degli oceani e di alcune zone della Terra, un'attività che alla lunga favorì la scoperta di numerosi giacimenti petroliferi e minerari. Non sorprende, quindi, come anche in Italia l'ambito applicativo più comune fosse legato al mondo della geologia strutturale e allo studio dei deserti¹¹⁴.

Il secondo periodo, a cavallo tra la metà degli anni Ottanta e i primissimi dei Novanta, si caratterizzò per un progressivo miglioramento della risoluzione al suolo delle immagini e, soprattutto, per l'impiego e la diffusione dei primi computer. La nuova tecnologia, infatti, rivoluzionò anche il settore del *remote sensing*, soprattutto nelle fasi legate alla lettura e all'immagazzinamento dei dati. Intorno alla prima metà degli anni Ottanta¹¹⁵ fu disponibile, solo per citarne uno, il programma ERDAS 7.x (*Earth Resource Development Assessment System*), inizialmente costruito per il sistema operativo DOS dell'IBM; questo *software* rendeva possibile lavorare i dati e inserirli nei primi sistemi GIS che si stavano sviluppando. Appena cinque anni più tardi, era già disponibile una versione aggiornata di ERDAS, direttamente collegata con ARC/INFO della ERSI. L'integrazione tra dati provenienti da telerilevamento, immagini satellitari e sistemi GIS stava muovendo i primi fortunatissimi passi, configurandosi sin da subito come uno dei punti di forza delle nuove metodologie d'indagine. La disponibilità di tali programmi informatici fu foriera di numerose conseguenze. Infatti, non cambiarono soltanto le modalità con cui si faceva ricerca ma anche i soggetti stessi. Infatti, le nuove procedure per la lettura delle foto satellitari non rendevano più necessaria la stampa cartacea dell'immagine, con un conseguente e ovvio risparmio sui costi; inoltre, la diffusione sempre più capillare dei PC permise anche a gruppi di ricerca di media e piccole dimensioni di fornire il proprio contributo. Per dirla brevemente, il progresso tecnologico allargò esponenzialmente e in maniera democratica il numero dei ricercatori impiegati in questo campo.

Nel campo dell'archeologia, il già citato aumento della risoluzione al suolo facilitò il compito degli archeologi; essi poterono lavorare anche su scale territoriali e contesti ambientali molto meno ampi

¹¹³Con immagini Landsat furono condotti anche fruttuosi studi sulla centuriazione romana nella pianura padana (MARCOLONGO-MASCELLARI 1978). Per uno sguardo d'insieme sulle ricerche condotte in Italia e non solo vedi CAMPANA-PRANZINI 2001, pp. 45-46.

¹¹⁴In Italia fondamentali le ricerche del Laboratorio per la Geofisica della Litosfera del CNR.

¹¹⁵Per essere precisi nel Novembre del 1982 il primo rilascio, nel Gennaio del 1983 la prima licenza per la versione per PC.

rispetto a quelli precedenti, concentrandosi specificatamente su analisi spaziali o sulle individuazioni di nuovi siti.

System	Temporal coverage	Sensor	Resolution	Frame format
CORONA (KH-1, 2, 3, 4)	1960–63	Panoramic camera	3–12m	~40 × 580km
CORONA (KH-4A)	1963–69		3–8m	17 × 231km
CORONA (KH-4B)	1967–72		2m	14 × 188km
GAMBIT (KH-7)	1963–67	Strip camera	1.2m	22 × 9–740km
HEXAGON (KH-9)	1973–80	Frame camera	10m	130 × 260km
Landsat 1,2,3	1972–1983	Multispectral Scanner (4 bands)	79m	170 × 185km
Landsat 4,5	1982–present	Thematic Mapper (7 bands)	30m	170 × 183km
SIR-A	1981	Radar	40m	50km swath
SIR-B	1984	Radar	30m	20–50km swath
SPOT 1, 2, 3	1998–present	Panchromatic	10m	60 × 60km
		Multispectral (4 bands)	20m	
SIR-C/X-SAR	1994	Radar	10–200m	
SPOT 4	1986–present	Panchromatic	10m	60 × 60km
		Multispectral (4 bands)	20m	
Landsat 7	1999–present	Enhanced Thematic Mapper (8 bands)	15–60m	170 × 183km
ASTER	1999–present	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (14 bands)	15–90m	120 × 150km
SRTM	2000	Radar interferometer	10–90m	185 × 185km
Hyperion	2000–present	Hyperspectral imager (220 bands)	30m	7.7 × 42km
IKONOS	2000–present	Panchromatic	1	11 × 11km
		Multispectral (4 bands)	4	
QuickBird	2001–present	Panchromatic	0.6m	16.5 × 16.5km
		Multispectral	2.4m	
SPOT 5	2002–present	Panchromatic	2.5–5m	60 × 60km
		Multispectral (4 bands)	10–20m	
TerraSAR-X	2007–present	Radar	1m	10 × 5km
GeoEye-1	2008–present	Panchromatic	0.5m	15 × 15km
		Multispectral (4 bands)	1.65m	

Figura 3. I principali satelliti e sensori impiegati nella ricerca archeologica dagli anni Sessanta in poi (da Fowler 2006).

Il Landsat 4¹¹⁶, infatti, aveva una risoluzione geometrica di 40 metri e, inoltre, montava uno dei primi *Thematic Mapper*, un sensore in grado di cogliere sei bande tra il visibile tra l'infrarosso vicino e, soprattutto, una banda termica, sebbene con una risoluzione ancora scarsamente utilizzabile in archeologia (120m).

Proprio alla metà degli anni Ottanta si colloca una vera e propria esplosione dell'impiego di immagini *airborne* della NASA per finalità archeologiche¹¹⁷. Dopo le prime esperienze¹¹⁸, crebbe la convinzione, all'interno dell'Agenzia americana, che anche l'archeologia avrebbe potuto

¹¹⁶Il Landsat 5 è ancora in orbita. Per ulteriori dettagli <https://landsat.gsfc.nasa.gov> (ultimo accesso 2/6/2017).

¹¹⁷Per un quadro sulla situazione dei due decenni precedenti vedi KRUCHMAN 1976.

¹¹⁸WISEMAN 1984; WELLS *et al.* 1981.

beneficiare in maniera significativa del progresso tecnologico che stava maturando; non a caso, in un report degli anni '70 si legge:

«the space age has broadened the archaeologist's horizons. In fact, fantastic as it may sound, many have contemplated the expansion of archaeology to extraterrestrial discoveries. Archaeologists have been confronted with such question as, 'What would you do if a discovery of past civilization was made on Mars?' I have no doubt that should that event unfold, NASA will be ready to apply all its remote sensing tools and techniques to a new chapter of archaeological exploration¹¹⁹».

La prova tangibile di una *vision* così ambiziosa fu la pubblicazione di un documento, del 1983, in cui si invitava a studiare la fattibilità delle *«remote sensing techniques for delineating and inventory archaeological sites and features in order to expedite survey and excavation¹²⁰»*. La sfida fu raccolta e i risultati diedero ragione sia agli archeologi sia agli scienziati della NASA; grazie alla messa in orbita di diversi satelliti tra cui il *Thematic Mapper Simulator* (TMS), simile al Landsat TM ma con 12 bande e risoluzione di 30 m, e il *Thermal Infrared Multispectral Scanner¹²¹* (TIMS), spettrometro a 6 canali in grado di misurare l'infrarosso termico (tra i 9400-122000 nm) furono portati a termine diversi progetti¹²² incentrati sullo studio del popolamento indigeno degli Stati Uniti. I dati raccolti permettevano, infatti, lo studio e l'analisi di contesti definibili come regionali, in cui era molto più semplice il riconoscimento di elementi lineari quali strade o piste carovaniere¹²³, canali di drenaggio o sistemi fluviali, suddivisioni agrarie. Inoltre fu inaugurato un filone che avrebbe trovato, soprattutto negli USA e in alcune regioni dell'Europa, grande successo anche nei decenni successivi, cioè l'applicazione di dati di *satellite remote sensing* per la costruzioni di modelli predittivi¹²⁴.

L'impiego di sensori RADAR, anch'esso incoraggiato dalla NASA negli stessi anni, aumentò gli

¹¹⁹Parole attribuite a Mary Scalera nel 1970. Il discorso è anche citato in GIARDINO 2011, p. 2008; sul rapporto tra NASA e archeologia vedi anche GIARDINO-THOMAS 2002, pp. 15-19; GIARDINO 2012, pp. 157-174.

¹²⁰SEVER 1983.

¹²¹Per maggiori dettagli tecnici vedi KAHLE-ABBOTT 1986.

¹²²Sulla ricerca delle strade Anasazi nel Chaco Canyon vedi SEVER-WAGNER 1990, pp. 42-52.

¹²³RENFREW-BAHN 2000, pp. 84-86.

¹²⁴Tema ampiamente sviscerato nel capitolo dedicato alla predittività archeologica.

strumenti a disposizione degli archeologi per lo studio dei paesaggi. Fu, in qualche modo, superato l'ostacolo rappresentato dalle aree con vegetazione molto fitta come le foreste lussureggianti del Messico e Guatemala o dell'Estremo Oriente¹²⁵, fino a quel momento escluse dai programmi di ricerca.

La fine della Guerra Fredda e la caduta del muro di Berlino sancì anche l'avvio della terza fase della storia del *remote sensing*. L'*intelligence* russa e americana declassificò moltissime immagini satellitari, rendendole fruibili per scopi commerciali e civili¹²⁶. Ci riferiamo, nello specifico, ai satelliti russi COSMOS¹²⁷, con il celebre sensore fotografico KVR-1000, attivo dal 1981 al 1987, e alla serie americana CORONA¹²⁸, con piattaforme operative tra il 1960 il 1972. Gli archeologi non si lasciarono sfuggire l'opportunità rappresentata dalla possibilità di usufruire di dati storici. Le immagini, infatti, spesso rappresentavano contesti ambientali fortemente mutati nei decenni successivi e quindi andati, in molti casi, persi.

¹²⁵Per le ricerche sui Maya vedi ADAMS *et al.* 1981; per la Cambogia vedi ANON 1995, pp. 12-13 e MOORE-FREEMAN 1997, pp. 15-19.

¹²⁶McDONALD 1995, pp. 689-720.

¹²⁷Primo lancio del 1968.

¹²⁸WHEELON 1997.

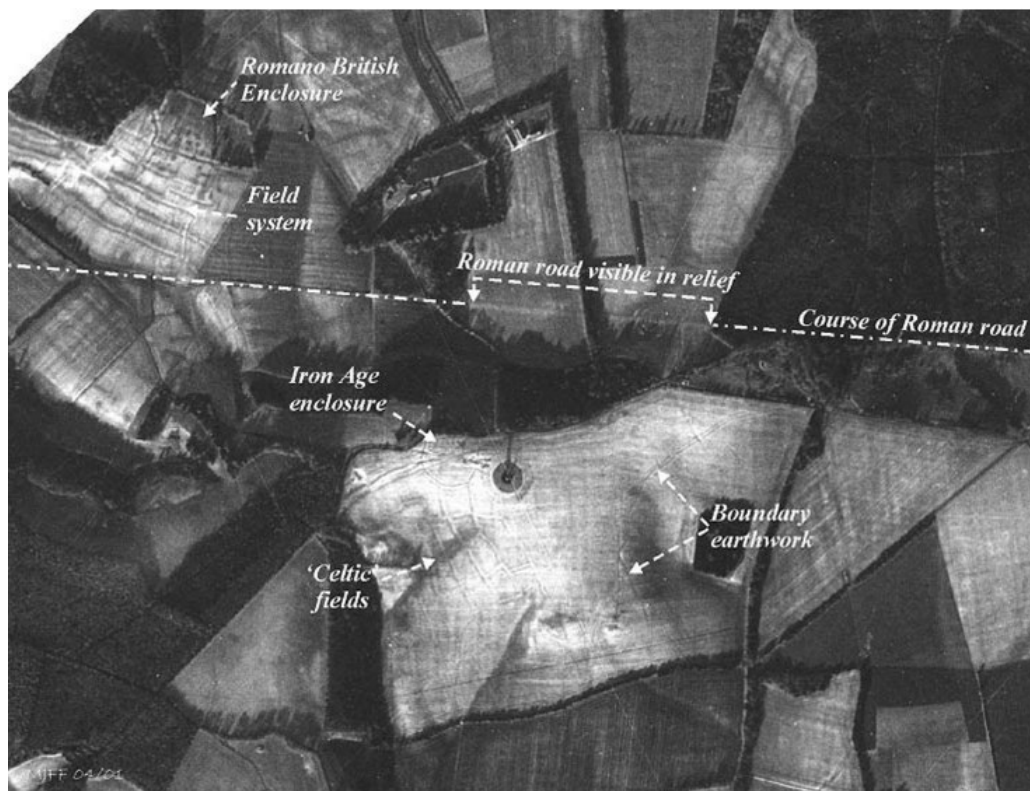


Figura 4. Esempio di fotogramma da KVR 1000, da Mount Down, Winchester. Come si nota, l'immagine presenta notevole affinità con le tradizionali fotografie aeree (da Fowler 2004).

Il costo, poi, era abbastanza accessibile poiché la spesa prevista per venti kmq era di circa venticinque dollari. Così, sulla scia dei propri interessi specifici, Fowler sfruttò le foto sovietiche per lo studio di Stonehenge¹²⁹, gli italiani Morandi Bonaccorso e Marcolongo si concentrano sullo Yemen¹³⁰, Comfort sulla città di Zeugma sull'Eufrate¹³¹. Gli studi condotti mostrarono come le immagini KVR-1000 fossero sostanzialmente paragonabili con la convenzionale scala media delle fotografie aeree, in grado quindi di evidenziare sia le strutture archeologiche esistenti e già scavate, sia i *crop* e *soil mark*. Ad oggi, i fotogrammi KVR-1000 possono essere ancora acquisiti, sebbene con un incremento di costo notevole (si è passati dai venticinque ai mille dollari per un'area leggermente meno estesa) e, nonostante essi abbiano dimostrato nel passato tutto il loro potenziale, non costituiscono più uno strumento impiegato con continuità negli studi archeologici.

I fotogrammi provenienti dai satelliti CORONA si rivelarono molto fruttuosi soprattutto per la ricerca nel Vicino Oriente e in Mesopotamia; infatti, al di là del loro basso costo e della risoluzione

¹²⁹FOWLER 1996.

¹³⁰MARCOLONGO-MORANDI BONACOSSO 1997.

¹³¹COMFORT *et al.* 2000; COMFORT 1997; sempre per il Vicino Oriente: PHILIP *et al.* 2002; GALIATSATOS 2004; UR 2003.

medio-alta (circa trenta dollari per scatto, ogni scatto inquadra oltre duemila e cinquecento kmq con risoluzione tra i due e i cinque m), uno dei vantaggi più evidenti consiste nel rendere facilmente individuabili e riconoscibili, soprattutto con le foto pancromatiche e in ambienti pianeggianti e privi di vegetazione, formazioni artificiali figlie dell'attività dell'uomo, quali *tell*, canali, strade¹³².

Con l'avvento del francese SPOT, il primo satellite ad alta risoluzione, lanciato nel 1986 e con risoluzione pancromatica di 10 m, fu possibile concentrarsi su scale meno ampie e indagare contesti relativamente più piccoli¹³³.

Ad arricchire in maniera definitiva il quadro degli strumenti a disposizione (anche) della ricerca archeologica vi fu la decisione, in prima istanza degli Stati Uniti, di lanciare e sviluppare satelliti esclusivamente per scopi commerciali. La prima società privata a ottenere l'autorizzazione fu la Lockheed e il primo di essi fu IKONOS, piattaforma messa in orbita nel 1994; seguirono poi EROS A1, *Orbview* (di *Orbital Sciences*), *Quickbird* (di *Digital Globe*). Era così nata la nuova generazione di satelliti ad altissima risoluzione spaziale (in inglese conosciuti con l'acronimo VHR cioè *Very High Resolution*), ormai nettamente inferiore al metro, in grado di operare dal campo del visibile al vicino infrarosso, sia in multispettrale che pancromatica. Il grande cambiamento consiste, pertanto, sia nella possibilità, grazie alle nuove proprietà tecniche, di riconoscere perfino un'automobile, un albero o una nave, sia in quella di ordinare, con un costo limitato, direttamente dal catalogo web le fotografie dell'area oggetto d'indagine¹³⁴. Infatti, già con i primi sensori montati sui satelliti all'inizio del XXI secolo era possibile distinguere oggetti con larghezze molto limitate, tra un metro e mezzo metro, o superfici comprese tra i cinquecento e mille metri quadrati¹³⁵; archeologicamente parlando, stiamo parlando della possibilità di riconoscere resti archeologici quali ville romane, castelli, edifici monumentali, necropoli.

Non sorprende, pertanto, come lavorando su una scala media di dettaglio e con tale risoluzione al suolo, molti archeologi si siano serviti per le loro indagini dei dati dei satelliti VHR. L'impiego nei decenni precedenti di immagini satellitari aveva prodotto degli ottimi risultati soprattutto in ambienti desertici, aridi o con scarsa vegetazione. In questo caso, le migliorie tecniche apportate sui

¹³²In generale, sull'impiego delle immagini CORONA in archeologia, sul loro potenziale e su alcune problematiche vedi DE SCHACHT *et al.* 2008, pp. 611-615; per le ricerche in aree aride, desertiche o semidesertiche CASANA-COTHREN 2008; CASANA 2007; FOWLER 2004; UR 2003; per ricerche in regioni con climi temperati FOWLER-FOWLER 2005.

¹³³FOWLER 2002; FOWLER 1993; SHENNAN-DONOGHUE 1992.

¹³⁴È possibile ottenere anche immagini acquisite in tempi diversi e quindi con copertura vegetativa diversa.

¹³⁵CAMPANA 2009a, p. 144.

nuovi sensori hanno reso lo strumento del telerilevamento efficace anche in contesti paesaggistici stratificati e fortemente antropizzati come quelli italiani o francesi. L'impiego di foto da IKONOS 2 o *Quickbird*¹³⁶ è, pertanto, così comune in letteratura da rendere possibile citare soltanto alcuni dei progetti più significativi a livello italiano e internazionale. Segnaliamo limitatamente all'Italia e all'Europa, i lavori del Laboratorio di Archeologia dei paesaggi e *Remote Sensing* dell'Università di Siena a firma di Stefano Campana¹³⁷, o i contributi di carattere anche metodologico della scuola belga¹³⁸; tra i progetti di ricerca internazionali incentrati, però, su siti europei ricordiamo la collaborazione tra la NASA e l'Università di Cincinnati su Troia, le analisi sui paesaggi cretesi di età minoica dell'Università di Melbourne¹³⁹. Recentemente, le immagini provenienti da *Quickbird* sono state impiegate anche per la costruzione di modelli di tipo predittivo sulla distribuzione dei siti archeologici¹⁴⁰; citiamo, all'interno di tale filone di ricerca, il lavoro di Parcak, in associazione con immagini di tipo termico, su alcune regioni dell'Egitto¹⁴¹ e che ha fornito ottimi risultati soprattutto per l'epoca tardo-antica.

Come avevamo visto in precedenza, l'interoperabilità dei dati da telerilevamento e loro il cosiddetto essere GIS *ready* costituiva, già nei decenni precedenti, una delle caratteristiche tecnologiche più importanti. Tale processo giunse a maturazione piena intorno alla metà degli anni Duemila, quando già i sistemi di analisi spaziale erano stati perfezionati ed erano ampiamente diffusi e impiegati in molti settori della ricerca scientifica. Si creò quella categoria di dati definiti come geospaziali¹⁴², nati dall'applicazione di diverse tecnologie quali, appunto, il *remote sensing*, il GIS, il GPS. Molti di questi sistemi, naturalmente, sostituirono completamente le applicazioni meccaniche e analogiche impiegate nei decenni precedenti. Il potere crescente di Internet e la sua grandissima forza nell'influenzare l'accessibilità pubblica alla *satellite imagery* ha, recentemente, chiuso definitivamente il cerchio. Infatti, non è un caso di come in letteratura sia sempre più diffusa

¹³⁶LASAPONARA *et al.* 2007; LASAPONARA-MASINI 2007.

¹³⁷Per esempio CAMPANA 2003, pp. 219-225.

¹³⁸DE LAET *et al.* 2006, pp. 830-841. Sempre dalla scuola belga GOOSSENS *et al.* 2006.

¹³⁹FRASER 2002, pp. 393-400.

¹⁴⁰RAJANI-RAJAWAT 2011.

¹⁴¹PARCAK 2010, pp. 18-19.

¹⁴²Non appare semplicissimo tracciare le differenze che separano, concettualmente, dati geografici, dati spaziali e dati geospaziali. La dizione tradizionale identifica come dati geospaziali quei dati che descrivono posizione, dimensione, forma e relazioni di oggetti rappresentati in scala geografica.

l'espressione *public remote sensing*¹⁴³ proprio per indicare il cambiamento avvenuto nella disciplina: da produzione scientifica di specialisti del campo e pensata per altri specialisti, a conoscenza messa a disposizione per un pubblico più ampio. Ci riferiamo, in particolare, al successo dei *browser* geografici, di cui *Google Earth*, programma rilasciato nel 2005 è il caso più eclatante. Esso fornisce una rappresentazione virtuale della superficie della Terra tramite la composizione di varie immagini digitali, usando concetti base sviluppati dalla *Keyhole Inc.*¹⁴⁴, azienda acquistata non a casa da Google nel 2004. *Google Earth* è stata progettata per un pubblico molto ampio, di cui la componente maggioritaria è costituita da persone assolutamente prive di quella cultura specializzata che in precedenza era un prerequisito per saper utilizzare le immagini di *remote sensing*¹⁴⁵. L'unica conoscenza richiesta è saper utilizzare internet e navigare sul web¹⁴⁶. Da un punto di vista tecnico, l'innovazione che sta alla base di *Google Earth* è il funzionamento tramite immagini composite, con DEM (*Digital Elevation Model*) acquisiti con scale, dati e risoluzioni differenti, accuratamente georeferenziate e provenienti dai dati NASA della *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Un'interfaccia intuitiva (*Earth Viewer*) e semplice permette il passaggio continuo tra una foto e un'altra, assicurando anche il cambio della scala, dell'orientamento e del grado di dettaglio. Per gli utenti più specializzati, comunque, è possibile aggiungere degli strumenti personalizzati e integrare altri dati con il *framework* di *Google Earth*¹⁴⁷. Il programma, pertanto, rappresenta perfettamente una nuova classe di servizi nati e cresciuti su concetti molto diversi rispetto a quelli che favorirono la nascita della disciplina. Lo sviluppo di nuove applicazioni cartografiche è frutto della compresenza di numerosi fattori tecnici e politici. Da un lato, il costante miglioramento e diffusione di dati satellitari con alta risoluzione, dall'altro politiche che hanno incentivato la circolazione di collezioni di *imagery*, la disponibilità di servizi per la navigazione in rete (*tablet* e *smartphone*) e la crescente migrazione verso *devices* mobili o palmari. Naturalmente, all'interno di questa nuova cornice l'archeologia rappresenta soltanto un piccolissimo settore. Si pensi, soltanto per citare i settori maggiormente influenzati dal *public remote sensing*, ai sistemi di sicurezza e di 'risposta all'emergenza' applicati sia a livello nazionale

¹⁴³CAMPBELL-WYNNE 2011, p. 17.

¹⁴⁴L'azienda americana è una *operated company* della CIA.

¹⁴⁵Michael Jones, CTO del gruppo di Google Earth, ha definito così il programma: «*the GIS for the 5.999999 billion people of the world's 6 billion population who don't know or care what GIS is*».

¹⁴⁶BECK 2006.

¹⁴⁷Non a caso sono disponibili tre diverse versioni del programma: dalla versione base, a quella *Plus* e *Pro*. Le ultime due sono a pagamento.

che regionale e locale¹⁴⁸, alle politiche di pianificazione e gestione del territorio, alla gestione dei mezzi di trasporto¹⁴⁹. La valenza dell'aggettivo *public*, a cui si faceva riferimento prima, si può leggere anche sotto un'altra lente, ovvero in relazione all'impiego pratico del *remote sensing* nel campo della *public health*¹⁵⁰, la sanità pubblica, o della *public safety*, ovvero quella che noi chiameremmo la sicurezza nazionale.

Ritornando al nostro campo di interesse, l'impiego della tecnologia di *Google Earth* ha aperto un filone di ricerca su cui molto si è scritto nel corso dell'ultimo decennio¹⁵¹. Il dato che, almeno a parer nostro, ci sembra da sottolineare è l'impiego del programma suddetto in nazioni diverse dai paesi occidentali; in sostanza, in contesti ambientali e politici molto difficili, come l'Arabia Saudita, la Birmania, il Vietnam o diversi paesi africani, *Google Earth* supplisce alla mancanza di supporti tecnici. Si tratta, infatti, di contesti in cui non risulta sempre facile entrare in possesso di cartografia tematica, foto aeree oblique o verticali e di altri utilissimi strumenti. L'applicazione fornisce in maniera totalmente gratuita, dati, costantemente aggiornati, e spunti dai quali è possibile far iniziare analisi sullo stato di conservazione dei beni culturali, sulla loro integrità¹⁵² o sviluppare progetti di scavo vero e proprio¹⁵³. Noti sono, per esempio, i successi di indagini portate avanti in Occidente.

L'esempio maggiormente citato in bibliografia è il lavoro condotto in territorio francese da Scott Madry, che ha portato all'identificazione di un centinaio di siti archeologici, di cui circa uno su quattro non era presente in bibliografia¹⁵⁴.

Al di là di tali casi specifici, avendo a disposizione specifica cartografia tematica, *Google Earth*

¹⁴⁸Innovativo l'approccio, in COSTANTINO *et al.* 2015, con il quale si è tentato di organizzare, all'interno di un sistema GIS, la macchina di sicurezza durante la festa, molto partecipata, di S. Agata, patrona della città di Catania.

¹⁴⁹Vedi RYERSON-ARONOFF 2010, pp. 213-228 per uno sguardo generale sulle applicazioni pratiche di tali tecnologie nei diversi campi. Interessante notare come gli autori analizzino il settore definendolo *geo-economy*. Limitatamente all'impatto di *Google Earth* nelle scienze sociali vedi GOODCHILD 2008, pp. 11-23.

¹⁵⁰BECK *et al.* 2000.

¹⁵¹In generale vedi SARRIS 2012; ROTHWELL 2011; ZUKERMAN 2011; BOUSMAN 2006; ULLMAN-GOROKHOVICH 2006; UR 2006, pp. 35-38;

¹⁵²Sul tema della lotta contro i trafficanti d'arte, gli scavi clandestini e la distruzione del patrimonio culturale si è fatto riferimento già nel primo paragrafo del capitolo. Citiamo due degli scritti di Neil Brodie, tra i massimi esponenti del settore, poiché direttamente in relazione con *Google Earth*, CONTRERAS-BRODIE 2010a, pp. 98-111; CONTRERAS-BRODIE 2010b, pp. 30-33. Per indicazioni bibliografiche più complete: <http://traffickingculture.org/data/data-google-earth/using-google-earth-to-identify-and-quantify-the-looting-of-archaeological-sites-bibliography/> (ultimo accesso 2/6/2017).

¹⁵³Per l'India THAKURIA *et al.* 2013, pp. 20-24; per l'Arabia Saudita KENNEDY-BISHOP 2011, pp. 1284-1293; per l'Afghanistan THOMAS *et al.* 2008, pp. 22-30.

¹⁵⁴MADRY 2007.

rimane uno strumento utilissimo poiché può comunque assolvere a numerose funzioni; grazie alla possibilità di poter consultare foto scattate in un arco cronologico abbastanza ampio (anche un decennio) esso favorisce uno studio diacronico del territorio. All'osservatore attento non risulta difficile notare le trasformazioni, più o meno significative, avvenute nel contesto ambientale di riferimento (per l'Italia purtroppo il più delle volte si nota un nettissimo aumento del consumo del suolo); inoltre, è perfetto per poter pianificare, senza spostarsi da casa, tutte quelle attività che precedono il controllo diretto sul campo.

Con l'affermazione di *Google Earth* siamo sostanzialmente arrivati, nel nostro breve viaggio iniziato con il principio del Novecento, alle disamina delle tendenze contemporanee. Siamo passati dai primi palloni frenanti ai voli di droni pilotati direttamente da "semplici" telefonini; se l'avvento del cristianesimo ha segnato un cambiamento così profondo nella società da far definire i secoli che vanno dal III al VII come *Age of Spirituality*¹⁵⁵, non ci sembra errato l'appellativo di *Age of Sensing*¹⁵⁶ coniato per connotare il mondo che stiamo vivendo.

Per completare la nostra analisi, rimangono, però, ancora da affrontare criticamente alcune tecnologie, che costituiscono alcune delle novità più rilevanti dell'ultimo periodo. Si tratta, per lo più, di sensori, di varia natura (termici, multispettrali, radar) che possono essere aviotrasportati (ALS in inglese cioè *Airborne Laser Scanning*). Per rendere più chiara l'esposizione si è scelto di analizzare, seppur brevemente, singolarmente i diversi argomenti. Naturalmente, mancheranno quelle valutazioni conclusive sull'apporto fornito al progresso degli studi archeologici poiché il ciclo d'impiego non è ancora concluso ma, anzi, in molti casi è appena iniziato.

2.1.2.3 RADAR

Le applicazioni di immagini radar nel settore archeologico sono state molteplici e abbastanza fruttuose. Nonostante si tratti di una tecnica relativamente recente, la possibilità, quasi unica, di oltrepassare le nuvole, le precipitazioni atmosferiche non abbondanti, e la vegetazione ha reso il sistema radar uno strumento valido per tutte le stagioni¹⁵⁷. In particolare, come messo in risalto nel paragrafo precedente, tale specifica caratteristica permette di superare le principali difficoltà con cui si devono continuamente confrontare le ricerche archeologiche condotte sia in ambienti tropicali o

¹⁵⁵WEITZMANN 1979.

¹⁵⁶FORTE-CAMPANA 2016.

¹⁵⁷VERSTAPPEN 1977; più recentemente LILLESAND-KIEFER 2000. Letteralmente l'espressione impiegata in bibliografia è quella di *all wether technique*.

subtropicali sia in quelli aridi; nei primi, infatti, il principale impedimento è rappresentato dallo spesso strato di nuvole che impedisce l'impiego di immagini ottiche; nei secondi, il fascio radar è capace di penetrare fin sotto i due metri attraversando sedimenti fini e granulosi, fornendo così un quadro delle caratteristiche specifiche di ciò che sta sotto la superficie¹⁵⁸. Gli archeologi hanno impiegato le immagini radar in contesti che vanno dalla foresta pluviali¹⁵⁹ al deserto del Gobi e con scopi diversi. Per esempio, eccellenti risultati sono stati ottenuti con ricerche finalizzate alla salvaguardia dei monumenti archeologici, alla scoperta di nuovi siti, o, per meglio dire, di città perdute nel deserto¹⁶⁰. Non sono mancati lavori in cui il radar è stato impiegato per sviluppare filoni e tematiche propri dell'archeologia dei paesaggi¹⁶¹, come le ricostruzioni di contesti ambientali (nello specifico si parla di paleo-idrologia). Il sensore radar, infatti, ottiene una risposta molto forte quando il fascio colpisce oggetti composti da conduttori; pertanto, in presenza di una superficie molto umida la risposta sarà maggiore rispetto a quanto avviene con una asciutta. Questo è il motivo per il quale la tecnologia radar è il migliore strumento per indagare i siti, anche preistorici, sorti in vicinanza nelle vicinanze dei corsi d'acqua, anche di quelli scomparsi nel tempo¹⁶². Tra le altre applicazioni, la possibilità di generare sistemi DEM (*Digital elevation Model*) da immagini radar attraverso l'impiego di due tecniche diverse quali l'intersezione di coppie stereo¹⁶³ e l'interferometria¹⁶⁴.

Le principali difficoltà che limitano l'applicazione nel settore archeologico stanno nella complessa esperienza necessaria per la lettura di tali immagini, nel costo relativamente alto e nella bassa risoluzione delle immagini provenienti da piattaforme satellitari.

L'ennesima fondamentale svolta nel campo telerilevamento attivo e a microonde è avvenuta circa un decennio fa, con il lancio delle piattaforme Cosmo Sky Med nel 2007¹⁶⁵. Si tratta del più grande

¹⁵⁸ABDELSALAM *et al.* 2000; HOLCOMB-SHINGIRAY 2007, p. 12 con bibliografia.

¹⁵⁹Sulle indagini condotte nella penisola messicana dello Yucatan vedi POPE-DAHLIN 1993; per l'area di Angkor EVANS *et al.* 2007.

¹⁶⁰BLOM *et al.* 1997 per l'individuazione dei tracciati carovanieri e dei resti della città di Ubar, in Oman, definita l'"Atlantide della sabbia". Per ultimo vedi BLOM *et al.* 2007.

¹⁶¹Per ultimo TAPETE-CIGNA 2017.

¹⁶²HOLCOMB 2001.

¹⁶³La tecnica è identica a quella usata per le immagini ottiche, sebbene il risultato prodotto da queste ultime sia molto più accurato.

¹⁶⁴Potenzialità e limiti descritti in MADSEN-ZEBKER 1998.

¹⁶⁵<http://www.asi.it/it/attivita/osservare-la-terra/osservazione-della-terra/cosmo-skymed> (ultimo accesso 4/6/2017).

e ambizioso progetto italiano per l'osservazione della Terra; la piattaforma consta di 4 satelliti, l'ultimo messo in orbita nel 2010, in grado di osservare e scrutare ogni angolo del pianeta notte e giorno, indipendentemente dalla presenza di nuvole o perturbazioni. Il programma è in grado di produrre quasi duemila immagini radar al giorno, riuscendo a mettere a fuoco, a seconda dell'obiettivo, o aree assai limitate, con una risoluzione al suolo sub-metrica, o regioni ampie anche diverse centinaia di chilometri. In tale maniera, è stata superata una delle proverbiali criticità a cui facevamo riferimento prima, la bassa risoluzione spaziale. Rimane, comunque, la necessità di formare competenze tecniche specifiche per la lettura e l'elaborazione delle immagini, assai complesse da interpretare, e di sperimentare nuovi protocolli¹⁶⁶ per sviluppare fruttuose applicazioni in campo archeologico dei dati da SAR¹⁶⁷ con alta risoluzione. Le prime indagini condotte sfruttando il potenziale dei dati da SAR *X-band* sembrerebbero soddisfare le attese¹⁶⁸.

2.1.2.4 LIDAR

Il termine Lidar è un acronimo per *Light Detection and Ranging*¹⁶⁹, una tecnologia attiva in grado di calcolare le distanze tra oggetti o le superfici usando impulsi radar (e per questo assimilabile al Radar). I sistemi Lidar producono due *datasets*: uno, tramite GPS, fornisce la posizione precisa e l'orientamento della piattaforma, l'altro, tramite INS (*Inertial Navigation System*), il *range* dagli oggetti osservati. Quest'ultimo è ottenuto tramite misurazioni ripetute ed è il risultato della differenza di tempo tra l'emissione del laser e il ricevimento della riflessione. Ciò che rende tale sistema molto apprezzato e assai utile per il lavoro dell'archeologo sono, principalmente, due fattori; da un lato, l'accuratezza della risoluzione spaziale, con errori che si collocano nel raggio di 10 cm o meno; dall'altro, il vantaggio di avere immediatamente un *rendering* di ogni punto misurato nella terza dimensione grazie all'impiego contemporaneo dei due sistemi sopra menzionati, il GPS e l'INS. Infatti, con il progresso tecnologico, il sensore, montato su aeroplano o elicottero, riesce a inviare non diverse migliaia di impulsi come era in precedenza, ma centinaia di migliaia al secondo; ognuno di essi può essere riflesso una o più volte da oggetti e superfici, quali edifici, alberi, superfici. In un secondo momento, la nuvola di punti che si viene a formare è

¹⁶⁶Il tema è ampiamente sviscerato in LASAPONARA-MASINI 2013.

¹⁶⁷Acronimo per *Synthetic Aperture Radar*, ovvero Radar ad Apertura Sintetica.

¹⁶⁸CHEN *et al.* 2015; JIANG *et al.* 2017.

¹⁶⁹È impiegato in letteratura come sinonimo anche l'acronimo ALS, cioè *Airborne Laser Scanning*.

elaborata da diversi algoritmi¹⁷⁰, che prendono in considerazione fattori quali la distribuzione e l'intensità del ritorno del segnale, distinguendo così vegetazione, strutture umane o superfici con acqua. Come anticipato, il prodotto finale di questo complesso *data processing* è l'elaborazione di un DEM e poi DTM, generalmente in formato raster¹⁷¹. Il Lidar, inoltre, con la sua capacità di penetrare e andare oltre la vegetazione, rappresenta un validissimo strumento in grado di fornirci la possibilità di osservare e studiare le trasformazioni in chiave diacronica dell'ambiente naturale e la presenza di siti. I DTM da Lidar, infatti, cancellano la vegetazione, rada o lussureggiante che sia, sottolineando tracce o rilievi volumetrici altrimenti difficilmente leggibili con gli strumenti tradizionali.

Nonostante sia una tecnologia applicabile in tutti i contesti territoriali e con molteplici scopi, essa è entrata pienamente nel mondo dell'archeologia solamente da circa un decennio, sebbene in altri settori fosse impiegata già alla fine del secolo scorso. Nello specifico, gli archeologi fanno uso di tre diverse tipologie di Lidar: il c.d. *airborne* è impiegato soprattutto da chi si occupa di archeologia dei paesaggi, poiché fornisce preziose mappature della superficie; terrestre per scansioni più dettagliate di monumenti e/o edifici¹⁷², o anche per ricostruire stratigrafie archeologiche in presenza di uno scavo; infine, batimetrico per indagini subacquee. In campo archeologico, le principali difficoltà dell'impiego di tecnologia ALS sono collegate alle fasi di *data processing* e di analisi, quando è necessario ridurre le emissioni o commettere errori per non cancellare le tracce archeologiche quali muri, fosse¹⁷³. L'applicabilità e l'impiego dei DTM da Lidar in archeologia dipende dalla capacità di rimuovere dalla grande nuvola di punti quelli non a terra¹⁷⁴.

Nella letteratura scientifica un posto di primo piano è assegnato al lavoro di Devereux¹⁷⁵. Egli con la sua équipe mise in luce, per la prima volta e in maniera assai chiara, il potenziale archeologico dei dati Lidar, analizzando, nello specifico, un sito fortificato databile all'Età del Ferro. Successivamente, molte sono state le applicazioni di tale tecnologia. In particolare, grande attenzione è stata data alla visualizzazione di DTM di contesti collinari ottenuti soprattutto tramite

¹⁷⁰Sugli algoritmi DONEUS-BRIESE 2006; SITHOLE-VOSSSELMAN 2004.

¹⁷¹Sulle modalità di costruzione di un DEM e DTM da Lidar vedi KOKALJ-HESSE 2015; MASINI *et al.* 2011 p. 266-269.

¹⁷²CORNS-SHAW 2008.

¹⁷³DONEUS *et al.* 2008.

¹⁷⁴Sul tipico *workflow* (*data acquisition, classification, visualization*) utilizzato per processare i dati LiDAR vedi OPITZ 2016.

¹⁷⁵DEVEREUX *et al.* 2005.

metodo *hill-shading*¹⁷⁶, sfruttando cioè le ombre, proprio come avviene con le fotografie aeree tradizionali. Altrettanto importanti i risultati conseguiti nello studio dei paesaggi antichi e, specialmente, sugli antichi sistemi agricoli, filone a cui si sono dedicati molti ricercatori di formazione americana¹⁷⁷. Anche in Italia, dove forte e diffusa è la tradizione di studi di archeologia del paesaggio, l'impiego della tecnologia LiDAR ha colpito nel segno. Tra i primi progetti a caratterizzarsi per un suo utilizzo sistematico citiamo quello coordinato da Brogiolo sui paesaggi medievali del Trentino¹⁷⁸, in cui «*l'applicazione di questi metodi (LiDAR e GIS nello specifico) in Trentino ha facilitato il controllo delle relazioni diacroniche e sincroniche tra i diversi elementi per un approccio dinamico alla realtà economica e socio-culturale del passato*¹⁷⁹». Approcci simili sono ormai abbastanza diffusi in Italia e applicati con successo in ambienti e per epoche assai diversi¹⁸⁰. Inoltre, da citare sono gli apporti di carattere metodologico e dall'alto contenuto tecnico del gruppo del CNR, incentrati specialmente sul processo di estrazione, distinzione e catalogazione dell'elemento archeologico nei DTM da Lidar¹⁸¹.

Gli olandesi, invece, in linea con la loro lunga tradizione di studi sulla creazione dei modelli predittivi in archeologia, hanno impiegato i dati Lidar come strumento ausiliario ai fini della ricostruzione del popolamento di alcune regioni del paese durante l'Olocene¹⁸².

Infine, concludiamo questa brevissima disamina con il progetto ArcLand, finanziato con oltre due milioni e mezzo di euro dall'Unione Europea tra il 2007-2013. L'esperienza, giunta a conclusione nel 2015, ha avuto come obiettivo la promozione delle tecniche del *remote sensing* e le principali applicazioni nel campo dei beni culturali in un pubblico non particolarmente specializzato un maggiore grado di consapevolezza; il finanziamento è servito anche a supportarne l'impiego in

¹⁷⁶Soprattutto DEVEREUX *et al.* 2008.

¹⁷⁷CHASE *et al.* 2017, pp. 95-96 con ampia bibliografia. Rimane comunque bassa, soprattutto se confrontata con altri stati quali l'Inghilterra od i Paesi Bassi, la percentuale di lavori di matrice statunitense in cui è stata impiegata tecnologia LiDAR.

¹⁷⁸COLECCHIA *et al.* 2011.

¹⁷⁹*Ibidem* p. 245.

¹⁸⁰DANESE *et al.* 2009 per un raro focus su siti medievali abbandonati in Basilicata; sempre per il Sud Italia, con impiego dei LiDAR FW, vedi LASAPONARA *et al.* 2010a; LASAPONARA *et al.* 2010b; VINCI-BERNARDINI 2017 per l'area di Trieste in epoca preistorica; del progetto *Harvesting Memories* per la Sicilia centrale sono stati presentati i principi guida alla IV *International Landscape Archaeology Conference* (LAC 2016) in CASTRORAO BARBA *et al.* 2016; CASTRORAO BARBA *et al.* cds; i lavori dell'*equipe* foggiana di Volpe per la Daunia VOLPE-DE FELICE 2014 con bibliografia.

¹⁸¹COLUZZI *et al.* 2011.

¹⁸²VAN ZIJVERDEN-LAAN 2003.

alcune regioni dell'Europa, soprattutto nella parte settentrionale e orientale, a promuovere progetti e azioni dal carattere fortemente interdisciplinare. Tra i prodotti finali, anche un bel volume¹⁸³ in cui è possibile leggere gli ultimi aggiornamenti, anche di carattere metodologico, sull'utilizzo del LiDAR nel continente.

2.1.2.5 Applicazioni archeologiche di sensori termici

La termografia è quella particolare tecnica che permette, tramite l'elaborazione di immagini provenienti da sensori che operano nella regione dell'Infrarosso Termico, l'acquisizione a distanza di una serie di informazioni. L'impiego delle bande spettrali dell'Infrarosso in combinazione con le più recenti tecnologie del telerilevamento ha permesso di sfruttare, in molteplici campi e numerosi successi, le potenzialità che soggiacevano a tale strumento. Come sempre accade, anche stavolta il primo forte impulso alla sua implementazione si deve dal mondo militare, dove fu sviluppato il primo sensore nell'immediato secondo dopoguerra¹⁸⁴. Nonostante le origini, oggi il campo d'applicazione è molto ampio e spazia dal mondo dell'ingegneria civile a quello dei beni culturali. R. Atkinson è comunemente ritenuto il primo ad aver sviluppato un metodo non invasivo per ottenere, tramite lo studio della resistività termica del suolo, una cartografia di dettaglio di un sito archeologico.¹⁸⁵

Senza scendere eccessivamente nei dettagli, il sensore termico rientra nella categoria dei sensori passivi, poiché misura la radiazione emessa dall'oggetto osservato. Le camere termiche misurano, infatti, il TIR, acronimo inglese per *Thermal Infrared Radiation*. Si tratta di un tipo di onda elettromagnetica con una lunghezza d'onda maggiore (0.78-1000 μm) rispetto a quella del visibile (0.4-0.78 μm). Lo spettro dell'Infrarosso si suddivide ulteriormente in tre fasce: il vicino infrarosso (NIR cioè *Near InfraRed* tra 0.78-2.5 μm), il medio infrarosso (MIR 2.5-10 μm) e lontano infrarosso (FIR 10-1000 μm). Comunemente, quando ci si riferisce alle radiazioni termiche si fa riferimento al medio e lontano; si tratta di quel *range* all'interno del quale è possibile misurare la temperatura senza subire le interferenze provenienti dalla temperatura dell'aria dell'ambiente. La temperatura del suolo, infatti, dipende sia dalle radiazioni solari sia dagli scambi con l'atmosfera. Il principio che sta alla base del funzionamento dei sensori termici in archeologia è l'esistenza di una differenza misurabile tra le caratteristiche termiche dei resti archeologici sepolti e l'ambiente in cui

¹⁸³ POSLUSCHNY 2015, sezione dedicata ai LiDAR pp. 40-78.

¹⁸⁴ ALLISON 2007.

¹⁸⁵ ATKINSON 1946.

essi sono celati¹⁸⁶. Se si conoscono le proprietà di assorbimento ed emissione termica o di inerzia dei componenti minerali, misurando le loro variazioni termiche, sarà possibile rintracciare delle anomalie archeologicamente rilevanti nel sottosuolo¹⁸⁷. Pertanto, caratteristiche quali la conduttività, l'inerzia termica e la capacità di assorbimento sono fattori primari nell'influenzare il comportamento dei materiali. Numerosi sono gli studi in letteratura in cui è stata indagata la relazione tra tali variabili e il loro manifestarsi in contesti archeologici. Citiamo, sebbene quasi esclusivamente in francese, la produzione scientifica di Perisset e Tabbagh¹⁸⁸ che rappresenta un punto fermo per l'applicazione della termografia aerea in archeologia. Tra i diversi punti trattati dai due autori, segnaliamo come, a causa delle differenti proprietà, gli elementi archeologici non sempre rilasciano dei segnali termici e quindi, a volte, si nascondono. Per tale motivo, sostengono ancora i ricercatori, non è consigliabile effettuare le misurazioni dopo un lungo periodo di tempo stabile, perché le temperature dei materiali tendono a livellarsi e le differenze sono pertanto minime. Altra complicazione può sorgere in presenza di vegetazione fitta; le piante, infatti, agiscono come uno schermo e possono, di fatto, bloccare o filtrare la risposta termica del suolo e delle eventuali strutture archeologiche¹⁸⁹. La termografia aerea di un'area ricca di vegetazione costituisce solo un indice indiretto di misurazione della temperatura del suolo e i risultati difficilmente saranno così chiari come quelli ottenuti in una zona arida o con vegetazione scarsa. Qualche anno più tardi, gli stessi studiosi sono tornati sulla materia, chiarendo e approfondendo alcune tematiche con l'aiuto di Hesse e Scollar. Il risultato è l'ottima sintesi sull'applicazione della termografia archeologica presente nel volume *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*¹⁹⁰. Tra i punti in oggetto della nuova analisi, spicca la trattazione dell'evidenza termica dei micro-rilievi. I dati presentati dagli autori permettono di chiarire quanti e quali siano le varianti e le complessità che limitano o enfatizzano la visibilità dell'elemento archeologico nelle rilevazioni termiche¹⁹¹. Per risolverle, si è soliti acquisire le immagini nei momenti, come al mattino o all'imbrunire, in cui le differenze sono

¹⁸⁶EPPELBAUM 2009.

¹⁸⁷Sui parametri termali vedi ORLANDO-VILLA 2011, pp. 158-163.

¹⁸⁸PÉRISSET 1980; TABBAGH 1979; PÉRISSET-TABBAGH 1981 in inglese.

¹⁸⁹*Ibidem*, p. 169: «In the presence of vegetation one does not measure the ground surface of the plants, which is controlled by plant transpiration».

¹⁹⁰SCOLLAR *et al.* 1990.

¹⁹¹*Ibidem* pp. 593-611.

più accentuate¹⁹².

Sebbene il potenziale archeologico sia molto chiaro, non sono così tanti i lavori in letteratura dedicati appositamente all'archeologia, anche dopo i magistrali lavori di Périsset e Tabbagh¹⁹³. Le cause del limitato impiego nel nostro campo sono da ascrivere a molteplici fattori; da un lato, la bassa risoluzione spaziale dei satelliti Landsat o ASTER¹⁹⁴ (*Advanced spaceborne thermal Emission and Reflection Radiometer*), oscillante tra i quindici e i novanta metri o i cinque m del TIMS, utilizzato per documentare il già citato sistema viario nel Chaco Canyon e in Costa Rica¹⁹⁵; dall'altro, la scarsa accessibilità della tecnologia, soprattutto a causa dei costi di acquisizione delle immagini e delle necessità di poter disporre di un veicolo ben equipaggiato con una camera termica. A modificare, almeno in parte, il quadro appena trattato, l'emergere e la crescita dei c.d. *Unmanned Aerial Vehicles (UAV)*. Tramite tali apparecchi, per lo più droni¹⁹⁶, gli archeologi hanno la possibilità di raccogliere dati scegliendo in piena autonomia diversi fattori: l'altitudine del volo, l'orientamento della camera, il momento del giorno e le condizioni atmosferiche. Anche il mercato delle camere termiche ha contribuito alla crescita del settore; i sensori sono migliorati sia nella risoluzione spaziale (quindi nei pixel dell'immagine) che nella sensibilità nel registrare l'impulso termico, riducendo allo stesso tempo sia il costo¹⁹⁷ sia la dimensione. Grazie al progresso tecnologico avvenuto negli ultimi anni, la termografia aerea tramite UAV è stata impiegata con successo per finalità diverse, quali lo studio particolareggiato di un sito o la conduzione di rapide prospezione archeo-geofisiche¹⁹⁸ su larga scala¹⁹⁹.

2.1.2.6 Tecniche per l'acquisizione di dati multispettrali e iperspettrali

Nelle pagine precedenti abbiamo, seppur di passaggio, parlato di immagini multispettrali, di

¹⁹²TABBAGH 1977.

¹⁹³Per una sintesi bibliografica COOL 2015, pp. 4-16.

¹⁹⁴<https://asterweb.jpl.nasa.gov> (ultimo accesso 5/6/2017). Sull'impiego di dati ASTER vedi MENZE-UR 2007.

¹⁹⁵SHEETS-SEVER 1991.

¹⁹⁶Sull'impiego dei droni archeologia ottima la sintesi di VERHOEVEN 2009, pp. 236-237.

¹⁹⁷Una buona camera termica, utilizzabile per finalità archeologiche, costa circa qualche migliaio di euro.

¹⁹⁸Sul rapporto sempre più stretto tra prospezioni geofisiche e indagine archeologica vedi il bel manuale di CAMPANA-PIRO 2009; SCHMIDT 2001.

¹⁹⁹Vedi il lavoro di CASANA *et al.* 2014.

moltiplicazioni di bande, di risoluzioni spettrali senza aver fornito un valido inquadramento scientifico. Riteniamo, pertanto, che sia giunto il momento giusto.

Le immagini multispettrali sono il prodotto digitale di sistemi di telerilevamento che, simultaneamente, misurano (catturano) nello spazio e nello spettro le radiazioni elettromagnetiche emesse o riflesse dalla superficie terrestre. La luce a noi visibile rappresenta la forma più familiare di radiazione ma, in realtà, costituisce solo una piccolissima parte dell'intero spettro. I sensori, definiti come spettrometri, reagiscono alla radiazione emessa, per esempio quella solare, in differenti porzioni del campo elettromagnetico e producono così un'immagine. L'efficienza dello strumento di rilevamento è dettata, quindi, da fattori quali il numero di bande in cui esso è in grado di operare e la capacità di determinare il più accuratamente possibile la firma spettrale. Per firma spettrale intendiamo la quantità di radiazione riflessa, assorbita o emessa da un oggetto, ed essa dipende da caratteristiche quali la composizione chimica, lo stato fisico, la temperatura; essa, inoltre, varia al variare della lunghezza d'onda e, pertanto, è rappresentata tramite un grafico (una curva). Naturalmente, più precisa sarà la definizione della firma spettrale più facile la caratterizzazione dei materiali.

I vantaggi insiti nell'analisi multispettrale sono spesso meglio compresi attraverso il ricorso a un gustoso esempio. Per descrivere un frutto e distinguere un limone da un kiwi utilizziamo diversi parametri quali il peso, il colore, il diametro, l'acidità o la dolcezza. Chiaramente se ci limitassimo all'impiego di un solo parametro distintivo andremmo maggiormente in difficoltà; il peso dei due frutti, all'apparenza così diversi, in qualche caso può corrispondere, e lo stesso può avvenire con il diametro. Il ricorso ad un numero maggiore di parametri, per esempio il colore e la concentrazione di zucchero, cancella ogni possibile incertezza e ogni possibile travisamento. In sostanza, aumentare il numero delle variabili rende più facile la distinzione tra i diversi elementi. Aumentare il numero di bande disponibili facilita, pertanto, il riconoscimento delle *features* e, in generale, delle caratteristiche delle superfici.

I progressi tecnologici hanno permesso il passaggio, nel giro di pochi decenni, da sensori su piattaforme orbitanti che operavano su poche bande spettrali a sensori aviotrasportati in grado di lavorare su oltre un centinaio di bande e con risoluzioni spettrali molto basse, anche di 10 micron. Sono comunemente definiti sensori iperspettrali tutti quei sensori che operano su un numero di bande maggiore di cinquanta e con larghezza di banda inferiore ai dieci nm²⁰⁰. L'impiego di strumenti così precisi, unitamente al miglioramento della risoluzione spaziale, ha reso il telerilevamento multi e iperspettrale una delle tecniche non invasive più adottate dagli archeologici

²⁰⁰CAVALLI-PIGNATTI, 2009 p. 161.

sia per la ricerca di nuovi siti sia per il controllo e monitoraggio del patrimonio culturale in generale²⁰¹.

Il sensore MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) è, senza alcun dubbio, il sistema di scanner aviotrasportato più interessante tra i sensori iperspettrali. Esso consiste in quattro diversi spettrometri che catturano le radiazioni riflesse dalla superficie nello spettro del visibile, nel NIR, nel medio infrarosso e nell'infrarosso termico, per un totale di 102 bande. Nella fase che precede l'analisi dei dati, le immagini necessitano di correzioni per errori di tipo geometrico, dettati soprattutto dal movimento del veicolo, e radiometrico, causati dall'atmosfera e dalle caratteristiche del sensore²⁰².



Tipo	Spettrometro ad immagine
Modalità	Whisk-broom
Numero canali	102 bande spettrali
Copertura spettrale	20 bande da 0.43 a 0.83 μ m
	8 bande da 1.15 a 1.55 μ m
	64 bande da 1.985 a 2.479 μ m
	10 bande da 8.21 a 12.7 μ m
FOV	71.059 °
IFOV	2.0 mrad
Campionamento	1.64 mrad
Digitalizzazione	12 bit

Figura 5. Caratteristiche del sensore MIVIS.

Le prime sperimentazioni del sistema MIVIS sono datate al 1994, anno in cui fu avviato il progetto LARA dal CNR²⁰³. Inizialmente, le straordinarie potenzialità del sensore furono testate in campi applicativi legati soprattutto alle scienze della terra, allo studio della vegetazione²⁰⁴ o alla pianificazione ambientale²⁰⁵, settori in cui, ancora adesso, il MIVIS ha fornito grandi vantaggi, permettendo la creazione di carte tematiche del suolo²⁰⁶.

²⁰¹SALERNO *et al.* 2014.

²⁰²Su una nuova procedura ormai validata vedi BASSANI 2006.

²⁰³BIANCHI *et al.* 1996a.

²⁰⁴Impiegato, per esempio, nel riconoscimento delle singole specie forestali.

²⁰⁵BIANCHI *et al.* 1996b.

²⁰⁶Per esempio MAURO-DI LULLO 2005 per Friuli Venezia Giulia.

La Sicilia²⁰⁷, con il parco archeologico di Selinunte²⁰⁸, la Villa del Casale²⁰⁹, Mozia e *Halaesa*²¹⁰, è stata la prima regione in cui sono state condotte ricerche con finalità prettamente archeologiche²¹¹. Le immagini iperspettrali sono state usate in sostituzione o a completamento della fotografia aerea per la ricerca di anomalie archeologiche, o, in presenza di dati da prospezione geofisica, come supporto e conferma di quanto già individuato²¹². A Selinunte, per esempio, l'obiettivo era l'individuazione di strutture lineari coerenti con l'impianto urbanistico della città greca²¹³; in un secondo momento, dopo aver verificato la bontà del sistema, si è passati all'isola di Mozia e ad Alesa, dove «*la metodologia adottata può dunque favorire non solo l'impostazione di campagne di scavo, ma anche una puntuale e corretta analisi del 'rischio archeologico'*²¹⁴». I dati MIVIS sono stati inseriti all'interno di un GIS in cui sono confluiti anche foto aeree, tradizionali apparati cartografici

Per condurre tali indagini, le bande più utilizzate sono le prime, cioè quelle comprese tra il visibile e il NIR e le ultime, quelle legate invece all'infrarosso termico. Tale scelta è figlia della maggiore facilità con cui possono emergere anomalie imputabili alla variazione dell'umidità e della vegetazione, causata, come abbiamo visto nei paragrafi precedenti, da fattori quali l'inerzia termica e la conduttività termica.

Nella valutazione complessiva sui vantaggi, notevoli, dell'impiego del MIVIS in campo archeologico pesa molto la spesa (oltre i 20 mila euro) abbastanza alta necessaria per organizzare un volo con il sensore iperspettrale. Non sorprende, pertanto, come le esperienze italiane siano limitate nel numero, e i lavori in letteratura siano opera di pochi gruppi. Tra essi, un ruolo di primo piano è quello dell'*equipe* del CNR (sede a Potenza) e dall'Università di Palermo. Inoltre, ancora pochi sono i contributi di carattere metodologico, specialmente quelli dedicati alla risoluzioni di alcune delle

²⁰⁷BIANCHI *et al.* 2000.

²⁰⁸CAVALLI *et al.* 1998; BIANCHI ET *et al.* 1997a; COLOSI *et al.* 1995.

²⁰⁹EMMOLO *et al.* 2004.

²¹⁰BELVEDERE *et al.* 2004, pp. 208-213. *Halesa Arconidea* è il nome della città greca posta sulla sponde tirrenica della Sicilia, adesso situata nei pressi del moderno comune messinese di Tusa.

²¹¹BIANCHI *et al.* 1994.

²¹²CAVALLI *et al.* 2007. Per esperienze maturate al di fuori della Sicilia vedi CAVALLI *et al.* 2005 per la Daunia; TRAVIGLIA 2005 per Aquileia Per il Vicino Oriente SAVAGE *et al.* 2012. In generale vedi BELVEDERE *et al.* 2001.

²¹³BAGGIO *et al.* 1998.

²¹⁴BELVEDERE *et al.* 2004, p. 213.

criticità che limitano l'impiego di immagini MIVIS; tra le poche eccezioni, il lavoro di Traviglia²¹⁵ riempie proprio questa lacuna. L'autore, infatti, passa in rassegna alcuni dei punti deboli quali la non elevata risoluzione spaziale (3x3 o 4x4 m per pixel) che, pertanto, induce ad indagini di media scala volte alla individuazione di canali e strade piuttosto che di singole strutture, la necessaria correzione alla distorsione, l'eliminazione del 'rumore' che contraddistingue le immagini MIVIS. Fatte salve tali considerazioni, le informazioni spettrali ottenibili dai sensori iperspettrali costituiscono uno straordinario strumento per la ricerca archeologica, soprattutto quando sono integrati con altri dati provenienti di differente origine.

2.1.2.7 La *Geographic Wave* nelle *Digital Humanities*

All'interno delle *Digital Humanities* i settori del *mapping*, della visualizzazione geo-temporale e del *locative storytelling* sono cresciuti in maniera esponenziale negli ultimi anni. Tale sviluppo è stato favorito dalla facilità con cui sono reperibili gli strumenti GPS, dalla semplificazione delle tecniche informatiche richieste per la creazione di mappe e dall'ampia disponibilità di cartografia storica e dataset geografici. Tale fenomeno è stato definito in letteratura facendo ricorso a delle nuove espressioni quali *spatial humanities* o *geo-humanities*²¹⁶. Le tecnologie geografiche stanno, infatti, radicalmente cambiando il volto stesso della cultura umanista, sviluppando nuove domande, nuove metodologie e producendo, quindi, una nuova conoscenza²¹⁷. Non sorprende come un buon numero di progetti, finanziati e condotti principalmente negli Stati Uniti, in Australia, e in Europa (soprattutto nel Regno Unito), abbiano dato prova di come i GIS possano essere impiegati con ottimi risultati anche per ricerche di tipo testuale²¹⁸. La creazione di atlanti digitali letterari²¹⁹ ha certamente facilitato l'emergere di una nuova forma di contestualizzazione, soprattutto nello spazio, della resa del dato letterario. Basti pensare, per citare solo un esempio, a *Perseus*, sito internet che fornisce una serie d'informazioni soprattutto legate al mondo greco classico con mappe e *timelines*.

²¹⁵TRAVIGLIA 2006.

²¹⁶Per esempio GREGORY-GEDDES 2014, pp. 9-19; interessante, anche perché finanziato all'interno del VII Programma Quadro dall'European Research Council il *Mapping the Lakes project*, incentrato sulle opere e sui paesaggi vissuti e descritti da Thomas Grey e Samuel T. Coleridge, GREGORY *et al.* 2014.

²¹⁷GREGORY-ELL 2007; KNOWLES 2008.

²¹⁸Sulle *GeoHumanities* vedi MICHAEL *et al.* 2011.

²¹⁹Per esempio il *Literary Atlas of Europe and LITSCAPE.PT*, progetto in divenire dell'Istituto di Cartografia di Zurigo. L'intero *project* è consultabile all'indirizzo <http://www.literaturatlas.eu/?lang=en> (ultimo accesso 23/6/2017). Vedi anche PIATTI *et al.* 2008 (in lingua tedesca).

Da un punto di vista concettuale, spazio e tempo non sono vuoti contenitori o precostituite categorie; essi sono inserite all'interno di costruzioni e problemi concettuali che richiedono una molteplicità di approcci concorrenti al *mapping*. Al suo livello base, la mappa è una forma di visualizzazione che utilizza livelli di astrazione, una scala, un sistema di coordinate, una simbologia. Costruire delle mappe nelle *digital humanities* vuol dire tante cose: mappe sulla memoria, mappe concettuali e linguistiche, mappe con approccio *community-based*. Si è sviluppato un approccio non convenzionale (quindi non mimetico né positivista) che sta lavorando sulla nozione di *deep mapping*, dando vita ad esperienze che esaltano la navigazione empirica, forme di partecipazione collettiva²²⁰. Non si tratta delle semplici ricostruzioni del contesto ambientale in cui sono fiorite le antiche civiltà o di statiche rappresentazioni del passato. Ognuno dei nuovi approcci che stanno nascendo è un'istantanea di una nuova forma di conoscenza, un'ipotesi di superamento a vecchie teorie sotto forma di dinamiche geo-visualizzazioni. Inutile negare come servano ancora molti passi, soprattutto per la costruzione di un metodo che, seppur sperimentale, sia anche assai rigoroso. Serve la creazione di GIS qualitativi che siano in grado di approfondire gli approcci interpretativi umanistici rendendo possibile operazioni di *mapping* multifocali con segnalazioni di livelli di incertezza. Non ci possiamo esimere dal segnalare alcuni progetti come *HyperCities*²²¹, nato dall'intuizione iniziale di un professore di linguistica. Secondo l'idea degli autori, *HyperCities* costruisce uno strumento per il *thick mapping*²²² e per la creazione e visualizzazione di una narrativa geo-temporale che nasce dalle mappe storiche, dai dati GIS ed altri *data* geospaziali. L'Università della Virginia ha messo a punto *Neatline*²²³, *tool* interattivo utilizzabile per raccontare storie attraverso l'impiego di mappe, *timelines*...

²²⁰Un'esperienza di *community mapping* italiana in VOLPE-GOFFREDO 2014, pp. 43-46.

²²¹<http://www.hypercities.com> o PRESNER *et al.* 2014.

²²²Su cosa sia il *thick mapping* (espressione sostanzialmente intraducibile dato che *thick* è il termine inglese per l'aggettivo denso) ci viene incontro lo stesso *inventor*, Todd Presner, germanista e presidente del programma di *Digital Humanities* presso la UCLA: «*the processes of collecting, aggregating, and visualizing even more layers of geographic or place-specific data...(to)...embody temporal and historical dynamics through a multiplicity of layered narratives, sources, and even representational practices*» (*Ibidem*, p. 15).

²²³<http://neatline.org> (ultimo accesso 4/7/2017).

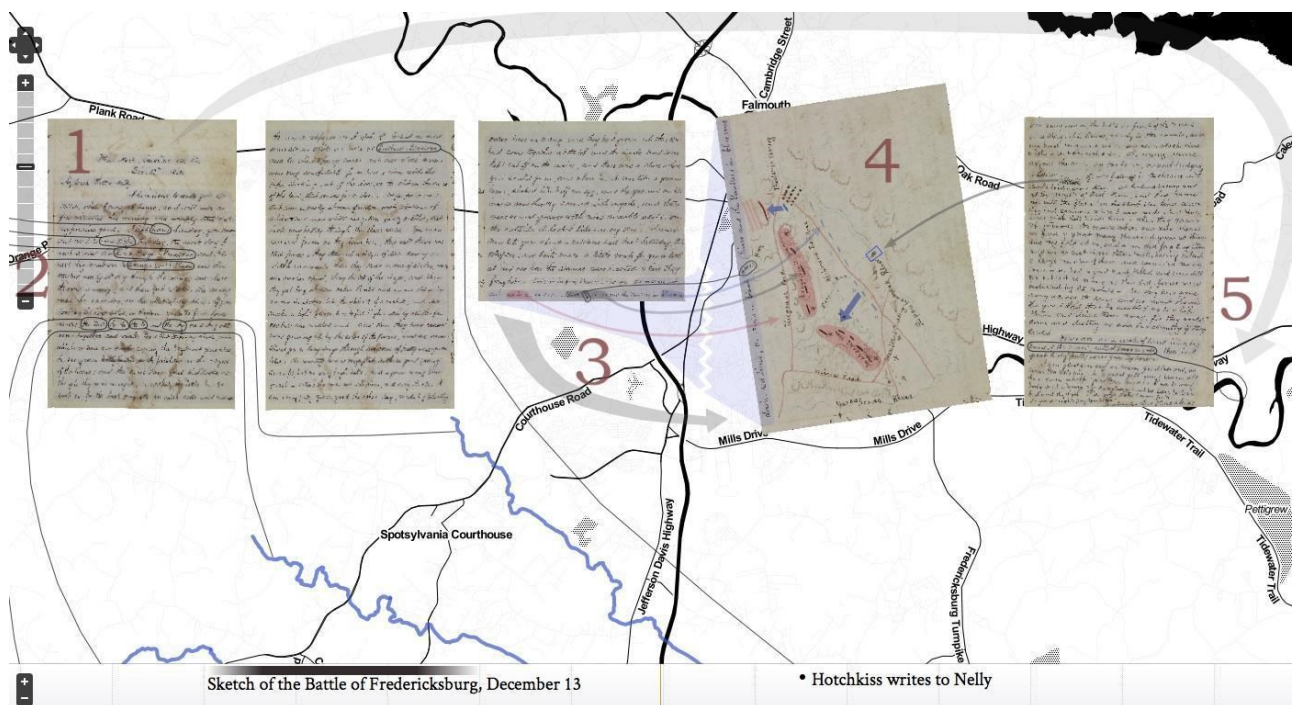


Figura 6. Un tipico progetto su Neatline: integrazione di cartografia e documenti scritti (nel caso specifico mappa sulla battaglia di Fredericksburg e lettere di un soldato cartografo).

Probabilmente, per sviluppare tali approcci, così innovativi, il campo più promettente è il *mapping* immersivo. Attraverso la costruzione e l'interazione con modelli tridimensionali nati in ambiente GIS, i ricercatori pongono domande e si interrogano su ipotesi e teorie all'interno di ambienti dinamici incorporati da avatar umani. In tal maniera, appare meno complessa la comprensione dei paesaggi e degli ambienti antropizzati, in particolare lo studio di eventi in cui l'elemento cronologico e temporale riveste una grande importanza (orazioni funebri, parate militari...). Senza dubbio, tra qualche anno apparirà un nuovo progetto innovativo, in grado di portare nuovo fermento nel mondo del *mapping*. Non resta che augurarsi che la realtà aumentata, GIS e la tecnologia che verrà in futuro possano rappresentare strumenti più consoni per trasmettere la complessità delle memorie culturali insite nel documento cartografico in sé.

CAPITOLO 3

3.1 I MODELLI PREDITTIVI E LA NASCITA DI UN APPROCCIO POSTDITTIVO IN ARCHEOLOGIA

3.1.1 Introduzione

Nelle scienze matematiche *predictive modeling* è il nome dato a una metodologia che prevede l'applicazione di modelli statistici o algoritmi di *data mining*²²⁴ con l'obiettivo di inferire eventi o nuovi dati futuri. La definizione include anche previsioni temporali, dove le osservazioni di t (l'*input*) per un arco di tempo sono impiegate per predire valori futuri nel tempo di t (matematicamente $t+k$ con k maggiore di 0). I sistemi predittivi includono, pertanto, predizioni di punti o di intervalli, predizioni di distribuzioni o anche nuove classificazioni dei valori osservati. Il sistema si contraddistingue, quindi, per il suo obiettivo e per l'approccio scelto: puramente statistico, bayesiano²²⁵ o frequentista, parametrico o non parametrico, con algoritmi di *data mining*. Abbracciando un punto di vista matematico, la definizione appena presentata certamente non risulta di immediata comprensione, soprattutto per chi non è avvezzo al linguaggio dell'algebra. Abbiamo scelto, per ovviare a una possibile difficoltà, un esempio per meglio chiarire quanto scritto. La chiromante, interrogata dall'avventore sulla durata della propria vita, applica un modello predittivo, che si basa sull'assunzione di una correlazione tra la lunghezza della vita e le dimensioni della linea della vita posta nel palmo della mano. Naturalmente, si tratta di un modello molto semplice e banale dato che entra in ballo soltanto il valore di una misera variabile *predictor*. Gran parte dei sistemi,

²²⁴Letteralmente 'estrazione di informazioni'. Si tratta di tutte quelle tecniche utilizzate per l'elaborazione di analisi sui big data, tra cui reti le più note sono le reti neurali, metodi bayesiani, *pattern discovery*. Vedi DULLI *et al.* 2009 per inquadramento generale del *data mining*.

²²⁵Il teorema di Bayes, formulato nel XVIII secolo, costituisce il fondamento del c.d. approccio bayesiano. Quest'ultimo trova origine da un concezione del tutto diversa rispetto al tradizionale approccio frequentista, in cui la probabilità è intesa come un dato puramente oggettivo (rapporto tra il numero di esperimenti in cui si è verificato il dato evento e il numero totale di esperimenti eseguiti). Nel contesto bayesiano la probabilità è, invece, legata al grado di fiducia riposta dallo sperimentatore (il c.d. esperto) in virtù dell'esperienza acquisita in passato (c.d. *prior belief*). Essa quindi ha una componente fortemente soggettiva (*prior probability*) e può mutare in base al bagaglio culturale e alle informazioni che si hanno in possesso. Vedi BERNARDO-SMITH 1994 per i caratteri generali della teoria bayesiana; BUCK *et al.* 1996 per i primi approcci bayesiani all'interpretazione del record archeologico.

invece, è strutturata su molteplici varianti, con la possibile esistenza di quella che, in termini, statistici, è definita come multicollinearità²²⁶. Poiché tali relazioni non sono mai perfette nella pratica, si è soliti fornire un qualche livello d'incertezza nella predizione, fornendo una forchetta di solito stimata intorno al 5%.

L'attenzione scientifica verso i modelli predittivi è incredibilmente cresciuta negli ultimi decenni. Affrontare il rischio, saperlo calcolare ed elaborare previsioni rappresenta un sostanziale vantaggio per chi si occupa di *decision making*. È ovvio, infatti, che conoscere, in maniera dettagliata, quali saranno le conseguenze di una determinata scelta o quale sarà il valore futuro di una variabile rappresenta, in ogni settore, un aiuto fondamentale.

Nel campo dell'informatica, per esempio, l'applicazione pratica di un sistema predittivo rende possibile al nostro gestore di posta elettronica distinguere le mail indesiderate, gli *spam*, da quelle invece da leggere. Nel mondo dell'*entertainment*, la creazione di un modello predittivo in grado di prevedere con molta accuratezza l'indice di gradimento di alcuni film ha consentito ad un *team* statunitense la vittoria di un premio di circa un milione di dollari messo in palio dal colosso Netflix²²⁷. Pensiamo, ancora, alla spinta che riceverebbe un farmacologo quando, appena dopo aver sintetizzato un nuovo farmaco, fosse a conoscenza di una sistema di predizione in grado di assicurargli che la molecola appena creata sarà utile. L'importanza dell'approccio predittivo è tale da aver portato alla nascita di una nuova branca chiamata medicina predittiva; essa, definita come una medicina di preavviso, «*si rivolge agli individui sani, nei quali cerca la fragilità o il difetto che conferiscono loro una certa predisposizione a sviluppare una malattia*²²⁸».

Nel campo economico e nelle scienze attuariali, lo sviluppo di modelli predittivi è incardinato nel paradigma di riferimento da molto tempo; l'applicazione di analisi statistiche, in fondo, è alla base da diversi secoli dei differenti costi dell'assicurazione sulla vita.

3.1.2 I modelli predittivi in archeologia

Attraverso l'impiego di modelli predittivi l'archeologo tenta di inferire l'esatta localizzazione di un sito, sulla scorta o di esempi simili nella medesima zona o di notazioni concernenti il

²²⁶Definita in statistica come una correlazione esistente tra variabili dipendenti.

²²⁷SMHUELI 2010, pp. 301-302; BELL *et al.* 2008.

²²⁸Scheda sulla Medicina Predittiva ad opera del Ministero della Salute, p.1. L'intero documento è consultabile *online* all'indirizzo <http://www.quotidianosanita.it/allegati/allegato7058617.pdf> (ultimo accesso 11/7/2017). Interessanti e degni di futuri approfondimenti i punti di analogia con l'archeologia nel trattamento del rischio.

comportamento umano²²⁹. Il principio che sta alla base è, quindi, l'idea che il materiale archeologico non si trovi diffuso in maniera casuale nel paesaggio ma che esso sia in relazione con alcune dinamiche comportamentali e/o con le caratteristiche naturali dell'ambiente. Naturalmente, tali relazioni dipendono anche dal diverso sfruttamento che il popolo in questione faceva del suolo; in sostanza, una civiltà agricola attribuiva un valore maggiore a quelle porzioni del territorio in cui era più facile e produttivo lo sviluppo dell'agricoltura (quindi aree pianeggianti, fertili, con vicinanza alle fonti d'acqua).

I modelli predittivi nascono, almeno sulla carta, con due principali scopi e in ambienti diversi (*management vs research based models*).

Nella ricerca universitaria, l'applicazione di modelli predittivi è funzionale alla comprensione delle dinamiche di allocazione (*locational behaviour* nella letteratura inglese) dell'occupazione di un'area, con un'attenzione specifica alla cronologia e alla tipologia dell'insediamento (militare, rurale, urbano)²³⁰. Nel settore della pianificazione ambientale²³¹, invece, i modelli costituiscono uno strumento utile per garantire la tutela dei resti archeologici individuati, abbassando i costi pubblici per la realizzazione di opere pubbliche e individuando preventivamente le aree a 'rischio'. Anche se, almeno a prima vista, gli intenti sembrano così diversi, in realtà davvero poca è la differenza metodologica.

Lo studio e lo sviluppo dei primi modelli predittivi archeologici ha avuto origine negli Stati Uniti dove, tra la fine degli anni '70 e l'inizio degli '80, nacquero i primi esempi²³². Tale fase, che chiameremo pionieristica, trovava il suo substrato culturale nei fondamenti scientifici della *New Archeology* e nel determinismo ambientale²³³ della *New Geography*; l'analisi delle strategie insediative aveva reso più evidente il collegamento tra la scelta del sito e il suo contesto ambientale. Il volume di Chisholm²³⁴ introdusse la *geographical location theory* a cui, qualche anno più tardi,

²²⁹«Predictive modelling is a technique to predict, at a minimum, the location of archaeological sites or materials in a region, based either on the observed pattern in a sample or on assumptions about human behaviour». KOHLER-PARKER 1988, p. 400, con parole di chiaro stampo processuale.

Una definizione minimalista sull'impiego dei sistemi predittivi nella letteratura archeologica in DE GUIO 2015, p. 301.

²³⁰Per esempio BALLA *et al.* 2014.

²³¹Gran parte dei lavori editi in lingua inglese riportano l'espressione *archaeological heritage management projects*, sintetizzata con l'acronimo AMP.

²³²Più che pionieristico, soprattutto per l'influenza esercitata anche nei decenni successivi, il lavoro di WILLEY 1953 sulla valle di Viru.

²³³Critiche sull'abuso dei modelli induttivi in WHEATLEY 2004.

²³⁴CHISHOLM 1962.

fece seguito la *site catchment analysis*²³⁵, ovvero il tentativo di creare delle regole in grado di spiegare i comportamenti spaziali nell'ottica della sussistenza economica. Si trattò di lavori sviluppati in un contesto fortemente influenzato dalle nuove possibilità offerte dall'impiego delle prime immagini satellitari e, soprattutto, dei metodi quantitativi, fortemente *data-driven* e che conducevano a modelli chiaramente di matrice induttiva. All'interno dei primi grandi progetti, l'archeologia era definita come una risorsa non rinnovabile²³⁶ e costituiva soltanto un aspetto di programmi di pianificazione ambientale (*land management*) di più ampio respiro.

Non appena tutte i pezzi del *puzzle* finirono al proprio posto e la tecnologia informatica diventò abbastanza sofisticata da rendere possibile un miglioramento della modellazione cartografica, bastò percorrere la strada che era già segnata per compiere un sostantivo cambiamento. L'espressione '*predictive model*' iniziò a circolare nella letteratura dell'inizio degli anni Settanta, ma soltanto nella seconda metà del decennio furono pubblicati in maniera sistematica i primi sistemi. Nei primi lavori, attribuibili a Kenneth Kvamme²³⁷, furono sviluppate tecniche di analisi spaziale e statistica per la creazione di modelli predittivi; a metà degli anni Ottanta era già distinguibile in letteratura la c.d. *American Way*²³⁸, contraddistinta dal ruolo primario giocato dai GIS e da un approccio più pragmatico. Il volume più influente nel campo dello *spatial modeling* uscì nel 1988 a firma di Judge e Sebastian²³⁹; esso racchiudeva una serie di lavori incentrati sui principi, sulle tecniche e sulle difficoltà da affrontare nel campo dell'archeologia predittiva, riflettendo, comunque, il tradizionale *modus operandi* degli archeologi nord americani. La maggior parte dei sistemi predittivi di quel periodo, definiti in letteratura come deduttivi o *theory-driven*, era frutto della comparazione tra i risultati provenienti dalle ricognizioni e i dataset ambientali, quali la distanza dai corsi d'acqua, le pendenze dei rilievi, il tipo di suolo; attraverso la tecnica matematica della regressione lineare, il sistema estrapolava le correlazioni trovate e le applicava in contesti inediti. La teoria archeologica sulle preferenze nella scelta degli insediamenti giocava un ruolo marginale o nullo, e lo stesso impatto avevano gli studi di ecologia comportamentale.

Il dibattito scientifico, almeno fino agli inizi degli anni Novanta, si incanalò all'interno della contrapposizione tra archeologi processualisti e post-processualisti divenendo asfittico; da un lato

²³⁵HIGGS-VITA FINZI 1972.

²³⁶CARR 1985.

²³⁷KVAMME 1983b; KVAMME 1984

²³⁸KOHLER-PARKER 1986

²³⁹JUDGE-SEBASTIAN 1988.

l'enfasi sulle mappe e sulla generalizzazione dei metodi *obiettivi* di quantificazione e l'importanza dell'apporto della statistica, dall'altro le critiche verso una effettiva mancanza d'interesse verso la dimensione più soggettiva e individuale dell'archeologia. Alcuni modelli²⁴⁰ sorsero seguendo un approccio c.d. deduttivo o *theory-driven*, incorporando al loro interno alcune ipotesi sulle modalità con cui le antiche culture giungevano a compiere le scelte allocative²⁴¹, soprattutto in funzione economica. In genere, tali sistemi di predizione furono ritenuti dalla critica²⁴² eccessivamente semplici, non troppo sofisticati e definiti, infatti, come intuitivi o *expert judgment models*. Tali lavori presentavano, comunque, il grande pregio di prevedere all'interno dei fattori da pesare anche il giudizio di un 'esperto', portando sul tavolo, per la prima volta, il tema dell'incertezza nella previsione²⁴³.

L'entrata in crisi del paradigma processualista e il conseguente successo, almeno in alcuni paesi, della teoria post-processuale, con le note critiche verso l'impiego di modelli matematici, rallentò lo sviluppo di modelli predittivi e il dibattito scientifico ne uscì indebolito²⁴⁴. D'altronde, la tradizionale avarizia verso la produzione di cartografia tematica e la scarsa attenzione prestata ai nuovi strumenti d'indagine della *spatial archaeology* costituivano punti fondanti della nuova rivoluzione post-processuale. Il risultato più evidente ancor oggi è rappresentato dallo scetticismo con cui ancora gran parte degli archeologi accademici guarda verso l'applicazione di tali modelli. L'interesse da parte degli europei è, almeno in parte, cresciuto grazie alla crescente popolarità dei sistemi GIS in ambito archeologico; sembra, comunque, possibile distinguere un filone europeo che si contraddistingue soprattutto per riflessioni metodologiche sulla costruzione dei modelli e sull'uso dei GIS piuttosto che su i loro effettivi sviluppi pratici²⁴⁵.

²⁴⁰Per esempio DALLA BONA 1994, con un modello che prevedeva l'applicazione di teorie sulle pratiche di sussistenza dei raccoglitori cacciatori del Nord America.

²⁴¹Tra i primi sistemi a mostrare le potenzialità di un approccio deduttivo citiamo il modello di Chadwick sul popolamento miceneo nel medio Elladico; vedi CHADWICK 1978a; CHADWICK 1978b.

²⁴²VAN LEUSEN *et al.* 2009. Resta comunque da sottolineare la difficoltà nel riconoscere un approccio puro deduttivo o induttivo; quanto di ciò che appartiene alla teoria archeologica non è figlio di un ragionamento semplicemente induttivo? Facciamo un esempio. Perché pensiamo che i Greci preferissero fondare le loro colonie nei pressi del mare? Semplicemente perché abbiamo le abbiamo rinvenute quasi esclusivamente nei pressi della costa. Sull'approccio deduttivo o induttivo vedi VAN LEUSEN *et al.* 2005, p. 31-32. Vastissima bibliografia, in generale, sui limiti e le definizioni degli approcci deduttivi e induttivi; rimandiamo alla ricca discussione epistemologica sviluppata all'interno del volume ECO-SEBEOK 2000, dove il celebre metodo deduttivo di Sherlock Holmes viene considerato, in realtà, come un metodo ipotetico deduttivo.

²⁴³Vedi il paragrafo nelle pagine successive 'Essere certi dell'incertezza'.

²⁴⁴Sui rapporti tra la teoria post-processuale e i modelli predittivi vedi VERHAGEN-WHITLEY 2011, pp. 12-17.

²⁴⁵D'ANDREA 2006; WHEATLEY 1996.

In generale, le principali criticità messe in luce nella letteratura scientifica²⁴⁶ coinvolgono principalmente tre punti: l'impiego della statistica, i fondamenti teorici e i dati a disposizione. Prima dell'impiego della matematica bayesiana²⁴⁷, si sottolineava l'impiego a-critico dei metodi statistici, spesso limitati anche nel numero. Appunti simili erano mossi per la scarsa attenzione fornita ai dati archeologici e per il peso quasi nullo giocato dalla teoria archeologica, soprattutto nella valutazione dei fattori temporali o umani (le variabili socio-culturali) nella preferenza accordata a un sito piuttosto che ad un altro. Come nota Verhagen:

«and while this is all very much true, and many archaeological predictive maps are rather coarse representations of a complex archaeological reality, these criticisms mask a more fundamental question: what is the quality that is needed of a predictive model? Because this is precisely why models are made that are not very sophisticated from a scientific point of view: they are considered good enough for the purposes they are made for»²⁴⁸»

Di fronte alle mappe di predittività, al di là del tema della qualità²⁴⁹, si sono distinti atteggiamenti differenti: l'impiego di modelli predittivi è stato colto con entusiasmo o con violente critiche. Negli USA, in Canada, in Olanda e, in misura minore, in altri paesi quali la Repubblica Ceca o la Germania, tali sistemi sono utilizzati per ottenere un calcolo della densità dei siti archeologici all'interno di un'area oggetto di analisi. In alcuni casi, le carte di predittività sono viste come uno strumento utile, al massimo, per raccogliere informazioni preliminari prima di compiere un *survey*. Fortissime resistenze, invece, sono nate in Gran Bretagna e in Francia, dove l'argomento principale che si legge più spesso in letteratura²⁵⁰ prende di mira l'incapacità dei modelli di predire tutti i siti archeologici di una zona. Tra le critiche 'italiane', l'accusa più ricorrente è di carattere generale: tali sistemi sarebbero in grado di predire esclusivamente dinamiche già verificatesi e non riuscirebbero a formulare previsioni sui futuri rinvenimenti archeologici. Sarebbero, pertanto, modelli descrittivi e

²⁴⁶DALLA BONA 1994.

²⁴⁷VERHAGEN 2006; MILLARD 2005.

²⁴⁸VERHAGEN *et al* 2009, p. 20.

²⁴⁹Argomento sviluppato nel paragrafo successivo.

²⁵⁰Per esempio ALTSCHUL *et al.* 2004

non predittivi²⁵¹. Un atteggiamento di scetticismo massimo imputabile alla scarsa tradizione italiana nel campo specifico.

All'interno del panorama europeo, il dibattito, lo sviluppo e l'applicazione di modelli predittivi caratterizza fortemente una nazione in particolare, l'Olanda. Le prime mappe di predittività furono pubblicate solo all'inizio degli anni '90²⁵², con una discrasia temporale abbastanza marcata con il mondo americano, che costituiva comunque il modello di riferimento. Come nel resto del paese, il progetto sul paesaggio del Pleistocene nell'area di Rijssen-Wirde è figlio del precario equilibrio ambientale su cui si basa la vita nei Paesi Bassi; il suo territorio è sottoposto a notevoli stress antropici: l'Olanda è il paese con la più alta densità demografica d'Europa e l'agricoltura intensiva caratterizza fortemente il paesaggio; pertanto, con l'esecuzione dei necessari lavori pubblici di consolidamento molte aree archeologiche correvano il rischio di essere distrutte da frane e sprofondamenti della terra. Il corrispettivo del nostro Ministero per l'Ambiente commissionò la mappa ad Ankum e Groenewoudt, accollandosi anche la quasi totalità dei costi. L'obiettivo principale era quello di suddividere l'area in questione, estesa per qualche migliaio di ettari, in zone con basso e alto potenziale archeologico, conducendo, in un secondo momento, lavori sul campo esclusivamente nelle zone più interessanti (o più critiche). Con un approccio induttivo tipicamente americano, fu costruito un modello basato su sei variabili (substrato del suolo, unità territoriale, area zona, distanza da acqua, distanza da macro gradiente²⁵³, distanza da acqua/macro gradiente), ritenute fortemente influenzanti la predizione archeologica

Da quel momento in poi (il 1990), molte altre mappe sono state pubblicate e tra esse la più importante è la IKAW²⁵⁴ (*Indicative Kaart van Archeologische Waarden* letteralmente Mappa Indicativa dei Valori Archeologici) realizzata, con più edizioni, dal centro statale per la conoscenza archeologica (RACM); tra le altre citiamo quelle commissionate e redatte dalle autorità politiche locali, sia di tipo strettamente predittivo che incentrate sul valore storico culturale²⁵⁵. Naturalmente, anche la letteratura scientifica, trainata dal numero elevato di progetti di questa portata, ha

²⁵¹BERTOLDI *et al.* 2015, p. 240; si tratta, comunque, di una notazione spesso ricorrente in letteratura; KVAMME 1999, p. 171: «...(*predictive models*) go a step further by multidimensional merging of what is know through locational analysis. In one sense such models are descriptive statements that summarise the multivariate environmental and spatial pattern of archaeological sites...».

²⁵²ANKUM-GROENEWOUDT 1990 per l'area di Rijssen-Wierden.

²⁵³Era definita macro-gradiente un'area dove le condizioni ambientali cambiano in maniera improvvisa.

²⁵⁴DEEBEN *et al.* 1997 per la prima edizione; DEEBEN *et al.* 2002 per la seconda; DEEBEN 2008 per la terza.

²⁵⁵VAN WIJK-VAN HOOFF 2005; LOTTE-TEBBENS 2005.

focalizzato meglio l'argomento²⁵⁶. È innegabile, pertanto, che, nonostante le critiche, almeno in Olanda le mappe di predittività archeologica svolgano un ruolo primario nelle politiche di pianificazione ambientale e territoriale.

La controversia senza fine sull'utilità o meno dei modelli predittivi in archeologia ha molto a che fare, in realtà, con un problema legato alle aspettative sbagliate e al mantenimento della dicotomia processualismo vs post-processualismo. Appare chiaro come la contrapposizione si basi, effettivamente, sui presupposti di partenza diversi: da un lato la libertà della ricerca accademica, in grado di scegliere a proprio piacimento sia il luogo che il periodo storico sul quale concentrarsi, dall'altro la necessità delle autorità pubbliche di coniugare lo sviluppo urbano e paesaggistico con la tutela del patrimonio culturale, senza, allo stesso tempo, sperperare denaro pubblico. Si tratta di due modi diversi di approcciarsi alla questione e da cui scaturiscono metodologie d'indagine differenti. Per la complessità delle situazioni affrontate nei Paesi Bassi e per il loro, evidente, essere almeno quindici anni più avanti rispetto a noi sia dal punto di vista teorico che pratico, abbiamo scelto di dedicare un breve approfondimento al fenomeno olandese²⁵⁷. L'obiettivo è la comprensione dei vantaggi apportati al c.d. *Heritage Management* e delle criticità affrontate dai colleghi olandesi²⁵⁸.

3.1.2.1 Modelli predittivi in archeologia: il caso dei Paesi Bassi

L'introduzione dei modelli predittivi e delle mappe di predittività archeologica è strettamente correlata, in Olanda come nel resto del mondo, al tema più generale sui costi e sui benefici dei progetti di ricerca. Almeno nella fase iniziale, i principali attori della politica della tutela del patrimonio culturale nella terra dei mulini erano lo Stato e le province; una sana cooperazione tra sfera statale e locale, sviluppata all'interno di un generale controllo centrale, costituiva l'impalcatura su cui si muovevano i primi progetti archeologici predittivi. Sfruttando la disponibilità dell'ampio *dataset* archeologico nazionale²⁵⁹ (chiamato ARCHIS) e delle mappe geologiche del

²⁵⁶VERHAGEN *et al.* 2010.

²⁵⁷Ne sono coscienti gli stessi colleghi olandesi: «*Dutch academic reviews of the topic have sine played a relatively influential role internationally, as can already be seen from the above review of the international context*», VAN LEUSEN *et al* 2005, p. 38.

²⁵⁸Sulle metodologie adottate e sui risultati dello studio sui primi modelli predittivi olandesi vedi VAN LEUSEN-KAMERMANS 2005.

²⁵⁹L'Olanda si è dotata di una carta archeologica in cui sono rappresentate tutte le emergenze monumentali e archeologiche già note (*Dutch Archaeological Monuments Map*). Sebbene secondo la critica vi sia una sovrarappresentazione dei monumenti tardo medievali e di quelli databili tra Neolitico ed Età del Ferro, essa costituisce uno strumento di base fondamentale per la costruzione di un modello predittivo.

Per un altro aspetto, la questione qui affrontata si collega, e non potrebbe non essere così, con il tema assai delicato e

suolo, era, infatti, abbastanza facile creare, grazie anche alle potenzialità del GIS, mappe di predizione di media e piccola scala²⁶⁰. Tali prodotti, tra cui le già citate tre versioni della IKAW²⁶¹ (in scala 1:50), di matrice fortemente induttiva, ottennero un gran successo in quanto fornivano ai *policy makers* esattamente le informazioni che cercavano. In maniera molto semplice, infatti, con un rapido sguardo alla mappa, era possibile capire, attraverso l'impiego di tre colori, se, nella zona in questione, le possibilità di rinvenimento di siti archeologici fossero alte (rosso), medie (arancione) o scarse (giallo); la colorazione indicava anche la prassi operativa: con il rosso scaturiva la necessità di intraprendere lavori archeologici preliminari, con il giallo era imposta la sorveglianza, mentre per le aree verdi non era necessaria alcuna prescrizione. Se le autorità pubbliche erano, pertanto, perfettamente a loro agio con questo tipo di strumento, le maggiori perplessità le avevano gli archeologi. La principale critica a questa cartografia risiedeva nella evidente sovra-rappresentazione dei siti posti alle quote più alte²⁶². La conoscenza della natura geologica del paese aveva messo in luce, infatti, come i siti dell'Olocene si trovassero a profondità maggiori rispetto a quelli del Pleistocene, e, pertanto, essi erano palesemente sotto rappresentati. L'unica speranza di scavare e preservare un sito dell'Olocene giaceva nella possibilità che esso si trovasse in un'area rossa o almeno arancione. «*Instead of increasing the archeological return, the predictive map had soon become a means to save costs*²⁶³». Giova sottolineare come il passaggio tra l'impiego di mappe di matrice induttiva a mappe di predittività non sia avvenuto grazie alle rimostranze degli archeologici ma a causa di alcune riforme e cambiamenti nella legislazione olandese. Come in gran parte dei paesi europei, la tutela centralista e statalista ha recentemente passato la mano a una decentralizzazione, in cui un ruolo di primo piano è occupato dalle forme di autorità locale più

attuale degli Open Data in archeologia. Per ovvie ragioni di spazio non è possibile affrontarlo, rimandiamo, pertanto, alla recentissima e vasta bibliografia sviluppata anche per il nostro Paese. Sul rapporto tra *Open Data* e predittività in Italia vedi ANICHINI *et al.* 2015; D'ANDREA 2013 su archeologia preventiva e *Open Data*. Su Archeologia tra *Open Data* e *Open Source*, capitolo 12, pp. 1003-1037 del volume del *CAA* 2015 edito da CAMPANA *et al.* 2016. Sugli *Open Data* in Italia: MOSCATI 2015; i volumi di ARCHEOFOSS, soprattutto quello del 2013; da leggere il MODA, Manifesto Open Data Archeologici (consultabile all'indirizzo <http://www.archeofoss.org/2015/11/moda-manifesto-open-data-archeologici/>, ultimo accesso 10/07/2017); ANICHINI 2013; ANICHINI *et al.* 2013a. Da segnalare anche il notissimo *Fasti Online*, progetto dell'Associazione Internazionale di Archeologia Classica e dell'Università del Texas ad Austin, finanziato anche dal nostro MiBACT.

²⁶⁰Per una revisione delle principali esperienze predittive olandesi VERHAGEN *et al.* 2005. In questo caso, con il termine piccola scala intendiamo progetti che prevedono lo studio di aree inferiori ai cento ettari.

²⁶¹La pubblicazione della prima edizione risale al 1997.

²⁶²VAN LEUSEN-KAMERMANS 2005.

²⁶³VERBRUGGEN 2009, p. 29.

piccole, le municipalità. Inoltre, l'archeologia, entrata in quella fase che viene definita post-Malta²⁶⁴, è stata rivoluzionata anche nelle sue forme di finanziamento, con una definitiva privatizzazione della ricerca, che, invece, in precedenza era affidata agli enti statali di ricerca (Università)²⁶⁵. Da un'archeologia quasi esclusivamente legata ai fondi pubblici²⁶⁶ e definita *research-driven* si è passati, utilizzando la terminologia di stampo anglosassone diffusa in letteratura, a una *compliance driven a*. La differenza concettuale e lessicale non è legata alla natura dei fondi utilizzati per le ricerche, quanto all'approccio stesso alla disciplina. Da un punto di vista economico, il principio motore del cambiamento è il *polluters pay principle*, introdotto nella prassi e, in seguito, nella legislazione. Si tratta del meccanismo che prevede che gli oneri e i costi dei lavori archeologici, nel nostro caso, spettino ai soggetti privati che stanno realizzando l'opera. Un criterio assai semplice ma che insieme al processo di privatizzazione fu foriero di grandi trasformazioni. Moltissimi fondi, soprattutto in alcuni paesi come la Francia, provengono ancora dalla spesa pubblica.

All'interno del nuovo quadro, a occuparsi di tutela e di pianificazione ambientale non erano più lo Stato e le province ma i comuni, enti pubblici che divennero, a tutti gli effetti, i promotori delle indagini archeologiche. Mutando le stazioni appaltanti mutarono anche gli obiettivi delle indagini. Le piccole realtà municipali, infatti, non erano più interessate a usufruire di cartografie di media scala in quanto le attenzioni erano rivolte esclusivamente al loro (relativamente) piccolo territorio comunale; inoltre, in mancanza di sufficienti fondi destinabili alla tutela, i nuovi programmi spingevano per esplorare più le zone colorate in arancione e giallo piuttosto che quelle in rosso.

Da un punto di vista strettamente archeologico, ciò causò un altro passaggio epocale, poiché l'interesse divenne la qualità dei siti e non la densità dei siti. Siamo giunti, nella nostra esposizione, ad uno dei punti centrali a cui avevamo fatto menzione anche nelle pagine precedenti: la necessità di stabilire, in qualche maniera, dei parametri di qualità, dei veri e propri standard.

The issue of quality, per dirlo in inglese, riecheggiava già nelle parole di Verhagen e costituisce, naturalmente, una problematica non esclusiva dell'Olanda. L'elemento da mettere in risalto, almeno

²⁶⁴Come già ricordato nei capitoli precedenti, la Convenzione de La Valletta del 1992 ha segnato un punto di svolta per l'archeologia dei e nei paesi europei. In Italia, al contrario, si è dovuto aspettare oltre un ventennio per la ratifica del provvedimento, con grave danno per l'applicazione sistematica dell'archeologia preventiva. Anche in Olanda, in realtà, la Convenzione è stata ratificata solo nel 200. Nonostante ciò, già almeno dai primi anni del nuovo millennio l'archeologia era già considerata e valutata come un fattore nel processo di pianificazione territoriale. Per una posizione quasi critica sui risvolti della Convenzione di Malta nei Paesi Bassi vedi in DUINEVELD *et al.* 2013.

²⁶⁵Sui cambiamenti post Convenzione della Valletta vedi VAN DEN DRIES 2013.

²⁶⁶A onor del vero, il progetto di carattere nazionale *Strategic Research into, and Development of Best Practice for, Predictive Modelling on behalf of the Dutch Cultural Resource Management*, iniziato nel 2002 e conclusosi tre anni più tardi, fu finanziato dalla *Dutch Organisation for Scientific Research* (NWO).

a parer nostro, è però la rapidità e le modalità con le quali nei Paesi Bassi affrontarono la situazione. In Italia, ancora oggi, nessuna normativa regola la creazione di mappe di predittività archeologica. L'unico documento inerente gli standard di qualità è la circolare numero 10 della (fu) Direzione Generale per le Antichità (adesso DG Archeologia Belle Arti e Paesaggio), firmata da L. Malnati nel 2012, concernente, però, l'archeologia preventiva²⁶⁷. Il pregevole allegato numero 3²⁶⁸ alla circolare costituisce l'esempio italiano migliore e assai moderno per quella metodologia che abbiamo definito come *expert-judgment*. Il documento ministeriale presenta una scala cromatica assai ricca, con ben dieci colori utilizzati per indicare altrettanti gradi di potenziale archeologico. L'elemento da mettere in risalto è la considerazione che il potenziale archeologico di un sito vada messo in relazione con il grado di rischio insito nel progetto e il suo impatto effettivo sulla stratificazione archeologica. In particolare, come si evince dalla figura 1, qualora l'impatto sia accertabile, esso può variare da *basso* a *rischio esplicito*. Nel primo caso, è garantita la tutela grazie alla distanza esistente tra il contesto archeologico e l'area in cui ricade il progetto. Se, invece, il progetto insiste proprio nella zona in cui è chiara la presenza di stratificazioni archeologiche il rischio archeologico sarà esplicito e difficilmente compatibile con l'opera da realizzare.

TAVOLA DEI GRADI DI POTENZIALE ARCHEOLOGICO (DA UTILIZZARE PER LA REDAZIONE DELLA CARTA DEL POTENZIALE ARCHEOLOGICO) ⁸											
Scala di valori numerica	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Scala cromatica											
Grado di potenziale archeologico del sito	Nulla: non sussistono elementi d'interesse di nessun genere. Si ha la certezza di questa condizione.	Improbabile: mancano quasi tutti gli elementi indiziari all'esistenza di beni archeologici. Non è possibile escludere del tutto la possibilità di rinvenimenti sporadici.	Molto basso: anche se il sito presenta caratteristiche favorevoli all'insediamento antico, la base allo studio del contesto fisico e morfologico non sussistono elementi che possano confermare una frequentazione in epoca antica. Nel contesto territoriale limitrofo sono attestate tracce di tipo archeologico.	Basso: il contesto territoriale circostante dà esito positivo. Il sito si trova in una posizione favorevole (geografia, geologia, geomorfologia, pedologia) ma sono scarsi gli elementi concreti che attestino la presenza di beni archeologici.	Non determinabile: esistono elementi (geomorfologia, immediata prossimità, pochi elementi materiali etc.) per riconoscere un potenziale di tipo archeologico ma i dati raccolti non sono sufficienti a definire l'entità. Le tracce potrebbero non palesarsi, anche qualora fossero presenti (es. presenza di coltri detritiche).	Indiziato da elementi documentari oggettivi, non riconducibili oltre ogni dubbio all'esatta collocazione in questione (ad es. dubbi sulla erratichità degli stessi), che lasciano intendere un potenziale di tipo archeologico (geomorfologia, topografia, toponomastica, notizie) senza la possibilità di intracciare più forti in modo definitivo.	Indiziato da dati topografici o da osservazioni remote, ricorrenti nel tempo e interpretabili oggettivamente come degni di nota (es. solinori, cronometri, micromorfologia, tracce centuriali). Può essere presente o anche avvertito il rinvenimento materiale.	Indiziato da ritrovamenti materiali localizzati: rinvenimenti di materiale nel sito, in contesti chiari e con quantità tali da non poter essere di natura erratica. Elementi di supporto raccolti dalla topografia e dalle fonti. Le tracce possono essere di natura puntiforme o anche diffusa/discontinua.	Indiziato da ritrovamenti diffusi: Diversi ambiti di ricerca danno esito positivo. Numerosi rinvenimenti materiali dalla provenienza assolutamente certa. L'estensione e la pluralità delle tracce coprono una vasta area, tale da indicare la presenza nel sottosuolo di contesti archeologici.	Certo, non delimitato. Tracce evidenti ed incontrovertibili (come affioramenti di strutture, palinesti stratigrafici o rinvenimenti da scavo). Il sito è noto in tutte le sue parti, in seguito a studi approfonditi e grazie ad indagini pregresse sul campo, sia stratigrafiche che di remote sensing.	Certo, ben documentato e delimitato. Tracce evidenti ed incontrovertibili (come affioramenti di strutture, palinesti stratigrafici o rinvenimenti da scavo). Il sito è noto in tutte le sue parti, in seguito a studi approfonditi e grazie ad indagini pregresse sul campo, sia stratigrafiche che di remote sensing.
Grado di rischio per il progetto⁹	Nessun rischio	Rischio inconsistente	Rischio molto basso	Rischio basso	Rischio medio			Rischio medio-alto	Rischio alto	Rischio esplicito	
Impatto accertabile	Non determinato: il progetto investe un'area in cui non è stata accertata presenza di tracce di tipo archeologico.		Basso: il progetto ricade in aree prive di testimonianze di frequentazioni antiche oppure a distanza sufficiente da garantire un'adeguata tutela a contesti archeologici la cui sussistenza è comprovata e chiara.		Medio: il progetto investe l'area indiziata o le sue immediate prossimità.			Alto: il progetto investe un'area con presenza di dati materiali che testimoniano uno o più contesti di rilevanza archeologica (o le dirette prossimità).		Difficilmente compatibile: il progetto investe un'area non delimitabile con chiara presenza di siti archeologici. Può palesarsi la condizione per cui il progetto sia sottoposto a varianti sostanziali o a parere negativo	

Figura 1. Tavola dei gradi di potenziale archeologico: ben dieci colori pantone per esprimere la complessità del potenziale archeologico in relazione al rischio e all'impatto del progetto (allegato n.3 della circolare 1/2016 del MiBACT)

²⁶⁷ 'Indicazioni operative in merito alle attività di progettazione ed esecuzione delle indagini archeologiche'. Circolare consultabile all'indirizzo: http://www.archeologiapreventiva.beniculturali.it/documenti/Circolare_010_2012.pdf; MALNATI 2005. Il documento della DG fissa chiaramente alcuni paletti (compilazione schede MODI, piazzamento topografico delle stratificazioni emerse) sulla qualità della documentazione necessaria per l'approvazione della relazione archeologica preventiva. Sugli standard dell'archeologia predittiva vedi anche D'ANDREA 2008.

²⁶⁸ Allegato Consultabile all'indirizzo: http://www.ufficiostudi.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1455720796544_Circolare_01_2016_All_egato_03.pdf

In Olanda, invece, già con l'inizio del nuovo millennio avevano trovato la soluzione. All'interno della nuova legislazione culturale, fu introdotto il *Dutch Archeology Quality Standard* (KNA: *Kwaliteitsnorm Nederlandse Archeologie*)²⁶⁹. Il documento consta di una serie di protocolli e costituisce la spina dorsale del processo di tutela e conservazione del patrimonio archeologico. In esso sono descritte e attentamente analizzate diverse tecniche di ricerca, invasive o meno, al fine di rendere il meno difficile possibile la scelta sulla metodologia da adottare; inoltre, sono nettamente distinti tre momenti: fase esplorativa, fase di mappatura e fase di valutazione. Durante il primo momento, si cerca di indagare e comprendere la natura geologica dell'area investigata, cercando di avere chiaro quale sotto-area possa avere un'alta possibilità di rinvenire materiale archeologico e quale una bassa; il prodotto di questo lavoro è una mappa predittiva deduttiva, con una scala relativamente bassa e un livello di dettaglio confrontabile con le tradizionali cartografie induttive. In un secondo momento, si segnano con maggiore attenzione le aree più delicate e, infine, si esprime un giudizio sui siti rinvenuti. Come si vede, il meccanismo permette di tornare indietro, un po' come nel gioco dell'oca, prendere tempo e valutare nuovamente la situazione. Il *workflow* permette, infatti, una continua valutazione, in ogni singolo momento, dei costi e dei benefici del processo archeologico, dando la possibilità, anche quando si è scelto di intraprendere una strada, di bloccare tutto e tornare indietro²⁷⁰.

Il risultato dell'intero processo di *decision-making* non può essere, pertanto, limitato esclusivamente al dualismo assenza/presenza di sito in quanto esso è, in realtà, il frutto di una precisa scelta politica fatta a monte, sulla base di una carta di predittività, e collegata alla questione su quale tipologia di insediamento debba essere ricercata. Il modello predittivo costituisce, quindi, nella costruzione olandese un vero e proprio *policy instrument*, uno strumento politico. «*A predictive model is a decision rule conditional on other non-archaeological features of locations*²⁷¹».

3.1.2.2 Analisi dell'effetto economico dei modelli predittivi olandesi

Le carte di predittività archeologica costituiscono un modello scientifico, come abbiamo visto, che è

²⁶⁹WILLEMS-BRANDT 2004.

²⁷⁰Sui principi guida dell'analisi cioè necessità, effettività, proporzionalità e sussidiarietà vedi, per maggiori dettagli, VERBRUGGEN 2009, p. 30.

²⁷¹KVAMME 1990, p. 261.

stato sottoposto a critiche e, per questo motivo, è soggetto a continui miglioramenti. Attualmente, l'Olanda è suddivisa in quattro macro aree, distinte in base alla possibilità più o meno alta di rinvenire delle stratificazioni archeologiche. I limiti tra una zona e un'altra non costituiscono soltanto delle semplici divisioni di carattere geografico, ma hanno un effettivo risvolto nella pratica archeologica. La differenza tra dover sostenere costi archeologici preliminari, inviando all'autorità locale i risultati delle indagini, o la totale assenza di prescrizioni giace proprio nella appartenenza o meno di una determinata area ad una regione segnata da un alto coefficiente di rischio archeologico. Nell'impostazione generale dello *Spatial Planning Act*, le province intervengono soltanto in un secondo momento, quando la risorsa archeologica è già stata mappata e soppesata. Il principio cardine è che l'elemento archeologico debba essere, ove possibile, conservato *in situ* e, soltanto quando tale opzione non è percorribile, è consentito scavare archeologicamente il sito e, in caso, provvedere allo smontaggio dei resti. Tale valutazione si basa sul report archeologico preliminare che deve soddisfare, come abbiamo visto in precedenza, gli standard di qualità. Si è passati, in sostanza, da una *rescue-archeology* ad una *development-led a*. Seppur con significative distinzioni, il modello sembra avere diversi punti in comune con le modalità di attuazione dell'archeologia preventiva italiana²⁷². Profondamente diverso, purtroppo, appare il risvolto e l'effetto economico scaturito dall'applicazione delle carte di predittività.

In *primis*, si sono generate molte più opportunità lavorative per gli archeologi. La ricerca archeologica sul campo ha mutato pelle, divenendo un'attività non limitata alla sola stagione estiva; gli scavi sono commissionati dalle municipalità e condotti da imprese di professionisti. Addirittura, per quanto ci possa sembrare strano, sembrerebbe che il numero degli archeologi sfornati dalle Università non sia sufficiente a soddisfare la domanda²⁷³. Secondo le stime più recenti²⁷⁴ e nonostante la pesante crisi finanziaria che ha investito l'Olanda tra il 2011 e il 2012, il numero di lavoratori impiegati nel settore archeologico è cresciuto fino a raggiungere le 1200 unità²⁷⁵, sostanzialmente il triplo rispetto al dato dell'inizio degli anni Novanta.

²⁷²Un'accurata disamina sulla evoluzione dell'archeologia preventiva italiana, sulla normativa che sta alla sua base e sulle corrette procedure di applicazione in GULL 2015.

²⁷³MEFFERT 2009, p. 34; FOKKENS 2005.

²⁷⁴Vedi VAN LONDEN *et al.* 2014, p.45 per il progetto *DISCO. Discovering the archaeologists of Europe* con i dati riguardanti l'Olanda nell'ultimo quinquennio.

²⁷⁵La metà di essi è impiegata nel settore della c.d. *commercial archaeology*, espressione europea con la quale si indica il lavoro nel settore privato archeologico, senza distinzione tra liberi professionisti, consulenti esterni, grandi imprese.

year	individuals	FTE	source
1988		360	Louwe Kooijmans 1988
1998		675	Louwe Kooijmans 1988
2002		900-950	Louwe Kooijmans 1988; ROB 2002
2003		825	Erfgoedbalans 2009
2007		935	Erfgoedbalans 2009
2007-2008	1161	932	Waugh 2008, 32
2007-2008	1311	947,7	this publication
2012-2013	1271	1008,2	this publication

Figura 2. La crescita degli occupati nel settore archeologico in Olanda (da VAN LONDEN et al 2014).

Oltre ad un prevedibile aumento dei posti di lavoro, l'inserimento dell'archeologia nelle pratiche di pianificazione territoriale ha direttamente influenzato i prezzi del mercato immobiliare. Il desiderio di costruire una casa in un'area ritenuta ad alto potenziale comporta, secondo il già citato principio del *polluter pays* o del *developer funder*, l'imposizione, sulle spalle dell'esecutore dei lavori, dei costi relativi all'archeologia (che sono in parte calcolabili a priori). Tali principi hanno, di fatto, trasformato la risorsa archeologica in una questione economica, in un rischio finanziario per i costruttori. Pertanto, chi controlla la produzione della mappe di predittività influenza in maniera diretta sia il mercato del lavoro nel settore archeologico sia il ben più redditizio 'mercato del mattone'. Si tratta di un tema che meriterebbe più spazio anche nella letteratura scientifica futura, non soltanto per le conseguenze già citate, ma soprattutto per la necessaria indipendenza che dovrà mantenere chi continuerà a produrre strumenti così delicati come le carte di predittività.

Ritorniamo a una delle parole chiave cui abbiamo fatto riferimento poc'anzi, il rischio. Non deve sfuggire come l'impiego del termine nella letteratura archeologica giochi sulla sua bivalenza. Per gli archeologi il rischio è il pensiero che le stratificazioni archeologiche siano distrutte e non documentate durante la realizzazione di un qualsiasi lavoro edilizio, mentre per i costruttori il rischio è rappresentato dalla possibilità che l'archeologia possa fare andare in fumo, o modificare seriamente, l'investimento previsto²⁷⁶. Non è un caso che, all'interno di questo paradigma dominante per lunghi decenni, in cui l'archeologia rappresentava un rischio, appunto, e non una risorsa, la terminologia utilizzata anche in Italia definiva 'Carte del *rischio* archeologico' le cartografie in cui erano posizionate le evidenze archeologiche già note²⁷⁷. Illuminante il titolo di un

²⁷⁶Per le modalità con cui viene trattato il rischio archeologico all'interno del sistema di pianificazione ambientale olandese vedi ISARIN et al. 2009.

²⁷⁷Per la storia dell'evoluzione del rischio archeologico in Europa e soprattutto in Italia rimandiamo a GELICHI 2001.

bel volume curato da Maria Pia Guermandi ‘Rischio archeologico: se lo conosci lo eviti’²⁷⁸. Al di là del simpatico titolo, il problema posto è abbastanza serio poiché, anche il migliore degli strumenti a nostra disposizione, non è in grado di fornire una stima del numero e della natura dei siti che potrebbero essere rinvenuti. Le carte predittive rendono necessarie attività di *survey* archeologico²⁷⁹ nelle aree con medio e alto potenziale, ma esula dalle loro possibilità indicare quale sarà il risultato di tali esplorazioni (quindi la qualità dell’insediamento). Per rendere i modelli predittivi uno strumento più utile bisognerebbe compiere un ulteriore passo in avanti, rendendo sempre meno vaghi i concetti di bassa, media e alta probabilità²⁸⁰.

Il prossimo paragrafo è dedicato proprio alle correzioni apportate soprattutto, ma non solo, dai colleghi olandesi per cercare di raggiungere tale obiettivo.

3.1.3 Essere certi dell’incertezza

Secondo la classificazione fornita da Verhagen²⁸¹ un buon modello predittivo deve soddisfare almeno cinque requisiti; non deve limitarsi ad una zonizzazione con aree suddivise in alta, media e bassa probabilità ma deve prevedere una spiegazione dell’approccio adottato; seguire un metodo trasparente e quindi riproducibile; deve essere ottimizzato; deve essere stato testato; deve specificare il livello di incertezza e, di conseguenza, stimare una forchetta relativa rischio nella classificazione delle aree.

La qualità di un modello predittivo è giudicata tramite una formula che fornisce il rapporto tra accuratezza e precisione²⁸², in quanto l’abilità del modello consiste nel limitare il più possibile l’area con il potenziale più alto.

²⁷⁸GUEMANDI 2001.

²⁷⁹L’interpretazione dei risultati da ricognizione e la visibilità dei siti individuati costituisce, ovviamente, un’ulteriore questione. Per l’Olanda il tema è stato affrontato da TOL *et al.* 2004.

²⁸⁰VERHAGEN 2006.

²⁸¹VERHAGEN 2008, p. 285.

²⁸²La formula, di facile applicazione, è in KVAMME 1988.

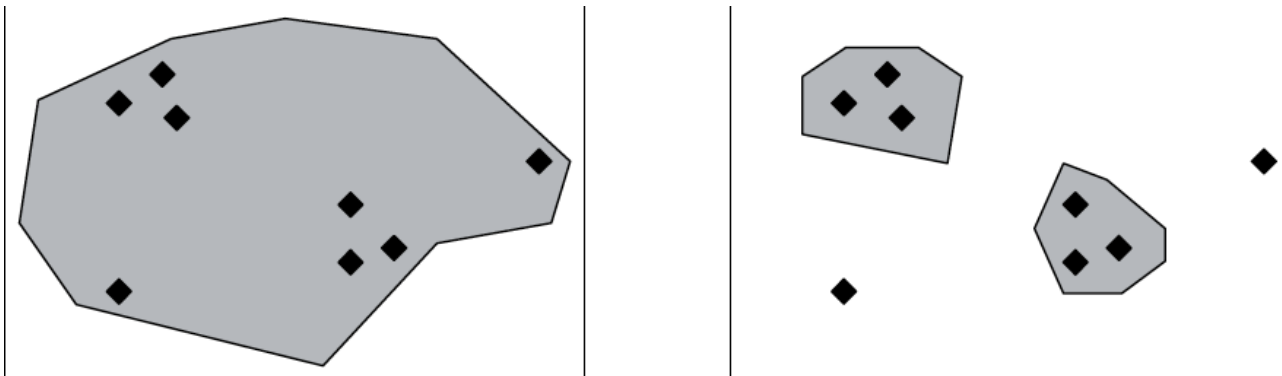


Figura 3. La differenza tra accuratezza e precisione: il modello di sinistra ha un livello di accuratezza massimo, ma il sistema a destra è più preciso (da Verhagen 2008).

Nella *Indicative Map of Archaeological Values* si è affrontato il problema giungendo ad attribuire, in definitiva, a ogni regione dell'Olanda un valore numerico del suo rischio archeologico. Naturalmente, ciò ha generato il sorgere di una serie di difficoltà per le amministrazioni sulla bontà delle scelte da compiere: avere una percentuale dello 0.79 (quindi molto alta in una scala tra 0 e 1) implicava meccanicamente di dover sottoporre ad una rigida tutela quasi l'80% del proprio territorio? Come trattare il bias²⁸³? Qual era il rischio o il margine di errore?

²⁸³Il termine è mutuato dalle *hard sciences*, come la fisica, dove indica una costante che può condurre a un errore sistematico all'interno di un modello. Nella letteratura archeologica bias è considerato quel fattore di distorsione del nostro quadro sul record archeologico (e che agisce principalmente nella fase di raccolta dei dati). Nella prassi predittiva non solo archeologica esso corrisponde a una misura della rigidità e della poca o troppa (c.d. *overfitting*) flessibilità del modello, che non risulta capace a elaborare tutti i segnali provenienti dai *dataset*. Nelle procedure di predittività archeologica il bias può essere il non-dato che inficia il risultato finale (cioè la cartografia). Più che essere un problema legato esclusivamente ai sistemi predittivi, il bias è strettamente correlato con le tradizioni generali della ricerca archeologica, e, in particolare, può essere considerato una caratteristica del modo con cui sono raccolti i dati in archeologia.

Distinguiamo, infatti, un bias di tipo concettuale, quando la classificazione di dati avviene seguendo rigidi concetti preimpostati e porta, quindi, a tralasciare una parte del record archeologico e ad esaltarne un'altra. Un bias legato alla visibilità, cioè la probabilità che un manufatto sia segnalato o meno; infine, il bias dell'osservatore, distinto da quello della visibilità e connesso all'abilità dell'osservatore di saper leggere e catturare l'informazione che è visibile. Per una disamina dei bias vedi VAN LEUSEN 2002, pp. 6-19.

Per un'analisi dei bias nelle operazioni di ricognizione archeologica vedi COWLEY 2016; sui bias nei modelli di predittività archeologica vedi CITTER 2012, p 14.

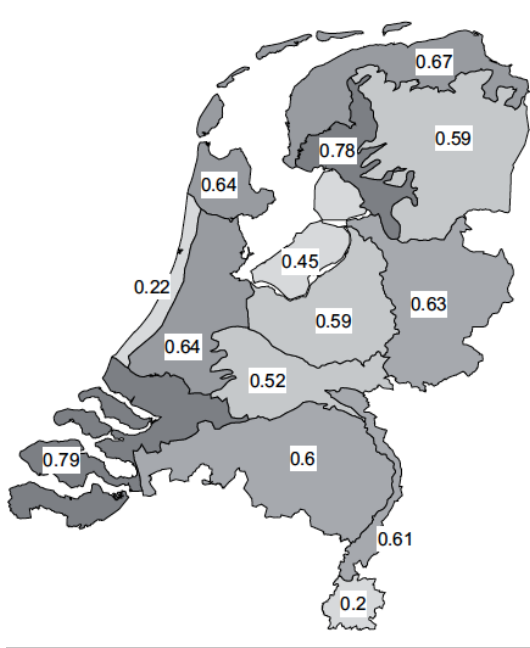


Figura 4. Applicazione del valore di Kvamme a tutte le regioni dell'Olanda (da Verhagen 2008).

Molti sforzi sono stati spesi nel tentativo di risolvere una questione abbastanza complessa, che si snoda tra problemi di inferenza statistica, di raccolta dei dati, di geologia e, ovviamente, di teoria archeologica. Di fatto, è rintracciabile anche una parte di letteratura scientifica che, in maniera abbastanza radicale, sostiene l'impossibilità di giungere a un livello di predittività tale da rendere accettabile il margine d'errore²⁸⁴. Nel tentativo di superare tali posizioni così estreme, si è ricorso per la verifica di un modello (quindi per calcolare il suo innegabile e incancellabile livello d'incertezza) all'impiego di una parte del campione dei *dataset* precedentemente non utilizzata; in tal maniera, si è successivamente applicato il modello predittivo, e verificato così il risultato ottenuto con quello avuto in precedenza. Tale approccio presenta alcune ovvi punti a suo sfavore; in sintesi, anche la seconda metà dei dati, infatti, è ottenuta applicando la stessa metodologia della prima metà e, pertanto, una criticità nel metodo con cui si sono raccolte le informazioni inficerà l'intero gruppo.

Un'altra strada percorribile è quella del ricampionamento, da attuare, per esempio, attraverso la *cross-validation*. Non ci addentriamo ulteriormente in questioni strettamente legate alla matematica e alla statistica e rimandiamo all'ampia e specifica bibliografia edita²⁸⁵, salvo sottolineare, qualora

²⁸⁴Queste posizioni sono molto diffuse soprattutto in paesi quali la Francia o l'Inghilterra, dove l'approccio metodologico prevalente è quello della sostituzione dei modelli predittivi con attività di ricognizioni a tappeto (*full survey*) dell'area oggetto d'analisi. Sulla possibilità di predire l'inatteso vedi anche ZUBROW 2015

²⁸⁵Sul campionamento in archeologia ORTON 2000; sul ricampionamento LUNNEBORG 2000; sulla statistica applicata a modelli induttivi ROSE-ALTSCHUL 1988.

non fosse già chiaro, come ancora non sia stata trovata una soluzione valida per testare al meglio i modelli e come la questione rimanga aperta.

Maggiore successo ha ottenuto il tentativo di inserimento nei sistemi predittivi di alcuni strumenti per calcolare e rendere oggettivi parametri chiaramente soggettivi quali le opinioni degli esperti. Si tratta di un approccio che, come abbiamo visto, caratterizzava inizialmente i sistemi costruiti con metodo deduttivo.

Tra le possibilità che le scienze matematiche ci offrono, al di là della logica *fuzzy* già discussa nei capitoli precedenti, gioca un ruolo di primo piano l'inferenza bayesiana, non a caso uno degli approcci metodologici più utilizzati per la *risk analysis*²⁸⁶.

La matematica bayesiana è già entrata a far parte del mondo dell'archeologia²⁸⁷, venendo utilizzata soprattutto per la calibrazione del C14²⁸⁸. Per le nostre ricerche, e in maniera assai sintetica, basti sapere che nell'approccio bayesiano la probabilità è strettamente collegata al grado di valore dato all'evento sulla base di un giudizio emesso da persone esperte. È pertanto considerata la possibilità di modificare il valore della probabilità data a priori, ottenendo così una probabilità definita a posteriori. Sebbene non si tratti di un metodo eccessivamente complicato, soprattutto dopo l'avvento del *computer*, la sua conoscenza non è, naturalmente, inserita tra le nozioni su cui solitamente si confrontano gli archeologi. Questo potrebbe spiegare perché sia abbastanza limitato il numero di lavori di predittività che sfruttano tale approccio²⁸⁹. Esso ha il grande pregio, almeno per il campo di nostro interesse, di esplicitare all'interno dell'analisi statistica convinzioni soggettive precedenti, producendo una stima dell'incertezza delle probabilità calcolate espressa attraverso intervalli di deviazioni e credibilità. In tal maniera, si riesce a dare un valore numerico alle 'opinioni degli esperti', che costituiscono uno dei parametri del prodotto finale della c.d. *posterior densities result*. Naturalmente il valore può essere manipolato in base alla mancanza o meno di dati archeologici puntuali, alzandolo o abbassandolo di conseguenza.

Per concludere questa brevissima esposizione, ci sembrano perfette le parole di Citter:

²⁸⁶Sui principali metodi di *risk analysis* e di quantificazione dell'incertezza vedi DE GUIO 2015, pp. 304-305. Tra le altre procedure citiamo la Dempster Shafer: vedi MALPICA *et al.* 2007; CANNING 2005. Sull'incertezza nel *archaeological computation modeling* vedi BROUWER BURG 2016.

²⁸⁷BUCK 1999.

²⁸⁸BAYLISS 2015.

²⁸⁹Rassegna in VERHAGEN *et al.* 2011, p. 570 dei modelli predittivi editi; per gli ultimi aggiornamenti vedi i lavori di HITCHINGS *et al.* 2016; 2013 sulla Giordania. Sull'inferenza bayesiana nella *Landscape Archaeology* vedi FINKE *et al.* 2008.

«L'indeterminatezza è parte integrante della predittività, ma questo non comporta anarchia²⁹⁰».

3.1.4 La lunga strada della predittività in Italia

Come abbiamo visto, in alcuni paesi come l'Olanda, i modelli predittivi giocano un ruolo cruciale nelle politiche di tutela del patrimonio culturale e nella pianificazione ambientale. In Italia, invece, nonostante la lunga tradizione di studi di Topografia Antica, siamo ancora molto lontani dall'aver a disposizione strumenti così sofisticati e utili. Basti pensare, per esempio, che soltanto dopo prese di posizioni abbastanza forti, con raccolte firme e articoli di pressione sui principali giornali, si è riusciti a mantenere nel nuovo Codice degli Appalti gli articoli inerenti l'archeologia preventiva²⁹¹. La via per la predittività appare ancora molto lunga e lastricata di diffidenze e generale scetticismo. Dall'analisi della bibliografia prodotta negli ultimi decenni, emergono molti dati che sembrano confermare la nostra ipotesi. In prima battuta un semplice confronto cronologico rende impietosamente chiaro il ritardo con cui nel nostro Paese si sono imposte determinate concetti e riflessioni. Il primo modello predittivo olandese a livello nazionale risale, come già visto, alla fine degli anni Novanta; nel medesimo periodo in Italia la letteratura scientifica era invece dominata dalla discussione sul 'rischio archeologico'²⁹², un tema spesso in connessione con la salvaguardia del patrimonio archeologico nelle città²⁹³. In questa sede non torneremo sulle numerose Carte del Rischio²⁹⁴ create nell'ultimo trentennio né sui limiti di tale strumento, in quanto sono già state prodotte numerose e valide rassegne sull'argomento²⁹⁵. Si ritiene, invece, più opportuno soffermarsi

²⁹⁰CITTER 2012, p. 13.

²⁹¹Art. 25 del DL gs 50/2016; in MALNATI 2008 l'analisi sconcertante di ciò che non è successo nei primi anni di applicazione della normativa.

²⁹²GELICHI 2001, p. 8 per l'analisi dell'insistenza, quasi una forma di esasperazione, dell'espressione rischio archeologico.

²⁹³Ricca bibliografia in BROGIOLO 2000;

²⁹⁴Dai primi modelli di derivazione anglosassone si è passati alle più recenti e organiche elaborazioni prodotte inizialmente quasi esclusivamente per le regioni e città del Nord e Centro Italia. Citiamo l'esempio senese TIXIER 2009 e modenese (Faenza) GUARNIERI 2000. Sul sistema informativo della Carta Archeologica d'Italia sempre valido AZZENA-TASCIO 1996.

²⁹⁵CALAON-PIZZINATO 2011; AZZENA 2001. Da sottolineare come nell'ultimo decennio siano apparsi molti e ottimi contributi anche per le realtà urbane del Sud Italia, nati grazie a collaborazioni tra enti e istituti diversi. Per l'esperienza lucana del progetto CAM, frutto del lavoro congiunto della Scuola di Specializzazione di Matera, il comune e la locale Soprintendenza vedi: SOGLIANI-ROUBIS, 2011; COLUCCI *et al.* 2008. Per la città di Catania, invece, dopo lunghi decenni di attesa è stata pubblicata la Carta Archeologica da TORTORICI 2016; quasi in contemporanea è stato edito il primo volume del progetto, ancora tutto da scoprire, OPENCITY del CNR Ibam, vedi MALFITANA *et al.* 2016.

sul concetto di potenziale archeologico, vero e proprio indicatore del cambio di paradigma che ha aperto la strada alla sperimentazione dei primi modelli predittivi italiani. La nozione di potenziale si è imposta nella letteratura più recente a scapito della formula più tradizionalmente adottata di rischio-rischio assoluto. Con la dicitura ‘potenziale archeologico’ si intende « ...*la probabilità, più o meno alta, che vi sia conservata una stratificazione archeologica di minore o maggiore rilevanza*²⁹⁶». La definizione, abbastanza chiara e lineare, nasce da una diversa visione dell’elemento archeologico: non più un problema o un ostacolo per la crescita, ma una risorsa non rinnovabile che, per acquisire senso, deve essere a disposizione della comunità. In questa nuova chiave di lettura, possiamo anche accettare la visione del rischio come un problema ma a patto che esso costituisca

«... la necessaria molla in base alla quale progettisti e imprese per minimizzare il rischio archeologico B (cioè il rischio per gli investimenti) hanno bisogno di affrontare in maniera corrette il rischio archeologico A (cioè il rischio di distruzione del patrimonio culturale), il rischio archeologico tout court²⁹⁷».

Sulle modalità di affermazione della nuova *vision* hanno certamente influito positivamente più fattori, tra questi: la progressiva organicità con cui sono entrate a far parte delle logiche di gestione del territorio le procedure di VIA (Valutazione Impatto Archeologico) e VAS (Valutazione Ambientale Strategica)²⁹⁸ e la più recente Convenzione di Faro²⁹⁹. Proprio come in Olanda, di fatto l’inserimento dell’archeologia nel processo decisionale ha stracciato il velo dietro al quale si celava la ritrosia dell’accademia nel dedicare al tema l’attenzione che meritava. In aggiunta, l’evoluzione della disciplina legislativa ha reso necessario tale salto di paradigma. L’Italia, di fronte a un’esigenza così pressante e urgente, scoprendosi del tutto impreparata, si è vista costretta a dover

²⁹⁶ANICHINI *et al.* 2012, p. 44.

²⁹⁷GULL 2016, p. 1078.

²⁹⁸Sul rapporto tra archeologia e pianificazione territoriale segnaliamo GENNARO 2017; CALAON-PIZZINATO 2013; CAMPEOL-PIZZINATO 2011; RICCI 2002; FRANCOVICH *et al.* 2001; AMENDOLEA 1999; GELICHI 1992. Su VAS e archeologia CALIANO 2008.

²⁹⁹La Convenzione di Faro firmata ad Ottobre del 2005 nella cittadina portoghese ha sancito una nuova stagione nel rapporto tra patrimonio culturale e società. Il testo è consultabile all’indirizzo http://www.beniculturali.it/mibac/multimedia/MiBAC/documents/1492082511615_Convenzione_di_Faro.pdf (ultimo accesso 4/6/2017); per un’analisi delle novità introdotte dal documento vedi CARMOSINO 2013.

recuperare il tempo perduto³⁰⁰. Così, soprattutto in quelle regioni come l'Emilia Romagna o la Toscana³⁰¹ in cui anche le pubbliche amministrazioni erano più sensibili al tema, sono nati progetti che fino a pochi anni prima sarebbero stati del tutto impensabili. Nello stesso tempo, anche l'Università, seppur lentamente, è mutato l'atteggiamento; molti passi sono stati compiuti e recenti lavori hanno permesso, infatti, di chiarire meglio concetti quali quelli di vulnerabilità, di potenziale archeologico, e, soprattutto, le modalità con cui esso andava calcolato e inserito nella nuova prassi esecutiva³⁰². Il contributo di studiosi non umanisti ha reso il dibattito metodologico ancora più interessante. Ci riferiamo, per esempio, al lavoro di Caliano, un ingegnere che si è occupato, durante il triennio del dottorato, di potenziale archeologico e pianificazione ambientale, temi assolutamente lontani, almeno in precedenza, all'orizzonte ingegneristico. Il modello creato dal suo *team* per l'area campana di *Paestum* presenta diversi punti degni di menzione; *in primis*, l'inserimento del calcolo della 'vulnerabilità' all'interno della più generale valutazione del rischio, sebbene, da un punto di vista metodologico, tale posizione non sia del tutto condivisibile in quanto la vulnerabilità diventa meramente una funzione della profondità raggiunta dall'intervento; poi, la stima del livello di 'pericolosità' del progetto in rapporto all'ambiente su cui si inserisce; o ancora la formula matematica definitiva che riassume l'indice di impatto archeologico³⁰³.

$$I_{ca} = Pt \cdot S_{el} \cdot E$$

Figura 5. Indice Impatto componente archeologica come prodotto del potenziale archeologico per la sensibilità degli elementi e per l'esposizione (da Caliano 2010)

In generale, il sistema pensato e sperimentato per la piana del Sele da Caliano si contraddistingue per la sua natura fortemente induttiva, tratto che emerge dalla presenza del calcolo di fattori quali il campo visivo, l'esposizione e la pendenza dei versanti. Esso, inoltre, almeno in alcuni passaggi appare un po' farraginoso, soprattutto se dovessimo pensare a un'applicazione pratica delle formule

³⁰⁰Una breve sintesi sul panorama italiano in SERLORENZI-BOI 2016.

³⁰¹Paradigmatico il caso delle Carte Archeologiche di Cesena, vedi GELICHI *et al.* 1999 e, per la Toscana, Grosseto, CITTER 2007b. Da segnalare anche il progetto CART (Carta Archeologica del Rischio Territoriale), frutto di una politica del dialogo all'interno della Regione Emilia Romagna, in particolare tra l'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali e la Soprintendenza, avviato nel 1995. Per ulteriori dettagli GUEMANDI 2008.

³⁰²GULL 2016; ANICHINI *et al.* 2013b; CALIANO *et al.* 2010.

³⁰³CALIANO 2011, p. 52.

e delle tabelle costruite.

3.1.4.1 Da MAPPA agli ACTION-based GIS: alcuni esempi di modelli predittivi italiani

Il sistema proposto da Caliano costituisce solo uno dei numerosi esempi di modelli simili nati nell'ultimo decennio in Italia³⁰⁴. La realizzazione di una carta di predittività archeologica per l'area urbana di Pisa è stato l'obiettivo primario del progetto MAPPA (Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico)³⁰⁵. Da un punto di vista 'politico', l'arma vincente è da trovare proprio nell'aver fissato degli obiettivi comuni tra le varie componenti, cioè Università, Regione ed Enti di tutela. Il dialogo instaurato su di un principio generale di condivisione dei dati ha così permesso di rendere fruibili e pubblicabili preziose informazioni che giacevano nei polverosi archivi della Soprintendenza. L'iniziativa, nata inizialmente grazie ad un finanziamento regionale e alcuni tesi di dottorato di studiosi dell'Università pisana, ha rappresentato un notevole passo in avanti per il nostro Paese, soprattutto per il suo evidente approccio multidisciplinare, per la novità metodologica del contesto *Open Data* in cui è stato sviluppato e per l'applicazione di un algoritmo *PageRank* per il calcolo del valore del potenziale. Il prodotto finale è stato pubblicato in un WebGis, rendendo così un servizio a molti. Lo strumento è facilmente consultabile sia per le amministrazioni locali che per gli studiosi di predittività. Passiamo ad analizzare, seppur brevemente, alcune caratteristiche innovative del sistema creato. Come dicevamo, MAPPA si distanzia dai modelli predittivi olandesi analizzati in precedenza perché il calcolo del potenziale archeologico totale³⁰⁶ non è fondato su metodi statistici più o meno corretti, ma poggia sul funzionamento di un algoritmo, *PageRank*, lo stesso utilizzato dai motori di ricerca per indicizzare le pagine web³⁰⁷. Secondo gli autori, la scelta si giustificherebbe con la sostanziale «*analogia tra i criteri usati per attribuire il potenziale archeologico e quelli utilizzati per assegnare l'importanza delle pagine web nei motori di ricerca*³⁰⁸». La stima del potenziale starebbe, secondo tale impostazione, nella capacità di leggere le relazioni spaziali, tipologiche o cronologiche che esistono

³⁰⁴SERLORENZI-BOI 2016 per un quadro generale sul panorama italiano.

³⁰⁵Sugli obiettivi primari del progetto MAPPA vedi GUALANDI 2013, p. 7.

³⁰⁶Il potenziale archeologico totale è dato dalla somma dei potenziali archeologici di ogni singola epoca storica, nel caso pisano Protostoria-Età Etrusca-Età Romana...

³⁰⁷DUBBINI *et al.* 2015.

³⁰⁸DUBBINI 2013, p. 101.

tra gli elementi archeologici rinvenuti; l'esempio classico è quello della presenza di una strada in prossimità di una *domus* o di una chiesa con un campanile. Il *software* si comporterebbe, pertanto, come un archeologo, scovando e leggendo, nel paesaggio l'archeologo nel sistema di archiviazione il programma informatico, i nessi esistenti tra i dati raccolti. Naturalmente i dati inseriti sono stati geo-riferiti e 'pesati' differientemente in base alla loro natura: informazioni vaghe e riferibili a categorie non ben determinabili hanno avuto naturalmente un peso minore rispetto a dati puntuali e precisi. La pesatura è intervenuta anche nella stima del potenziale totale di ogni periodo archeologico. Infatti, l'idea che la mancanza di *evidence* per un determinato arco cronologico comporti una stima più alta del potenziale archeologico è stata resa, matematicamente, dividendo il valore del potenziale per un numero inferiore di celle³⁰⁹.

Appare chiaro come sia un necessario e logico prerequisito di tutte le precedenti operazioni la corretta creazione di *dataset* in cui sono immagazzinate informazioni archeologiche, geomorfologiche, paleogeografiche, storiche...³¹⁰.

In generale possiamo affermare che il progetto MAPPA, nonostante alcune lacune³¹¹, rappresenti senza ombra di dubbio il più completo sistema predittivo per area urbana e periurbana d'Italia. Nella letteratura specialistica sono già apparsi un numero già considerevole, almeno per gli standard italiani, di casi studio paragonabili all'esempio pisano. L'approccio metodologico più frequente è quello tipicamente induttivo ed eco-determinista, sviluppato anche grazie a nuovi *tool* presenti nei programmi GIS (superfici di costo, visibilità e 'nuovi vecchi' strumenti come i Poligoni di Thiessen) e che rappresenta la scelta ideale per mettere in relazione diretta l'ambiente naturale e i siti archeologici. Appartengono a questa categoria i contributi sulla costa teramana³¹², su Modena³¹³, Parma³¹⁴ o sul paesaggio preistorico pugliese³¹⁵. Come si nota, si tratta di esperienze sviluppate con procedure simili ma nate con intenti diversi; il lavoro di Danese e della sua *equipe*

³⁰⁹L'area oggetto di analisi è suddivisa in celle, con un numero di *layer* uguale agli archi cronologici considerati.

³¹⁰Sull'acquisizione della documentazione archeologica FABIANI 2012; sulla struttura di archiviazione FABIANI-GATTIGLIA 2012.

³¹¹Nonostante i *testing*, lavori di calibratura, variazione dei pesi di ogni fattore che concorre nel calcolo del potenziale e del rischio manca del tutto un'analisi sui margini di errore del modello.

³¹²DI ZIO-BERNABEI 2015, modello costruito su ARCGIS e con sistema di ponderazione pensato all'interno della *Multicriteria Decision Analysis*.

³¹³MONTI 2014.

³¹⁴BIGLIARDI 2009

³¹⁵DANESE *et al.* 2014.

costituisce uno studio predittivo di tipo accademico, con stima delle posizioni dei siti neolitici della Daunia, gli altri esempi, invece, sono stati costruiti per avere un'immediata applicabilità all'interno delle politiche di gestione e pianificazione del paesaggio (con terminologia inglese *research perspective* e *management perspective*).

Altre linee tendenze emergenti all'interno del panorama italiano sono quelle dettate dalla c.d. *ACTION-based GIS*³¹⁶, rappresentata in Italia dai lavori, soprattutto sul Veneto, della scuola padovana e in particolare di Casarotto³¹⁷. Le procedure *ACTION-based*, nate grazie all'apporto dell'Antropologia statunitense³¹⁸, prevedono la costruzione di un sistema predittivo abbastanza complesso, in cui le scelte allocative e le altre dinamiche vengono calcolate partendo da una stima del movimento; all'interno di una visione fortemente dinamica del paesaggio, il movimento viene considerato come la principale forza che genera le trasformazioni apportate all'ambiente; l'analisi dei sentieri e delle vie che conducevano gli uomini ai principali corsi d'acqua, ai luoghi ricchi di risorse naturali o agli altri siti costituiscono i principali fattori che permettono di ricostruire la concezione che l'uomo aveva del paesaggio che lo circondava. Questo modello, influenzato dall'Archeologia Cognitiva, è stato applicato per la val d'Alpone (provincia di Verona) con l'obiettivo di inferire il percorso dei sentieri antichi applicando anche la funzione dei costi topografici (rapporto tra energia e pendenza dei rilievi)³¹⁹, la distanza degli insediamenti dall'acqua. Naturalmente, il valore euristico di tali costruzioni si scontra con alcune ovvie difficoltà. Per esempio, l'intero sistema si basa sul principio della minima spesa energetica per raggiungere un qualsiasi punto, fondamento metodologicamente vero nell'odierno mondo moderno capitalista ma non necessariamente valido anche per le società passate³²⁰. Inoltre, è ben nota, sia dalle fonti scritte

³¹⁶Filone originato da LLOBERA 2000 che si occupa della relazione tra il movimento e i Sistemi Informativi Territoriali nelle analisi sui paesaggi. Vedi anche il più recente LLOBERA *et al.* 2011

³¹⁷CASAROTTO 2015; CASAROTTO-KAMERMANS 2013; CASAROTTO *et al.* 2011; CASAROTTO *et al.* 2009.

³¹⁸ALDENDERFER-MASCHNER 1996.

³¹⁹CASAROTTO *et al.* 2009, pp. 298-299. Con i più recenti lavori incentrati sulla stima della funzione dei costi si è iniziato a costruire modelli più complessi, dove sono presi in considerazione molteplici fattori, quali l'età, le condizioni climatiche, precedentemente negletti e che influiscono notevolmente sul risultato finale. Viaggiare in estate o in inverno, a pieno carico, a piedi o in sella a un cavallo non comporta lo stesso dispendio di energia. Sull'argomento vedi DE SILVIA-PIZZIOLO 2000.

³²⁰Si tratta, al di là delle critiche, del filone di ricerca più diffuso negli ultimi decenni; sono impiegate, soprattutto, le applicazioni che permettono il calcolo delle visuali (o angoli di vista). Tali *tool* permettono di coniugare il mondo dei Sistemi Informativi Territoriali con l'approccio post-processualista, costituendo lo strumento migliore per lo studio delle dinamiche di percezione del paesaggio. Bibliografia molto ampia, vedi la sezione dedicata al '*Modelling movement and perception*' del CAA del 2007, edito da POSLUSCHNY *et al.* 2008, pp. 309-344; vedi anche HIGGINBOTTOM *et al.* 2002; LLOBERA 2001; VAN LEUSEN 1999; WITCHER 1999. Sintesi delle critiche, tra cui il c.d. *tree factor*, ovvero la difficoltà nel conoscere la consistenza della vegetazione in epoca antica in WHEATLEY-

sia dai dati di scavo, l'importanza, culturale o come manifestazione del potere, esercitata da alcuni luoghi naturali quali particolari rocche o fonti d'acqua la cui localizzazione sfugge spesso dalle rigide logiche sopra menzionate³²¹.

Risultano di grande interesse anche le elaborazioni tecniche e le considerazioni sviluppate da Citter e dal suo *team* senese³²². Si tratta di progetti incentrati, con un ampio uso di analisi spaziali, sulla ripresa dello studio delle città medievali italiani, oltre a riflessioni di carattere metodologico sull'impiego dei modelli predittivi in Italia e, soprattutto, nell'ambito dell'archeologia post-classica³²³. Nello specifico³²⁴, è stato pensato e costruito un modello per l'area urbana e periurbana di Grosseto, principale area di interesse del *team*, abbastanza trasparente nella sua struttura. Grazie a un *dataset* geomorfologico molto ricco, il sistema ha localizzato i possibili siti legati alla produzione del sale dall'età tardo-antica al tardo Medioevo, una tematica fino ad ora scarsamente rappresentata in letteratura a causa della rarità di dati provenienti da contesti scavati. Il sistema è stato poi ulteriormente implementato e ha permesso l'analisi di altri fattori insediativi quali la qualità dell'insediamento, le proprietà, la presenza di risorse naturali³²⁵. In generale, si tratta di lavori³²⁶ che si caratterizzano per essere concepiti principalmente per finalità accademiche e si contraddistinguono per un approccio che rifiuta nettamente il determinismo ecologista-ambientale. Segnaliamo, all'interno della vasta produzione scientifica di Citter, anche alcune riflessioni metodologiche sull'archeologia post-dittiva³²⁷, proprio l'argomento che affronteremo nel prossimo paragrafo.

GILLINGS 2000, pp. 8-14.

³²¹Sui paesaggi di potere DE GUIO 2000.

³²²Oltre alle numerose pubblicazioni va menzionata anche l'organizzazione di un' *International Summer School Predictivity in Archaeology*

³²³CITTER 2012. Per altri progetti di archeologia post-classica pensati in ambiente GIS vedi: CASTRORAO BARBA *et al.* 2016a per la Sicilia centrale; DE GUIO *et al.* 2015a per le Prealpi venete; GATTIGLIA 2013 per Pisa; il II volume del *Journal of Post Classical Archaeology*, edito nel 2012, in generale per una panoramica su esperienze italiane ed estere.

³²⁴CITTER-ARNOLDUS-HUYZENDVELD 2012.

³²⁵CITTER-ARNOLDUS-HUYZENDVELD 2014.

³²⁶CITTER *et al.* 2013.

³²⁷CITTER *et al.* 2016.

3.1.5 *Genesi e sviluppo dell'archeologia post-dittiva*

All'interno del quadro metodologico delineato, sta emergendo nel corso degli ultimissimi anni una nuova linea di ricerca incentrata sulla costruzione di modelli postdittivi. Il concetto di postdittività è entrato all'interno dei fondamenti teorici di numerose discipline quali la statistica, le neuroscienze, la psicologia forense, la psicomatria e si trova alla base anche di numerose procedure e modelli come quelli impiegati per l'analisi del rischio o per la verifica dei dati.

Un *postdictive approach* è quello generalmente impiegato dai chimici o dai fisici sub-atomici nei casi di costruzione di modelli relativi ai materiali. Sapendo che per avere *quel* modello che si comporta nelle modalità già osservate, essi utilizzeranno in laboratorio *quei* determinati reticoli con *quel* tipo di interazione. L'esempio classico è il modello sviluppato da Heisenberg con il reticolo triangolare. In linee più generali, un modello postdittivo è costruito partendo da un *dataset* e la sua accuratezza è valutata attraverso il medesimo *dataset*, confrontando, però, i valori osservati con quelli attesi. Il più accurato tra i sistemi postdittivi sarà abbastanza diverso dal migliore sistema predittivo poiché i due approcci si separano notevolmente. In termini non matematici, essi, infatti, nascono come risposte a domande diverse³²⁸: *who, where, what* contro il solo *why* dell'approccio postdittivo. In linea generale, il modello predittivo puro è costruito applicando sistemi statistici, tentando di comprendere come i fattori siano correlati tra loro. Al contrario, un modello postdittivo puro ribalta molti degli assunti precedenti, utilizzando regressioni lineari e assumendo formule matematiche più semplici con concatenazioni di variabili. Una logica binaria porterebbe, pertanto, ad una scelta quasi filosofica tra i due sistemi. Una posizione molto netta e diffusa in diversi settori disciplinari riflette una generale preferenza per i modelli predittivi³²⁹. Secondi alcuni studiosi, infatti, il principio che muove la scienza è condurre esperimenti per studiare e prevedere meglio eventi futuri e non per conoscere eventi già noti.

Noto l'aforisma secondo cui la psicoanalisi altro non sia che un sistema postdittivo: essa è in grado di razionalizzare gli eventi ma solo *ex-post* e senza essere in grado di prevederli prima³³⁰. Tra gli studiosi di filosofia della scienza, anche l'archeologia, compresa all'interno del più ampio gruppo di scienze dell'antichità, è considerata tra le discipline postdittive (come astronomia, geologia, storia...) in quanto studia e accumula *evidence* per spiegare comportamenti o fenomeni già

³²⁸Non a caso alcune discipline prediligono l'uso di modelli predittivi mentre altre quelli postdittivi. Per un confronto su modelli predittivi e postdittivi nelle scienze sociali vedi TAAGEPERA 2007; GAUCH Jr 2003, pp. 318-319 per l'apporto dei modelli postdittivi negli studi di epistemologia.

³²⁹GAUCH-ZOBEL 1988; GAUCH-ZOBEL 1990.

³³⁰EYSENCK-WILSON 1973, p. 380.

avvenuti.

Negli ultimi anni si sta assistendo in archeologia a una sempre crescente attenzione verso il tema della postdittività. Pur rimanendo ancora assai distanti dalla ricchezza e raffinatezza di alcuni contributi incentrati sulla archeologia predittiva e in mancanza, ancora, di una trattazione organica e sistematica, affiora una letteratura di nicchia altamente specializzata in cui analisi predittive e postdittive si completano a vicenda. È stato osservato, infatti, come l'inserimento all'interno di un modello predittivo di una procedura postdittiva possa risultare molto utile, soprattutto nella fase di validazione del modello. Infatti, non ci troveremmo di fronte soltanto a una banale, per dirla con un linguaggio semplice e diretto, 'prova del 9', di un tentativo e di una metodologia nati esclusivamente in funzione di un test del sistema predittivo. L'*output* finale comporterebbe, in realtà, un affinamento delle tecniche impiegate (sia statistiche che logiche) nella sua gestazione, permettendo anche di implementare le procedure e smascherare alcuni dei più ricorrenti *bias* che affliggono i modelli. Non sfugge, comunque, come il principale prerequisito per eseguire un controllo postdittivo corretto sia la necessità di una maggiore quantità e migliore qualità dei dati a disposizione rispetto a quelli necessari per l'analisi predittiva. Si tratta di un discrimine spesso assai limitante soprattutto per l'archeologia, settore nel quale l'accesso e la qualità dei dati pubblicati costituisce da molto tempo un serio problema. Nel nostro settore, ai fini di una corretta applicazione di un'analisi postdittiva dovremmo, pertanto, avere un quadro assai completo. Dovremmo aver scavato tutti i siti (e soprattutto riconoscere anche le aree lasciate libere –*off sites*–) presenti nell'area oggetto di studio, valutandone la gerarchia e la loro qualità (*central place*, fattoria, realtà urbana, sito militare...) e, allo stesso tempo, avere una visione diacronica e sincronica. Nel fortunatissimo caso in cui si possedesse l'intera *evidence* richiesta, l'approccio postdittivo rappresenterebbe il tanto agognato «*test della realtà...l'unico modo che abbiamo per affidare un minimo di credibilità ai dati ottenuti (dai modelli predittivi)*³³¹». Purtroppo nella stragrande maggioranza dei casi non possediamo tale fortuna e, pertanto, dobbiamo, in qualche modo 'limitarci'.

Tale ostacolo non ha fermato, per fortuna, la ricerca. Il lavoro degli studiosi ha, infatti, permesso di aprire nuove strade, tra cui la più interessante sembra essere la possibilità di inserire analisi postdittive all'interno di specifiche procedure archeologiche come la lettura dei dati da *remote sensing* o la verifica delle anomalie. Da un punto di vista concettuale, l'assunto è rimasto lo stesso: punto di partenza affidato ai dati noti e inversione del flusso di lavoro³³². Inoltre, come scopo finale non vi è più la ricerca di *evidence* non conosciuta, ma la verifica metodologica degli strumenti a

³³¹BERTOLDI *et al.* 2015, p. 241.

³³²DE GUIO 2015, p. 308: «*da terra cognita a terra incognita*».

disposizione grazie al confronto con quanto è già noto.

I primi progetti con approccio prevalentemente postdittivo stanno già fornendo i primi incoraggianti risultati. Per l'Italia si tratta dei lavori condotti da De Guio e da Citter. Il primo ha sperimentato tali procedure inizialmente nel complesso archeologico di Montegrotto Terme³³³ (provincia di Padova), sito ben noto sia grazie alle fonti letterarie sia grazie a numerose campagne di scavo, poi, in un secondo momento, anche per alcuni contesti rurali e d'altura³³⁴. Il secondo ha, invece, sviluppato mappe postdittive per la pianura di Grosseto, area ben conosciuta grazie a precedenti lavori. Nello specifico, grazie all'abbondanza di dati storici e archeologici per il tratto della via Emilia che interessa la pianura grossetana³³⁵, sono stati stimati e inseriti all'interno di cartografia vettoriale numerosi parametri antropici (*accumulated cost surface –acs-* per esempio) e ambientali della via romana³³⁶. Il risultato finale ha permesso la comprensione delle dinamiche e dei fattori che influenzarono la costruzione dell'arteria, delle scelte allocative e, allo stesso tempo, un affinamento di alcuni *tool* presenti nei software impiegati.

Dalla disamina dei lavori presentati, emerge chiaramente il duplice binario su cui sta muovendo i primi passi l'archeologia post-dittiva (se ci è consentito il termine). Da un lato, infatti, sfruttando il confronto con il dato archeologico macroscopico, soprattutto strade o porti³³⁷, le analisi puntano alla costruzione di modelli dall'elevato potenziale euristico e applicabili alla *Landscape Archaeology*; dall'altro, sfruttando gli straordinari progressi della *pattern recognition*, le procedure postdittive mirano a stabilire metodologie e protocolli in grado di mettere in relazione i dati di scavo con le anomalie registrate tramite attività di telerilevamento. Dedichiamo un particolare focus proprio a quest'ultima tendenza.

3.1.5.1 Approccio postdittivo al remote sensing: applicazioni (GE)OBIA

All'interno di tale cornice metodologica, abbiamo sottolineato come l'approccio postdittivo stia dimostrando la sua grande validità nel facilitare la lettura archeologica dei dati da *remote sensing*. Proprio all'interno del telerilevamento, sia satellitare che UAV, è da poco più di un decennio sorto

³³³BROGIOLO *et al.* 2012.

³³⁴DE GUIO *et al.* 2015b per contesti non urbani; DE GUIO *et al.* 2013 per un contesto d'altura.

³³⁵CITTER 2007a.

³³⁶CITTER *et al.* 2016, p. 597.

³³⁷PORCHEDDU 2016 per analisi pre- e postdittive sulla viabilità romana nei Pre-Pirenei spagnoli; PARCERO-OUBIÑA *et al.* cds sempre sulla strade romana spagnole.

un nuovo paradigma. Esso sembra promettere di rivoluzionare il modo con il quale si pensava, si analizzava e si lavorava con l'*imagery* da *remote sensing*³³⁸. Ci riferiamo a una nuova disciplina, formalmente nominata come GEOBIA³³⁹, acronimo inglese per *Geographic Object-Based Image Analysis*. Pur essendo così giovane, la materia ha trovato una sua formalizzazione in un manuale³⁴⁰ e la comunità di ricercatori ed esperti è cresciuta così tanto da aver organizzato già sei incontri internazionali³⁴¹. Secondo la definizione comunemente accettata³⁴², essa si configura come una branca delle *Geographic Information Science*, volta allo sviluppo di metodi automatici (o semi-automatici) per scomporre le immagini da telerilevamento in immagini-oggetti, assegnando a queste ultime caratteristiche spaziali e spettrali, così da generare nuovi dati già *GIS-ready*. Si tratta, pertanto, di un vero e proprio ponte tra i dati da *remote sensing* in formato raster e i dati vettoriali dei sistemi GIS, utilizzabili poi in diversi campi quali il monitoraggio del clima, delle risorse della terra, la lotta all'inquinamento³⁴³.

Da un punto di vista concettuale, l'analisi OBIA si fonda su pochi ma chiari pilastri. *In primis*, il superamento delle tradizionali tecniche di analisi basate sui pixel delle immagini ad alta risoluzione spaziale e la sostituzione con procedure di segmentazione degli oggetti-immagini (*image-object*). Il processo, chiaramente ciclico e ripetuto, prende avvio, appunto, con la segmentazione multiscalare dell'immagine (tramite algoritmi); i pixel sono, infatti, raggruppati così da formare oggetti omogenei che rientrano all'interno dei medesimi parametri. All'interno di tale *workflow* entrano in gioco diverse variabili o spettrali, come la riflettanza, o spaziali, come la posizione degli oggetti rispetto ad altri, la loro dimensione, la loro area, o anche le *texture*. Tutti questi fattori costituiscono i parametri della segmentazione³⁴⁴. Data l'assenza di linee guida e protocolli per selezionare al meglio tali parametri, ne sono stati creati di nuovi attraverso errori e sperimentazioni (operazione

³³⁸Per una riflessione, fatta da uno dei fondatori della disciplina, sulla visione delle procedure GEOBIA come nuovo paradigma dominante vedi BLASCHKE 2013.

³³⁹Ci sfuggono i motivi che conducono gli americani a pronunciare la parola '*geobeUH*'.

³⁴⁰BLASCHKE *et al.* 2008.

³⁴¹La prima conferenza si svolse a Salisburgo nel 2006, mentre l'ultima si è tenuta in Olanda, <https://www.geobia2016.com> (ultimo accesso 3/6/2017).

³⁴²HAY-CASTILLA 2008, p. 77.

³⁴³LANG 2008; vedi anche il volume speciale, numero 12, del 2012 della rivista *Remote Sensing* dedicato esclusivamente a casi studio OBIA.

³⁴⁴KHADANGA 2014 sul processo di segmentazione e sugli approcci utilizzati in ambienti diversi (eCognition o GRASS); JOHANSEN *et al.* 2010.

valida soprattutto nel caso dei contesti ambientali di interesse archeologico).

È stato osservato da autorevole fonte³⁴⁵ come il processo di segmentazione dell'immagine, in realtà, non sia un procedimento nuovo ma sia, per così dire, ritornato agli onori della cronaca scientifica grazie alla sua inclusione nelle procedure OBIA. Già qualche anno addietro, erano stati messi in luce i principali limiti che caratterizzano l'analisi *pixel-based*, tra cui la natura proprio del pixel; esso non è realmente un oggetto geografico e ciò non rende possibile utilizzare dati inerenti il contesto, la forma o la *texture*³⁴⁶.

Tornando alla descrizione, seppur concisa, del metodo OBIA, passiamo alla seconda fondamentale operazione successiva alla segmentazione, ovvero la classificazione. I semplici componenti dell'immagine, proprio come con la segmentazione, sono raggruppati in determinate classi in base ai valori in comune di alcuni parametri. L'assegnazione di proprietà spaziali e semantiche alle categorie più semplici di oggetti facilita, a sua volta, la definizione delle proprietà per gli oggetti di maggiore complessità. Per cercare di rendere più semplice la comprensione dell'intero meccanismo utilizziamo l'esempio proposto nel riquadro.

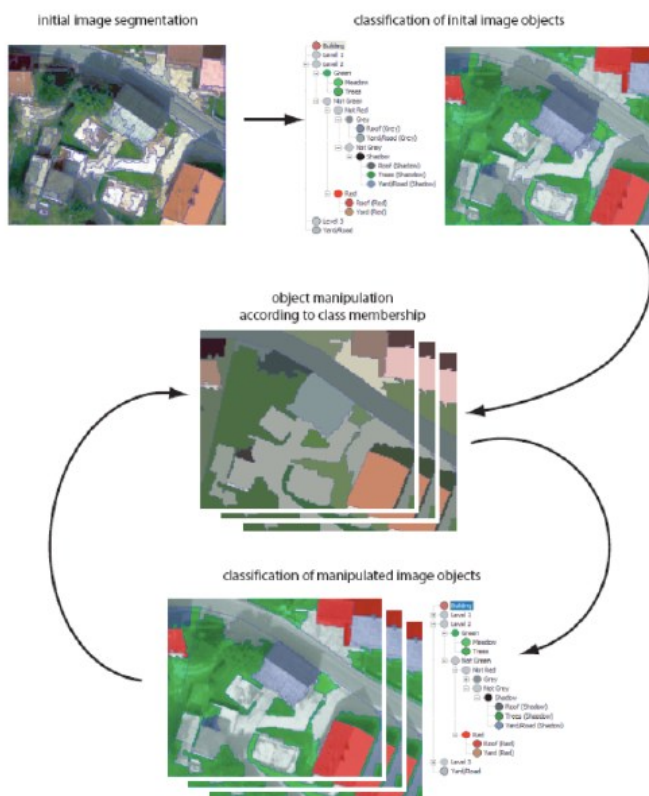


Figura 6. I principi GEOBIA: segmentazione e classificazione (Da Hoffman et al. 2008)

³⁴⁵BLASCHKE 2010.

³⁴⁶Per l'analisi sulle debolezze dell'approccio basato sui pixel vedi BLASCHKE-STROBL 2001.

Partendo da un'immagine satellitare VHR notiamo come attraverso segmentazione e classificazione il software riconosca e scomponga gli oggetti presenti: l'acqua delle fontane, la copertura vegetale del terreno, gli oggetti in marmo (ma era naturalmente in grado di frammentare e leggere anche i tetti degli edifici, le strade); partendo dal riconoscimento degli oggetti più semplici e dalle relazioni che esistono tra essi, alla fine il programma è in grado di riconoscere i tre complessi simili come giardini monumentali³⁴⁷.

Se, almeno a grandi linee, questi sono i meccanismi che regolano il procedimento, molto più chiaro è l'obiettivo dell'intero sistema:

«the primary objective of GEOBIA as a discipline is to develop theory, methods and tools sufficient to replicate (and/or exceed experienced) human interpretation of RS images in automated/semi-automated ways. This will result in more accurate and repeatable information, less subjectivity, and reduced labor and time costs³⁴⁸».

Evidente il peso che un approccio GEOBIA può avere nelle procedure predittive e soprattutto postdittive. Le applicazioni GEOBIA, infatti, possono migliorare le analisi delle anomalie archeologiche, riducendo soprattutto il tempo speso dall'operatore nell'operazione. Con un approccio *bottom-up* e postdittivo, però, si può compiere il procedimento inverso; l'archeologo può testare e, in caso positivo, validare l'esito della lettura effettuata dal software grazie alla conoscenza del sito (su cui per esempio si è già scavato). Sarà possibile, in tale maniera, arrivare alla formalizzazione di procedimenti e protocolli volti all'identificazione, in pochissimi minuti, di determinate *features* (come trincee, buche di palo, muri, fossati) in specifici contesti (soprattutto non alberati). Ci troviamo di fronte a una lunga strada di cui abbiamo percorso soltanto qualche metro. Le prime sperimentazioni, italiane ed estere, sembrano abbastanza incoraggianti³⁴⁹. In letteratura sono, infatti, già apparse e sono consultabili alcune stime e confronti, soprattutto con il filone predittivo; Verhagen e Drăguț sottolineano il grande risparmio di tempo che nasce

³⁴⁷Proprio tale funzionamento, così simile a quello dell'occhio umano, spiega perfettamente l'influenza e il peso sempre crescente ottenuto dalle pratiche GEOBIA nello studio dei paesaggi urbani o degli ambienti naturali.

³⁴⁸BLASCHKE-STROBL 2001, p. 12-17.

³⁴⁹Per l'Italia: oltre ai già citati contributi di De Guio, vedi MAGNINI *et al.* 2016 per l'identificazione dei crateri dovuti ad esplosioni della Prima Guerra Mondiale; lavori di carattere generale: SEVARA *et al.* 2016; SEVARA-PREGESBAUER 2014.

dall'applicazione di procedure GEOBIA per la classificazione a fini archeologici dei DEM: poche ore a fronte di un procedimento manuale che sarebbe costato almeno qualche settimana di lavoro³⁵⁰. Il controllo sul campo delle anomalie identificate come crateri creati dallo scoppio di bombe della Prima guerra mondiale ha segnato un livello di precisione molto alto e prossimo al 90%. Inoltre, uno dei punti più forti dell'intero metodo GEOBIA sta nella classificazione ottenuta. Essa, infatti, non è finale e grazie alla sua versatilità può essere esportata come *shapefile* con quanti attributi si desidera.

A fronte di tale successi, sussistono ancora alcune criticità da superare. A livello procedurale, infatti, il *software* migliore è eCognition, programma non *open* e abbastanza costoso³⁵¹; sviluppi futuri della disciplina non possono prescindere dalla necessità di disporre di algoritmi non chiusi e programmi più economici³⁵². Inoltre, ai fini dell'applicabilità all'interno dei modelli predittivi, sussiste qualche discrasia tra le categorie utilizzate nella procedura e le classificazioni geomorfologiche utilizzate dagli archeologi. Il lavoro di quest'ultimi rimane fondamentale per meglio calibrare la specificità dell'analisi. La ricerca di strutture archeologiche sepolte costituisce, senza dubbio, una delle operazioni più complesse in quanto entrano in gioco numerosi fattori esterni quali la natura geomorfologica del terreno (basti pensare alla peculiare geologia dell'area oggetto del nostro studio, versante nord-occidentale dell'Etna) e le dinamiche post-deposizionali. Ecco perché, nonostante i progressi continui della disciplina, sia dal punto di vista metodologico che tecnologico³⁵³, si continua a parlare di lettura semi-automatica o di automazione controllata.

³⁵⁰VERHAGEN-DRÄGUT 2011, p. 702.

³⁵¹Tra acquisto del pacchetto base e di più di una licenza si supera con facilità il costo di qualche migliaia di euro.

³⁵²KNOTH-NÜST 2017 l'adozione di pratiche GEOBIA in contesto *open*; per un focus sui *tool* offerti da Python CLEWLEY *et al.* 2014.

³⁵³Basti pensare ai recenti contributi apparsi in letteratura volti alla creazione di ontologia GEOBIA. Vedi per esempio HUANG *et al.* 2017; ARGYRIDIS-ARGIALAS 2015 per ontologie spaziale costruite anche con logica *fuzzy*.

CAPITOLO 4

4.1 IL CONTESTO TERRITORIALE

... tra lave antiche e recenti si torna nel deserto cui sovrasta solo e nudo l'Etna incumbente e compare il piano della Ducea, dove nascono i tre affluenti del Simeto, Martello Cutó e Saraceno e i monti desolati su cui corre l'ombra delle nuvole. Sulle pendici dei monti si vedono, piccolissimi, i pagliari, piccole costruzioni di paglia a cono, con una porticina bassa, in cui vivono, alla rinfusa, i contadini del monte. Scendiamo in fretta al Castello di Maniace, il castello dell'ammiraglio Nelson e dei suoi eredi. C'è una chiesa antichissima con una Madonna bizantina, un cortile tra mura di pietra che sanno di caserma e di prigione...
da "Le parole sono pietre"
Carlo Levi, 1955

4.1.1 La scelta dei luoghi

La definizione dei luoghi da sottoporre a indagine è, come ovvio, strettamente collegata alle finalità della ricerca. Alla base del presente lavoro, vi sono molteplici fattori quali il desiderio di sperimentazione di alcune tecnologie legate al telerilevamento, l'interesse archeologico verso un'area che è stata dimenticata dalla ricerca e il desiderio di testare un approccio post-dittivo.

La scelta del contesto territoriale deve mirare, naturalmente, a garantire il soddisfacimento di tali *desiderata*.

Al fine di ottenere, a conclusione del triennio, solidi e rappresentativi risultati scientifici la ricerca doveva, inoltre, soddisfare alcuni requisiti. Fondamentale per lo sviluppo di procedure postdittive, per esempio, è avere a disposizione una buona *evidence* di dati, meglio se provenienti da contesti con caratteristiche territoriali ed estensioni differenti. La diversità della natura dei campioni indagati permette, infatti, di testare e validare approcci metodologici diversi; l'analisi delle immagini satellitari costituisce una delle procedure migliori per lo studio di aree vaste, in cui la ricerca è condotta abbracciando una prospettiva di grande e media scala; l'impiego di metodologie tradizionali quali le ricognizioni archeologiche o più innovative come il sorvolo tramite UAV privilegia, invece, lo studio di dettaglio di zone con superficie molto più limitata.

Il secondo principale aspetto da valutare è il tempo. Sebbene possa sembrare un arco cronologico molto lungo non è facile portare a termine una ricerca così complessa in un solo triennio³⁵⁴. Per

³⁵⁴ Ad essere precisi, a seguito delle nuove disposizioni ministeriali entrate in vigore in corso d'opera e valide proprio a partire dal XXX ciclo, il tempo a disposizione per ogni dottorando è stato inferiore ai canonici tre anni.

disinnescare ogni rischio, abbiamo così limitato l'area oggetto d'indagine rispetto a quanto era stato inizialmente proposto al momento dell'approvazione del progetto. Inoltre, la medesima zona, grosso modo, era stata oggetto negli anni passati di sistematiche attività di *survey*; tali ricognizioni, sebbene ancora inedite, rappresentavano, almeno nell'idea di partenza, un punto di forza determinante per la scelta dei luoghi da indagare. Come vedremo in seguito e come spesso accade, l'esito non è stato quello previsto. Vi è stato un notevole dispendio non previsto di tempo, principalmente a causa delle complicazioni sorte per la consultazione del materiale.

Esposte le principali linee guida che hanno indirizzato la scelta, presentiamo la zona sottoposta ad indagine. Il contesto territoriale è costituito da due macro aree, simili per superficie (circa cinque kmq). La prima corrisponde all'estensione delle contrade Galatese e, seppur in maniera minore, Cavallaro e Vaccheria, ricadenti tutte all'interno del comune di Maniace e del Parco dei Nebrodi. La seconda, invece, si trova nel comune di Bronte e nel territorio del Parco dell'Etna e comprende le contrade Balze Soprane, Sciare di Santa Venera ed Edera. In realtà, ai fini dell'acquisto delle immagini WorldView utilizzate per l'analisi, è stato necessario delimitare un'area molto più vasta di quella appena menzionata. Infatti, considerando anche il transetto che funge da collegamento tra le nostre due macro-aree e aggiungendo altre zone che, seppur a prima vista prive di interesse archeologico rientravano all'interno dell'inquadratura WorldView, è stata raggiunta un'estensione di trentaquattro chilometri quadrati.

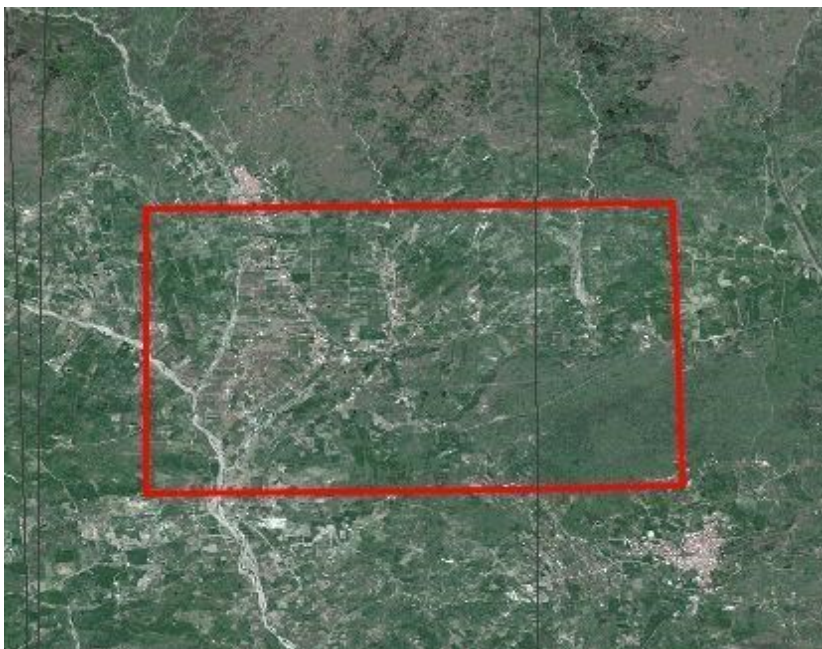


Figura 1. L'inquadratura acquisita per condurre la ricerca. Immagini da WorldView-2.

Come scritto in precedenza, i due campioni presentano caratteristiche geomorfologiche e geologiche diversificate che riassumono i principali tratti del paesaggio etneo. Anche la ricerca archeologica ha avuto esiti differenti, sebbene l'intero versante nord-occidentale, ad eccezione dei comuni di Adrano e Paternò, sia stato sostanzialmente dimenticato. I dati da ricognizione per la prima macro-area non provengono da attività effettuate nell'ambito del progetto di dottorato, al contrario, invece, dei sopralluoghi diretti, effettuati (soprattutto per la seconda area) per chiarire le anomalie identificate tramite *remote sensing*.

Di grande utilità ed efficacia, soprattutto per la comprensione degli elementi distintivi del territorio, si è rivelata la consultazione di una specifica bibliografia geo-vulcanologica incentrata sull'Etna³⁵⁵. Inoltre, nel corso del triennio una circostanza favorevole ha reso più facile la ricerca; facciamo riferimento alla recente edizione del bel volume della Carta Geologica d'Italia dedicato proprio al vulcano Etna a cui ha fatto seguito la pubblicazione online del *geodatabase* realizzato dall'INGV³⁵⁶. Per ogni macro area, pertanto, si è pensato di fornire un inquadramento con i principali caratteri geomorfologici e vulcanologici dell'area, le dinamiche insediative in età moderna e l'uso del suolo. La storia degli studi archeologici è stata, invece, affrontata in maniera congiunta.

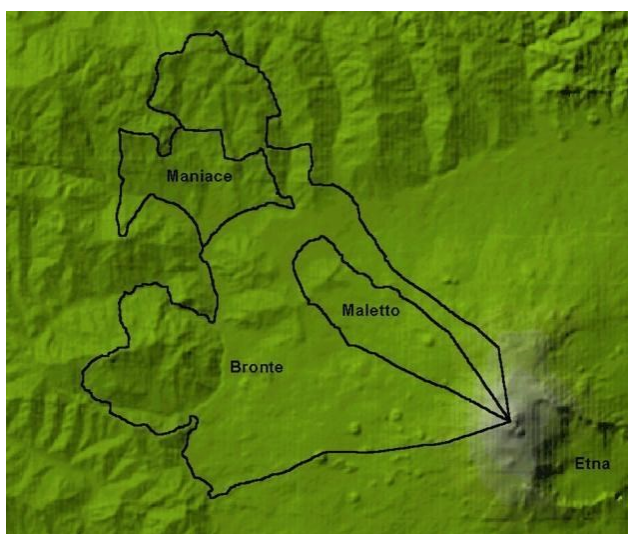


Figura 2. I confini amministrativi dei comuni di Bronte, Maletto e Maniace (rielaborazione dell'autore da Leone *et al.* 2007).

4.1.2 Macroarea 1: Maniace, contrade Galatese, Cavallaro, Vaccheria Boschetto (TAV. I)

Il comune di Maniace è un ente amministrativo di recentissima formazione poiché fino al 1981 esso

³⁵⁵ BRANCA *et al.* 2015

³⁵⁶ Consultabile all'indirizzo <http://geodb.ct.ingv.it/geoportale/> (ultimo accesso 10/7/2017).

altro non era che una (periferica) frazione del più grosso centro del versante nord-occidentale, Bronte. Il territorio di Maniace, esteso per circa trentacinque chilometri quadrati, si distingue anche per le peculiari dinamiche insediative: perfino per il piano paesaggistico della provincia di Catania risulta impossibile individuare un vero e proprio centro storico del piccolo comune, a causa dell'assenza di edifici di pregio architettonico o monumentali. Il più noto tra essi, il Castello di Nelson, ricade, seppur per pochi metri, nel territorio di Bronte. Strettamente correlata proprio con l'ammiraglio Nelson e i suoi eredi è la storia di Maniace (e Maletto).

Nonostante sia amministrativamente un comune recente, il toponimo Maniace risale all'età medievale; Giorgio Maniace fu, infatti, il nome del condottiero a cui si affidò l'imperatore bizantino Michele Paflagone per procedere alla (ri)conquista della Sicilia araba. Secondo le fonti storiche, il comandante ottenne nel 1040 una schiacciante vittoria sui Saraceni guidati da Abdallah nella pianura nei pressi delle 'grotte della farina' (*Ghiran-àd-Daqui* da Al-Idrisi³⁵⁷), identificate con certezza nei pressi dell'odierno comune di Maniace.

³⁵⁷Vedi la testimonianza del grande storico arabo Al-Idrisi in AL-IDRISI 1883 e AMARI 1982, p. 15.



Figura 3. Grotte della Farina secondo Al-Idrisi, ribattezzate 'dei Giganti' da Radice, situate sulla sponda del Saracena, nei pressi del Castello Maniace (foto dell'autore).

La battaglia si rivelò foriera di conseguenze; lo scontro, oltre a dare avvio alla definitiva cacciata degli Arabi, fu così cruenta che il sangue versato colorò di rosso (un *topos* ricorrente) il fiume che, da quel momento, si chiamò Saracena. Inoltre, sebbene non possa essere confermata archeologicamente la tradizione che vuole lo stesso generale bizantino come ecista del borgo, è certo che nel giro di pochi decenni l'insediamento crebbe in grandezza e ricchezza. Il celebre geografo Al-Idrisi, alla metà del XII secolo, ne fornisce la descrizione più antica³⁵⁸. Nella sua opera, inoltre, compare per la prima volta la forma *Maniaci* (*Manyang*), toponimo utilizzato per descrivere un borgo³⁵⁹ nei pressi di un fiume, prospero e ricco di mulini. La pianura fu anche il teatro della vittoria del conte Ruggero. Sbarcato sul versante tirrenico, dopo aver attraversato i Nebrodi, egli

³⁵⁸AMARI-SCHIAPPARELLI 1876-1877, p. 60.

³⁵⁹Probabilmente a causa di una trasformazione del corso del fiume, evidente ancora nel paleoalveo, e/o a causa di un violento evento sismico, il borgo fu abbandonato e sopravvisse solo l'Abbazia. La città di Maniace nacque, in epoca moderna, a qualche chilometro di distanza.

attaccò battaglia e sconfisse gli Arabi, conquistando la vicina Troina ed elevandola a prima capitale del suo regno. Alla dominazione normanna risale lo stanziamento di coloni longobardi e una fase di prosperità per la città di Maniace, testimoniata, architettonicamente, dalla costruzione della torre di guardia all'interno del Castello.

Databile alla fine del XII secolo è la fondazione, voluta dalla devota regina Margherita, del cenobio benedettino dedicato alla Madonna (*Sancta Maria Maniacensis*), dove si conservava un'icona che, sempre secondo la leggenda, sarebbe stata dipinta da San Luca. Primo abate ad essere nominato fu Guglielmo di Blois, a capo sostanzialmente di una piccola diocesi che giungeva fin quasi a Taormina. Il complesso monastico e il suo crescente latifondo, passando nei secoli successivi di mano in mano (anche tra quelle del futuro papa Alessandro VI, Rodrigo Borgia), costituisce il cuore più antico del c.d. Castello di Nelson. Fu, infatti, re Ferdinando IV di Borbone³⁶⁰ a concedere all'ammiraglio inglese, futuro vincitore di Trafalgar, i possedimenti dell'abbazia e il titolo di duca di Bronte come premio per l'aiuto fornito nel sedare la Rivoluzione napoletana del 1799. L'esteso latifondo appartenente alla Ducea fu teatro interessato di molteplici eventi storici: dal sollevamento dei braccianti poi uccisi dalle truppe garibaldine su ordine di Nino Bixio fino alla confisca fascista e alla successiva demolizione anglo-americana del borgo Caracciolo costruito durante il Ventennio.

Nonostante la brevità del nostro *excursus* storico, ci auguriamo che siano emersi alcuni tratti caratteristici peculiari del paesaggio quali l'abbondanza di acqua, la feracità della terra e la sua vocazione agricola. I mulini non sono in funzione dal 1950 e sono ormai definitivamente spariti. Come testimoniano anche le foto aeree storiche, nonostante anche i corsi d'acqua siano stati irregimentati in maniera assai discutibile, il territorio di Maniace costituisce ancora oggi una delle più fertili pianure dell'intera alta valle del Simeto. Il paese è noto per essere 'la città delle pesche'³⁶¹, ma sono coltivati anche i cereali, legumi, l'ulivo, le pere e anche la vite. Proprio l'agricoltura ha costituito il principale motivo della crescita demografica del piccolo comune; forte anche dell'immigrazione di uomini provenienti dai più vicini centri dei Nebrodi (come Tortorici), la popolazione nel corso dell'ultimo trentennio è più che raddoppiata, raggiungendo quasi le quattromila unità³⁶². Quasi il 30% della popolazione è stanziata nell'unica vera e propria area

³⁶⁰Il potere da parte di un sovrano di concedere a terzi possedimenti ecclesiastici fu una delle conseguenze della Apostolica Legazia, nome dato all'istituto voluto da papa Urbano nel 1089. Egli, infatti, giunto a Troina per trattare con Ruggero la sopravvivenza delle (poche) comunità cristiane di culto latino presenti in Sicilia, concesse al conte normanno la facoltà di amministrare direttamente le diocesi filo romane attraverso la sua nomina come legato pontificio. Il titolo di *legatus Siciliae* era ereditario e passò, così, dai Normanni agli Angioini fino ai Savoia, e fu abolito soltanto nel 1871.

³⁶¹Il primo fine settimana del mese di Agosto si tiene la tradizionale feste delle pesche e delle pere.

³⁶²Dati del più recente piano regolatore del comune , consultabile anche all'indirizzo:

urbana, Petrosino (TAV. II).

POPOLAZIONE (proiezioni calcolate col metodo della progressione lineare)		anno	anno	anno	anno	anno	anno	r (n° anni)	proiez.	proiez.	proiez.	proiez.	proiez.
		1951	1961	1971	1981	1991	1996	incem.medi.1951-96	2001	2006	2011	2016	2021
codice	comune	dati ISTAT	dati ISTAT	dati ISTAT	dati ISTAT	dati ISTAT	CURS 27.1.96	[r=(P-Po)/M]	[P=Po+(r*50)]	[P=Po+(r*55)]	[P=Po+(r*60)]	[P=Po+(r*65)]	[P=Po+(r*70)]
APJ 43	ADRANO	27,182	31,532	32,129	33,220	32,717	34,078	173,24	35,844	36,710	37,577	38,443	39,309
APJ 44	BIANCAVILLA	18,163	20,010	18,799	20,097	22,226	22,766	102,29	23,277	23,789	24,300	24,812	25,323
APJ 45	BRONTE	18,517	19,255	17,909	17,639	18,689	19,902	30,78	20,056	20,210	20,364	20,518	20,671
APJ 46	CALATABIANO	6,037	6,133	5,886	5,599	5,713	5,849	-4,18	5,828	5,807	5,786	5,765	5,745
APJ 47	CASTIGLIONE di SICILIA	8,544	7,525	5,743	5,173	4,551	4,344	-93,33	3,877	3,411	2,944	2,477	2,011
APJ 48	FIUMEFREDDO di SICILIA	6,013	6,335	6,483	7,657	9,046	9,441	76,18	9,822	10,203	10,584	10,965	11,345
APJ 49	GIARRE	18,830	20,259	23,211	26,861	26,853	27,168	165,29	28,094	29,021	29,947	30,874	31,800
APJ 50	LINGUAGLOSSA	6,593	6,156	5,555	5,339	5,393	5,514	-23,88	5,394	5,274	5,154	5,034	4,915
APJ 51	MALETTO	4,243	4,530	4,587	4,899	4,254	4,423	4,00	4,443	4,463	4,483	4,503	4,523
APJ 52	MANIACE	2,274	2,364	2,199	2,788	3,101	3,231	21,27	3,337	3,444	3,550	3,656	3,763
APJ 53	MASCALI	8,797	8,998	8,961	8,567	9,779	10,167	30,44	10,319	10,471	10,624	10,776	10,928
APJ 54	MILÒ	1,856	1,659	1,381	1,275	1,126	1,140	-15,91	1,060	981	901	822	742
APJ 55	PIEDIMONTE ETNEO	5,207	5,011	4,142	4,030	3,886	3,912	-28,78	3,768	3,624	3,480	3,336	3,193
APJ 56	RANDAZZO	13,555	12,701	10,997	11,117	11,550	11,699	-41,24	11,493	11,281	11,080	10,874	10,668
APJ 57	RIPOSTO	12,556	12,348	12,073	13,061	14,048	14,041	33,00	14,206	14,371	14,536	14,701	14,866
APJ 58	SANT'ALFIO	2,175	2,124	2,011	1,742	1,666	1,708	-10,38	1,656	1,604	1,552	1,500	1,449
APJ 43-58	TOTALE AREA PEDEMONTANA IONICA	160,542	166,942	161,886	169,284	174,598	180,283	438,69	182,476	184,670	186,863	189,057	191,250
P 1-58	TOTALE PROVINCIA DI CATANIA	800,251	893,542	936,273	1,005,577	1,035,665	1,056,095	5685,42	1,084,522	1,112,949	1,141,376	1,169,803	1,198,231

Figura 4. La popolazione dal 1951 al 2001 nei comuni pedemontani-ionici (dal Piano Territoriale Provinciale, 2009).

Sotto l'aspetto morfologico, è costituito prevalentemente da terreni con pendenza superiore al 20% , mentre soltanto il 10% ha valori di pendenza inferiori al 5% o completamente pianeggianti. Quest'ultime sono situate lungo le vallate dei corsi d'acqua come il torrente Martello, Cutò e il fiume Saracena. Proprio su tali aree insistono gran parte degli insediamenti urbani e nonché le più importanti produzioni agricole. L'uso prevalente del suolo è a carattere seminativo³⁶³, con una percentuale prossima al settanta per cento. L'area boschiva si estende nelle contrade Semantile e Petrosino, terreni con morfologia montuosa o collinare, e si tratta in prevalenza di faggete miste a cerro.

Contrada Galatese (o Galatesa), oggetto specifico della nostra indagine, è una fertile vallata delimitata ad Ovest dalle rive del Martello, uno degli affluenti del Saracena, a sua volta tributario del Simeto, mentre delle piccole alture e l'unica strada principale (corso Margherito) di Maniace costituiscono il limite ad Est. Galatese, definibile come una terrazza fluviale, inoltre, si trova ai piedi del monte Soro, uno dei rari complessi incontaminati della Sicilia come testimoniano i cerreti che giungono quasi a lambire il paese.

La contrada si configura come il vero e proprio cuore agricolo di Maniace (TAV. V); la maglia insediativa appare molto larga e, ad eccezione di poche costruzioni sorte intorno alla scuola e all'ufficio postale, le strutture edilizie sono sempre legate alla coltivazione di appezzamenti di terra. In effetti, non siamo di fronte a un vero e proprio nucleo urbano; si tratta, più che altro, di un allineamento di case, in genere a due piani e con lotti agricoli di piccola dimensione (compresi tra i cento e i quattrocento mq), poste lungo la strada che congiunge Fondaco a Petrosino. Nel margine più settentrionale di Galatese è ancora presente, sebbene versi in stato di abbandono, una casa

<http://www.comune.maniace.ct.it/uploads/D.A.%20n.%20375%20GAB.pdf> (ultimo accesso 8/7/2017).

³⁶³Capitolo Nono, p. 40 del già menzionato Piano provinciale.

coloniale, eredità del Castello di Nelson, con una macina in pietra lavica ancora sul posto.



Figura 5. Galatese vista da Sud-Est ; sullo sfondo Petrosino e le prime propaggini dei Nebrodi (foto dell'autore).

In linea generale, pochi sono i terreni incolti o abbandonati e molti, invece, i pozzi da cui è tratta l'acqua necessaria per l'irrigazione dei campi. Ai fini della nostra ricerca, la presenza di frutteti, uliveti o case ha rappresentato il più forte limite, influenzando negativamente la visibilità archeologica e la possibilità di verificare eventuali tracce tramite foto da drone³⁶⁴. Per fortuna, tale problematica è stata mitigata, almeno in parte, dall'apertura, nella maggioranza dei casi, dimostrata dai proprietari in occasione delle attività di ricognizione svolte dalla *University of Durham*. Ad eccezione di pochi appezzamenti nella parte più settentrionale della contrada, i terreni erano e sono ancora oggi quasi tutti recintati e, senza la disponibilità dimostrata, sarebbe stato impossibile raccogliere i dati.

³⁶⁴Come è noto, il recente codice voluto dall'ENAC non consente il sorvolo dei droni sopra le aree residenziali.



Figura 6. Il paesaggio tipico di Galatese: uliveti, frutteti e rare abitazioni (immagine da Phantom 4, volo ad h. 50m).

Contrada Cavallaro può essere considerata come la prosecuzione orientale di Galatese. Al contrario di quest'ultima, essa si distingue per una morfologia collinare, con terreni principalmente a vocazione agro-pastorale e con colture arbustive. L'area, inoltre, può essere considerata, con le dovute e necessarie proporzioni, come la (sola) zona industriale del piccolo comune, come testimonia la presenza di piccolissime attività produttive legate alla trasformazione dei prodotti agricoli.

Infine contrada Boschetto-Vaccheria, il limite più meridionale della fertile terrazza nonché quella più adiacente al fiume Simeto. Infatti, soltanto pochi metri ad Ovest, il torrente Martello confluisce nel Cutò e, dopo appena un chilometro, 'entrambi' si riversano nel Simeto. Anche questi terreni, come quelli di Galatese, Cavallaro, Petrosino, Zerilli rientravano nei possedimenti della Duca di Nelson³⁶⁵ almeno fino agli anni Settanta. Per quanto possa apparire anacronistico e proveniente da un mondo che credevamo aver superato, gli eredi Nelson, nella persona del giovane Alexander Nelson-Hood, temendo la confisca delle terre a seguito della riforma agraria, misero in vendita gran

³⁶⁵L'estensione originaria delle terre della Duca di Nelson è stimata in circa seimila quattrocento ettari, ma nel momento di massima estensione il latifondo arrivò quasi a triplicare la propria estensione. Dopo le riforme agrarie nazionali e regionali, alla metà degli anni Sessanta ai Duchi di Bronte rimanevano appena mille e duecento ettari. Vedi la relazione del P.R.G. del comune di Maniace, pp. 4-6.

4.1.2.1 Caratteri geo-morfologici e idrografia

L'intero versante nord-occidentale ruota intorno a due perni centrali: la valle del Simeto e il vulcano Etna a Est. Da un punto di vista morfologico, l'area si caratterizza per una varietà di forme e litologie, con prevalenza di morfologia collinare, con alternanza di terreni sedimentari a carattere alluvionale, come la piana di Maniace, e terreni vulcanici.

Inoltre, il territorio oggetto d'analisi occupa una zona che potremmo definire strategica, sia per la rilevanza dei caratteri geo-morfologici sia per la storia degli insediamenti umani. L'area, infatti, segna il passaggio dal sistema montuoso dei Nebrodi, con gli ultimi contrafforti che ricadono all'interno dei confini amministrativi del comune, alla valle del Simeto. Verso Est, invece, scorre il confine con il bacino fluviale dell'Alcantara, il cui corso separa l'area pedemontana da quella jonica.

Geograficamente parlando, il Simeto ha origine proprio a Maniace, dove scorrono il Cutò, il Martello e soprattutto il Saracena. Si tratta di corsi d'acqua che nascono sui Nebrodi e che oggi altro non sono che dei piccoli torrenti. Diversi secoli fa, anche il Flascio, adesso tributario dell'Alcantara, costituiva uno degli affluenti del Simeto, scorrendo insieme al Saracena. Come è facile immaginare, tale cambiamento è imputabile ad una serie di colate provenienti da coni lavici situati a quote più basse, da cui ebbe origine anche il vicino lago Gurrída³⁶⁶. L'invaso costituisce uno dei pochissimi esempi al mondo di lago formatosi da uno sbarramento vulcanico. La pianura di Maniace, invece, ha origine diverse. Nell'area dove sorge adesso il comune di Bronte, altre colate sbarrarono il corso dell'antico Simeto generando un lago in cui confluivano anche Cutò, Martello e Saracena; in pochi secoli il lago si interrò a causa degli apporti dei corsi d'acqua e si formò così la fertillissima pianura di Maniace, costituita da ghiaie, sabbie e limi argillosi³⁶⁷. Essa, come altre zone limitrofe, è soggetta a fenomeni di erosione (regressiva) molto forte e a rischio idrogeologico³⁶⁸, proprio a causa dello scorrere, anche sotterraneo, dei numerosi corsi d'acqua presenti.

Tra i fiumi secondari il bacino del Cutò è quello con l'estensione maggiore, stimata in circa

³⁶⁶CAFFO 2015, p. 37.

³⁶⁷Sui depositi alluvionali etnei vedi AURELI 2011, p. 53.

³⁶⁸Per le zone a rischio idrogeologico della provincia di Catania vedi l'apposito capitolo del piano territoriale http://www.provincia.ct.it/il_territorio/ambiente/pianificazione_territoriale/pdf/9_7.pdf (ultimo accesso 8/7/2017).

centotrenta chilometri quadrati ripartiti tra le province di Enna e Catania, e lunghezza pari a circa sedici chilometri.

Il Cutò riceve un buon apporto idrico dal torrente Martello, che attraversa la contrada Galatese e ne costituisce il limite occidentale. Il Consorzio di bonifica 'Alto Simeto' elaborò alla metà degli anni Sessanta un piano di bonifica e di irreggimentazione dei torrenti e dei fiumi. L'area, infatti, presenta ancora oggi un alto potenziale idrico ma, allo stesso tempo, sussistono aspetti di dissesto idrogeologico soprattutto in corrispondenza dei bacini idrografici.

Rimane da segnalare come all'interno del comune di Maletto ricada il SIC (Sito Interesse Comunitario) Serra del Re, Monte Soro e biviere di Cesarò. Si tratta di un'estesa area in cui sono concentrate le cime più alte dei Nebrodi, con quote prossime ai duemila metri. Da un punto di vista geomorfologico il terreno non si distanzia molto dalle caratteristiche specifiche dei Nebrodi (rocce sedimentarie sovrapposte), presentando abbondanza di silicei (soprattutto flysch) con rari affioramenti calcarei. Tra le diverse zone che presentano uno spiccato interesse naturalistico citiamo, per esempio, il Biviere di Cesarò. Posto a quasi mille e trecento metri di quota, subito a monte del Martello, si alimenta grazie allo scioglimento delle abbondanti nevicate che cadono sul Monte Soro.

Nonostante le interferenze antropiche che si manifestano soprattutto attraverso le attività pastorali diffuse sull'intera catena montuosa, sussiste ancora la presenza di numerose specie di interesse faunistico o fitogeografico. L'ambiente lacustre estremamente particolare del Biviere rappresenta l'habitat ideale per la sopravvivenza di piante endemiche e piccoli mammiferi, come il Gatto selvatico, e grandi rapaci, a rischio estinzione nel resto della Sicilia.

Anche analizzando i caratteri geologici, l'area ricadente all'interno del comune di Maniace si distingue per la sua grande varietà.

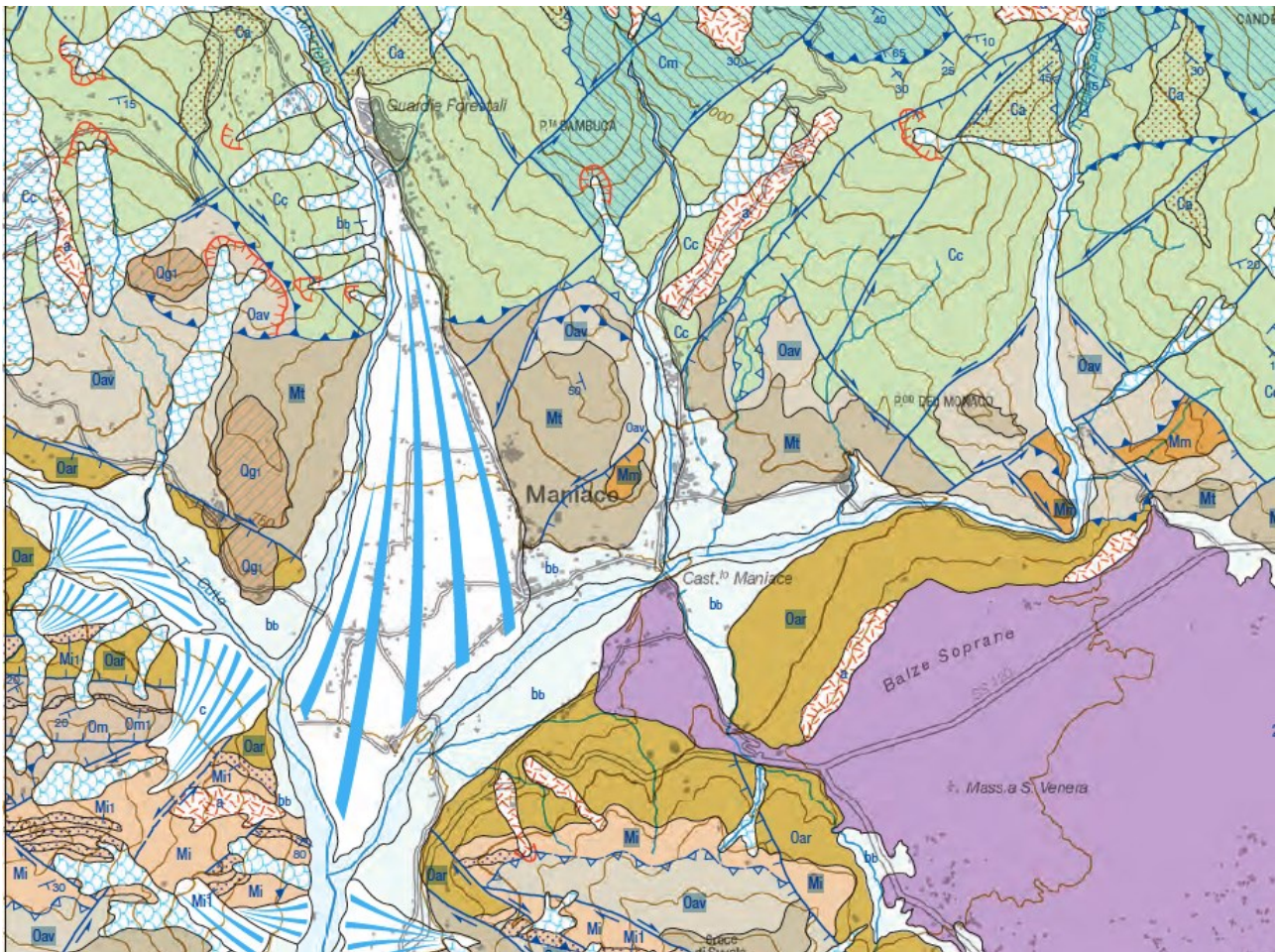


Figura 8. I caratteri geologici del territorio intorno a Maniace (da Branca et al. 2015).

Coesistono, infatti, i già citati depositi alluvionali, formati a seguito dello scorrere dei corsi d'acqua (indicati come *bb*³⁶⁹ nella mappa) e rocce sedimentarie del tipo flysch (cioè originate in ambiente marino soprattutto a causa di frane). Il complesso geologico definito Catena Appenninico-Maghrebide «*si è originato a partire dall'Oligocene superiore a spese delle successioni bacinali Alpino-Tetidee, che tappezzavano la crosta oceanica (Unità Sicilidi)*³⁷⁰». La sotto unità Troina-flysch (indicata come *Mt*) è datata all'Oligocene superiore – Miocene inferiore, presenta un'alternanza di marna di colore grigio cenere e calcarenite marnosa bianca, con spessore anche superiore ai duecento metri. L'area a Nord di Maniace è coperta, invece, dal flysch di Monte Soro, con argille scagliose risalenti al Cretaceo e banconi quarzarenitici (indicate come *cc*). Infine, la

³⁶⁹CARBONE-LENTINI 2015, p. 24: «*Limi sabbiosi e lenti di ghiaie, distribuiti lungo i corsi d'acqua o le piane costiere; talora riempiono depressioni morfologiche a monte di sbarramenti lavici o formano piccoli conoidi alluvionali*».

³⁷⁰*Ibidem*, p. 13.

sottunità di Nicosia (*Oar*), databile all'Oligocene, con argille varicolori, quarzareniti e conglomerati metamorfici e spessore compreso tra i duecento e trecento metri.

Per quanto concerne l'evoluzione paleotettonica del substrato etneo, i più recenti studi geologici³⁷¹ mostrano come le Unità Sicilidi (la cui formazione più diffusa è quella delle Argille Varicolori), inserite all'interno del bacino della Tetide Alpina, separassero la placca europea da quella africana durante il Giurassico superiore. Soltanto dal Pliocene, a seguito della subduzione di ciò che rimaneva della Tetide Alpina, si innescò il processo di formazione (definito oceanizzazione) del Mar Tirreno.

4.1.3 Macroarea 2: Bronte, contrade Sciare di Santa Venera, Balze Soprane, Edera (TAV. III)

La seconda macro-area ricade nel territorio di Bronte, il più esteso e popoloso centro del versante settentrionale e occidentale. Sebbene il nome abbia un evidente ascendente classico, spesso mal interpretato dalla storiografia locale³⁷², il comune nacque come atto di sinecismo dell'imperatore Carlo V, il quale nel 1520 scelse di riunire in un unico insediamento la ventina di piccoli villaggi e strutture appartenenti al monastero benedettino di Maniace.

Il nome di Bronte è associato a livello internazionale alla nota produzione del pistacchio, l'oro verde di queste terre, mentre a livello italiano il collegamento è ai c.d. 'fatti di Bronte'³⁷³, il massacro dei contadini perpetrato dalle truppe garibaldini guidate da Nino Bixio.

L'estensione di duecentocinquanta chilometri quadrati del territorio rende il comune uno dei più estesi della Sicilia e i quasi ventimila abitanti lo pongono tra i più popolosi dell'intera area ionico-pedemontana. Un dato assai interessante da osservare è l'appartenenza al comprensorio del Parco dell'Etna e del Parco dei Nebrodi (insieme a Maniace e Randazzo per la provincia di Catania); in virtù di tale peculiare situazione, poco più di metà del territorio comunale è sotto tutela naturalistica: ricadono all'interno del Parco dell'Etna circa cento chilometri (su un totale di poco meno di seicento) a cui si aggiungono i circa quaranta del Parco dei Nebrodi (su ottantacinque), di cui quindici in Zona A. La ricchezza e varietà paesaggistica è testimoniata anche dalla presenza di Siti d'Interesse Comunitario (SIC) come Lago Gurrída o Forre Laviche del Simeto.

³⁷¹LENTINI-CARBONE 2014, fig. 533.

³⁷²Molte pagine furono dedicate alla discussione sull'origine leggendaria del comune, fondato da Bronte, un ciclope figlio di Nettuno. Per un riassunto delle pagine degli storici di Sei e Settecento vedi la RADICE 1984, pp. 7-12.

³⁷³RIALL 2012; PAPPALARDO 2009; DE LUCA 1883 per la storiografia locale.

L'area su cui insiste il centro storico della cittadina è posta una sorta di conca circondata da numerosi rilievi collinari. Gran parte del territorio presenta una morfologia collinare, con una successione di vallate, alcuni delle quali attraversate da corsi d'acqua; ricadono, altresì, all'interno del comune alcune vette montuose come quella di Monte Soro e, soprattutto, la cima del Cratere centrale dell'Etna che supera i tremila e trecento metri.

Tale peculiare altimetria, compresa in larga parte tra i quattrocento e gli ottocento metri, unita alla varietà di terreni e all'abbondanza di acqua ha reso Bronte un comune a forte vocazione agricola, dove è possibile praticare la coltivazione di piante assai diverse quali l'ulivo, il pesco, il pero o il mandorlo. Nello specifico, come emerge dalla lettura dei dati riportati, il paesaggio agricolo di Bronte si caratterizza per la persistenza di una quota assai alta, stimata intorno al 30% del totale, di unità produttive di vasta estensione³⁷⁴, assimilabili a latifondi, ad una flessione del 20% numero di aziende nell'arco di 80 anni (1921- 2001) e un dimezzamento della superficie agraria utilizzata. Ai giorni nostri, grande incidenza hanno assunto le tradizionali attività pastorali: le stime del 2001 dimostrano come la metà esatta della SAU sia legata al pascolo delle greggi³⁷⁵.

Comuni	1929	1971	1981	1991	2001
Maniace	n.d.	n.d.	1.574	2.904	1.758
Adrano	6.528	6.912	3.498	4.393	3.160
Biancavilla	5.890	2.691	2.190	2.262	1.111
Bronte	21.974	17.775	15.153	9.020	11.142
Maletto	3.206	2.215	1.525	1.231	1.246
Randazzo	16.509	9.941	9.216	7.451	7.544
Totale RA	54.107	39.534	31.582	24.355	24.203

Figura 9. La netta diminuzione nel comune di Bronte della Superficie Agricola Utilizzata (da Barbera et al. 2014; enfasi dell'autore).

Le trasformazioni degli ultimi decenni hanno pressoché causato la scomparsa della tradizionale tipologia della coltura promiscua etnea, un tempo concentrata soprattutto nel territorio di Bronte e divenuta, pertanto, oggetto di apposita tutela paesaggistica³⁷⁶. In effetti, l'arboricoltura non è del tutto scomparsa, anzi, grazie alla sua incidenza specifica sull'intero seminativo il quadro, da un

³⁷⁴BARBERA et al. 2014, p. 108.

³⁷⁵Tra i prodotti DOP di Bronte figura, non a caso, anche il Pecorino.

³⁷⁶Definiti come Paesaggi Agricoli Tradizionali (PAT), vedi per un'accurata disamina di quelli siciliani e italiani in genere in BARBERA et al. 2014. Arboricoltura promiscua pedemontana è la nomenclatura ufficiale per designare il PAT etneo.

punto di vista percentuale, è rimasto sostanzialmente invariato.

Comuni	Seminativi		Coltivazioni legnose agrarie		Prati permanenti e pascoli		Totale SAU	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Maniace	907	52	380	22	471	27	1.758	100
Adrano	445	14	1.513	48	1.201	38	3.160	100
Biancavilla	172	15	806	73	133	12	1.111	100
Bronte	2.511	23	3.027	27	5.604	50	11.142	100
Maletto	258	21	199	16	790	63	1.246	100
Randazzo	1.717	23	894	12	4.933	65	7.544	100
Totale RA	6.010	23	6.818	26	13.132	51	25.961	100

Figura 10. Il territorio di Bronte e l'incidenza del seminativo, coltivazioni legnose e pascoli (da BARBERA et al., 2014; enfasi dell'autore)

All'interno di tale contesto agricolo, un ruolo predominante è, senza alcun dubbio, svolto dalla coltivazione del Pistacchio Verde di Bronte. La pianta, di origine persiana e introdotta in Sicilia secondo la tradizione dagli Arabi, ha trovato proprio in quest'area il suo habitat ideale. Secondo le stime dei contadini brontesi sono circa trenta i chilometri occupati da pistacchieti: si tratta, per lo più, di suoli lavici terrazzati che difficilmente superano gli ottocento metri d'altezza, fortemente scoscesi, con un strato arabile molto sottile. Il raccolto ha cadenza biennale (avviene negli anni dispari) e si svolge tra agosto e settembre, mentre negli anni c.d. 'di scarica' avviene la potatura verde. Il frutto si presenta in grappoli e quello brontese si riconosce per la sua forma tipicamente allungata.

Un dato altamente correlato con le dinamiche di trasformazione agraria del terreno è quello legato alle dinamiche insediative e alla tenuta demografica.

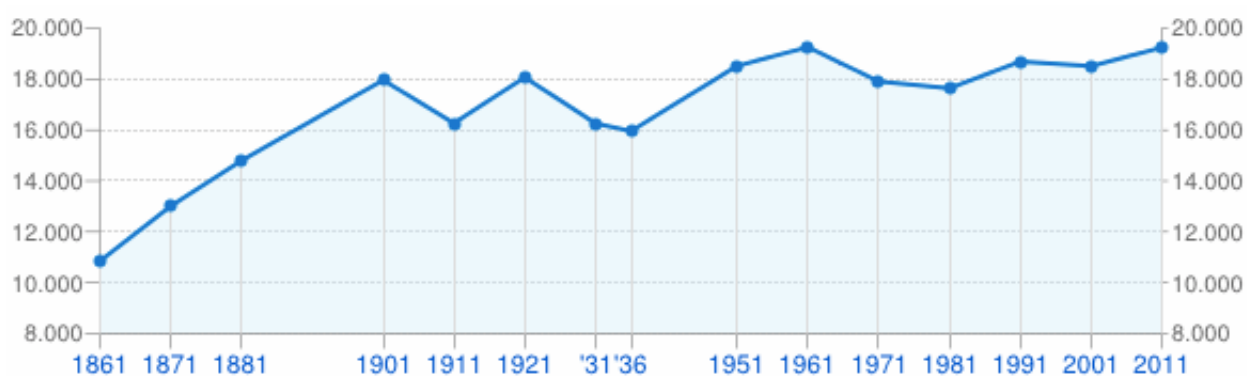


Figura 11. L'andamento della popolazione del comune di Bronte (dati ISTAT, elaborazione grafica tratta da tuttaitalianet).

Ad esclusione del decennio compreso tra gli anni Venti e Trenta del secolo scorso, la quota della

popolazione residente non ha registrato significative oscillazioni, rimanendo costante e compresa tra le diciotto e le ventimila mila unità. Si tratta di un dato in controtendenza rispetto ad altri centri del versante occidentale, come Biancavilla e Adrano, o della fascia costiera e metropolitana dove, invece, gli indici hanno segnato un fortissimo aumento.

Le contrade di Santa Venera, Balze Soprane ed Edera si trovano in posizione assai periferiche rispetto al centro storico di Bronte, tanto da occuparne il limite settentrionale. Molto più vicino è il Castello di Nelson posto a NE e il centro urbano meno distante è Maletto, piccolo comune di appena quattro mila abitanti posto a circa novecento metri d'altezza. La cittadina ha origine assai lontane poiché nacque per volere di Manfredi Maletta, parente di Federico II, a cui si deve la costruzione di una torre fortificata. Il centro urbano, però, nacque e crebbe come feudo, dal 1440 e per oltre cinque secoli, del principe Spadafora e dei suoi eredi. Il piccolissimo comune ha un'estensione assai limitata: le vallate sottostanti ricadono all'interno del territorio di Bronte, nonostante da Maletto le si domini con lo sguardo.

Le aree oggetto della nostra indagine sono, pertanto, abbastanza isolate rispetto ai centri abitati, sebbene siano attraversate dalla SS 120. La strada rappresenta la principale via di comunicazione del territorio, mettendo in comunicazione l'alta valle del Simeto con le città poste sul versante ionico e settentrionale (Randazzo, Linguaglossa e Fiumefreddo). La carreggiata, inoltre, costituisce fisicamente l'elemento che separa Balze Soprane, posta a nord della SS, da Santa Venera, a Sud. Sul margine meridionale della stessa strada ma ad Est rispetto a Santa Venera insiste contrada Edera, in cui si trova l'omonima masseria. Il terreno, infatti, rientrava nella proprietà Nelson-Briddeport fino alla metà del secolo scorso, mentre adesso fa parte del Demanio Forestale. Nonostante siano avvenuti tali cambiamenti, la masseria è ancora frequentata da allevatori che scendono dai vicini rilievi dei Nebrodi per compiere la tradizionale transumanza³⁷⁷. Naturalmente la presenza costante di greggi e la ricerca di pascoli ha gravemente manomesso il patrimonio archeologico e demotnoantropologico.

³⁷⁷Il percorso della transumanza ricalca sostanzialmente il corso del Simeto. Gli allevatori, infatti, partono con le proprie greggi dai vicini centri montani posti sui Nebrodi (Tortorici, Capizzi, Troina etc...), scendendo l'alta valle del Simeto fino a raggiungerne la media valle, all'altezza dei comuni di Adrano, Biancavilla, Paternò e Santa Maria di Licodia.

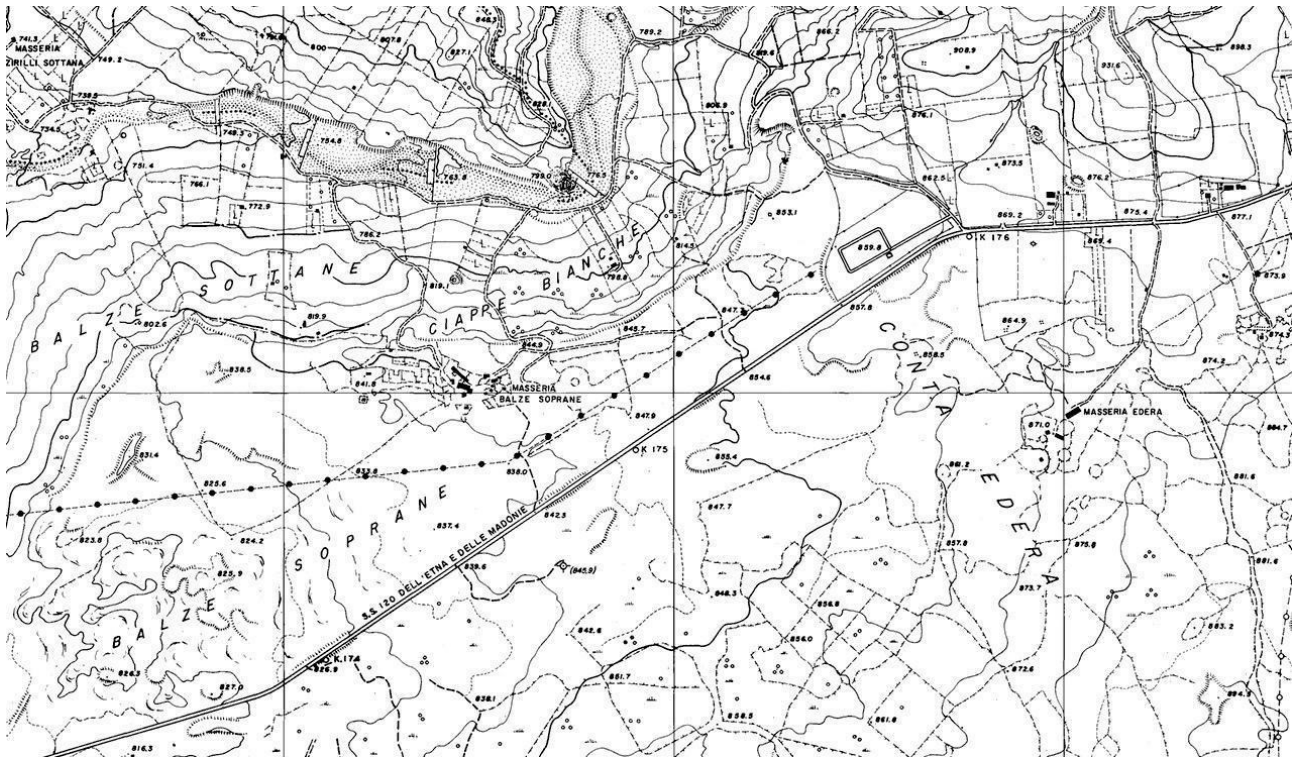


Figura 12. La zona centrale della seconda macroarea; le contrade Balze Soprane ed Edera separate dalla S.S. 120 (stralcio della CTR, sezione 612110).

La nostra seconda macroarea è limitata a Nord da una scarpata che precede il letto e la valle del fiume Saracena, a NE dal fiume Flascio e a Est dalla SP 159 che conduce a Maletto. In direzione Est, al di là della strada provinciale si estende la contrada Casitta, mentre a Sud, le contrade Roccaro e S. Domenico, adagate immediatamente sotto il comune di Maletto.

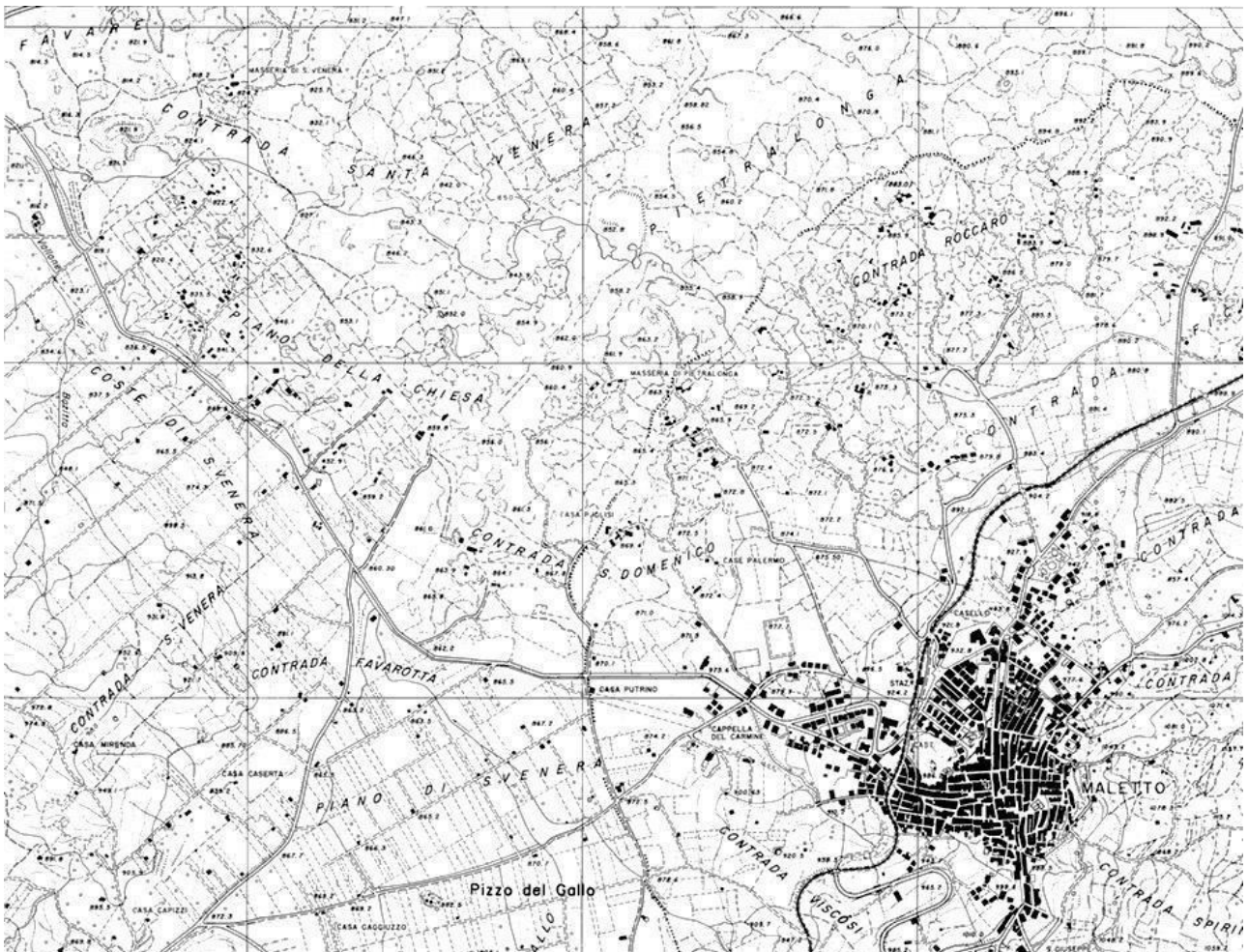


Figura 13. La contrada Santa Venera a Nord-Ovest del comune di Maletto. Ben visibile la parcellizzazione agraria risalente al secondo dopoguerra (stralcio CTR, sezione 612150).

L'intera zona risulta completamente priva di insediamenti moderni o anche piccole unità abitative. Le uniche strutture presenti sul territorio sono le masserie costruite per gli affittuari della Duca di Nelson che gestivano proprio questi campi e il modernissimo impianto per lo stoccaggio del gas metano³⁷⁸. Come già scritto, gran parte dell'area ricade all'interno di un SIC grazie alla coesistenza di valori naturalistici, antropologici, geologici e archeologici. L'esistenza di una forma, seppur non molto rigida, di tutela del patrimonio paesaggistico³⁷⁹ nonché l'assenza di abitazioni e di fitta vegetazione sono stati fattori di grande aiuto per la conduzione dell'indagine. In particolare, assai vantaggioso rispetto alla macro-area 1 si è rivelato l'impiego delle metodologie più recenti e meno

³⁷⁸ Come si avrà modo di dire nel capitolo dedicato alla storia degli studi della ricerca archeologica, lo scavo della struttura nonché il passaggio di due elettrodotti di media e grande potenza intercettarono e probabilmente distrussero numerose stratificazioni archeologiche.

³⁷⁹ Il SIC rientra all'interno della zona B del Parco dell'Etna.

tradizionali. Da un punto di vista ambientale, il territorio delle Sciare di Santa Venera si caratterizza per la presenza, soprattutto in primavera, di piccoli ruscelli che hanno origine dallo scioglimento delle nevi³⁸⁰. La vegetazione è di tipo steppico, con specie che raggiungono la loro altezza massima proprio nei siti contraddistinti da un suolo roccioso³⁸¹. Tale habitat si presenta come una vera e propria prateria della steppa ed è l'ideale per il pascolo degli animali.

Nel margine occidentale del *plateau* si trovano lembi di bosco, soprattutto di querce caducifoglie che crescono in presenza di ambienti umidi e freddi.

L'area umida del lago Gurrída è utilizzata da animali come la cicogna o l'airone come punto di sosta durante le migrazioni; è, inoltre, segnalata la presenza del gatto selvatico, della lepore e dell'istrice, animali che trovano nella macchia mediterranea il loro habitat naturale³⁸².

4.1.3.1 Caratteri geo-morfologici e idrografia della macroarea 2

La macro-area 2 presenta caratteri geologici e idrografici molto più omogenei e, nonostante, l'esigua distanza, assai differenti rispetto alla macro-area 1. Da un punto di vista geomorfologico, nell'area più settentrionale (Balze Sottane) affiorano le successioni sedimentarie del substrato etneo mentre Balze Soprane e Sciare di Santa Venera sono coperte dalla colata lavica ribattezzata 'Lava della Nave', dal nome dell'omonimo cratere eruttivo. La lava andò a colmare, almeno più di quindicimila anni fa, una depressione del terreno, trasformata in un piccolo laghetto stagionale. È questo il motivo che ha originato la morfologia sostanzialmente pianeggiante dell'area (un vero e proprio *plateau* basaltico); soltanto «*verso i margini nord-orientali la colata assume l'aspetto di veri e propri bastioni di lava (grossi lastroni disposti in ammassi fratturati...originatisi per la resistenza meccanica...*»³⁸³). In particolare, le lave sono riconducibili al sintema Concazze e specificatamente alla formazione di Piano Provenzana, sotto-unità di Tagliaborsa (indicata con il colore viole e la dicitura *av 21*), con depositi piroclastici di cenere inframezzati da depositi di limo giallo eoliano e letti sabbiosi neri, spessore massimo di dieci metri ed età superiore ai quindici mila anni. Nell'area di Balze Sottane affiorano, invece, i terreni sedimentari diffusi lungo il corso del Simeto e dell'Alcantara e che avevamo già trovato anche a Maniace: argille varicolori e flysch

³⁸⁰L'area ha un' altimetria media di circa ottocentocinquanta metri s.l.m.

³⁸¹CIRNIGLIARO-FEDERICO 2015, p.44.

³⁸²*Ibidem*, p. 49.

³⁸³CAFFO 2015, p. 38.

numidico.

Leggermente più complessa appare la definizione e l'evoluzione dei principali caratteri idrologici. In generale, il versante meridionale dei Nebrodi presenta bacini idrografici a carattere torrentizio, con corsi d'acqua alimentati soprattutto dallo scioglimento delle nevi. Durante le stagioni più calde essi si tramutano in semplici ruscelli, con portata d'acqua assai limitata. Di una certa importanza è, invece, il fiume Flascio³⁸⁴ la cui sorgente è sul Monte del Moro e che costituisce il principale affluente di destra dell'Alcantara, confluendo in esso nel territorio di Randazzo. Proprio l'area oggetto d'indagine segna attraverso una cresta lo spartiacque tra il bacino dell'Alcantara, che attraversa ad Est sia comuni della fascia pedemontana (Randazzo, Linguaglossa e Piedimonte) sia di quella jonica (Fiumefreddo, Calatabiano e Giardini Naxos), con la valle Flascio e del Saracena a Ovest. Come è noto, originariamente il Flascio doveva essere uno dei tanti affluenti dell'alto Simeto, ma una colata ne mutò il corso, deviandolo ad Est verso l'Alcantara. Inoltre, l'assetto idrogeologico del bacino Flascio-lago Gurrída (più che un vero e proprio lago andrebbe indicato come un'area impaludata) fu ulteriormente modificato dalla colata del 1536, originata da Monte Pomiciaro, e che *«ha contribuito a sbarrare ulteriormente il lato orientale del fiume flascio, determinando così l'odierno bacino³⁸⁵»*.

³⁸⁴Nella medesima area insiste un altro SIC, definito "Bosco del Flascio" con un'estensione di tremila ettari. In totale in Sicilia sono stati istituiti con decreto n. 46 del 21 Febbraio del 2005 dell'Assessorato al Territorio e Ambiente poco più di duecento SIC.

³⁸⁵CAFFO 2015, p. 37.

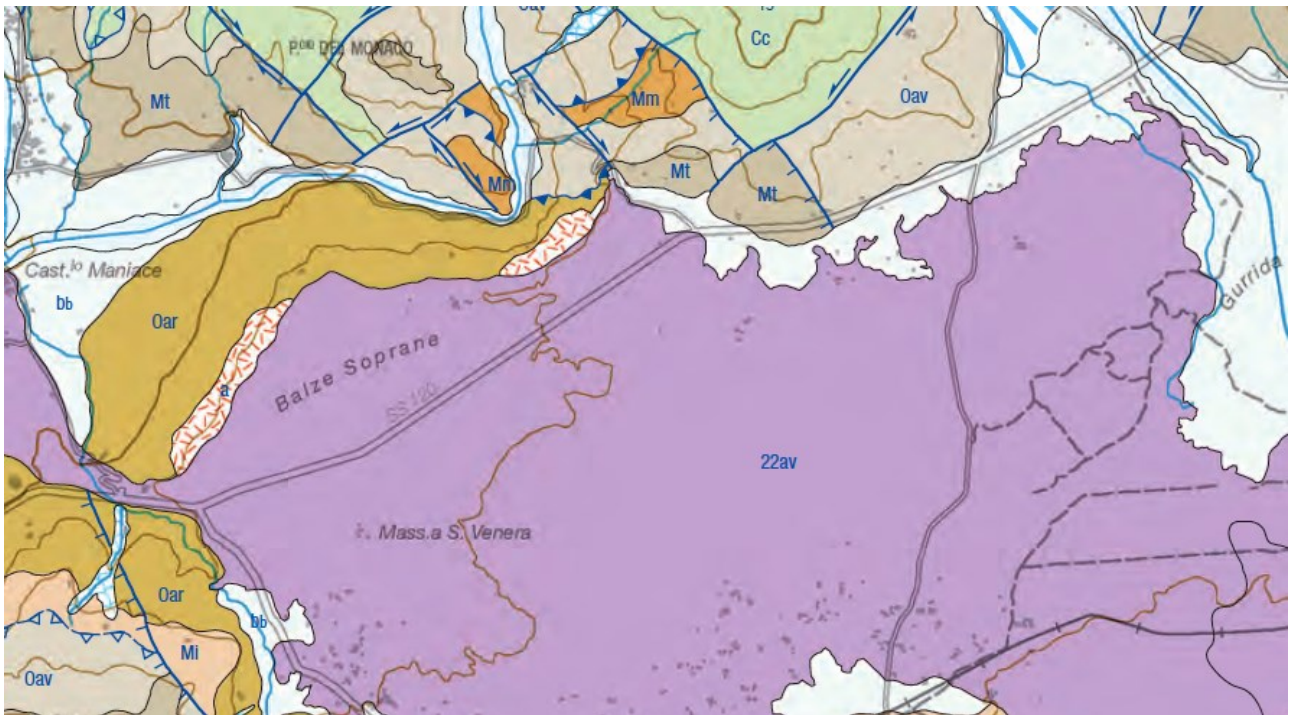


Figura 14. I caratteri geologici della seconda macro-area (da Branca et al. 2015).

4.1.4 Storia della ricerca archeologica nei contesti territoriali affrontati

Quando s'inizia a tracciare il quadro della storia della ricerca archeologica di un qualsiasi sito siciliano, il primo autore di cui si consulta la bibliografia è Paolo Orsi, il padre dell'archeologia siciliana. «*Se non il principio (Orsi) è tappa essenziale, vero e proprio spartiacque*»³⁸⁶. Il versante nord occidentale dell'Etna costituisce, però, una rarità quasi assoluta poiché non fu interessato, in maniera organica, dall'attività esplorativa dell'archeologo roveretano. Infatti, il dato che colpisce è la pressoché totale assenza, all'interno della sterminata produzione orsiana, di articoli scientifici dedicati ai territori di Bronte, Maletto e Maniace³⁸⁷. In effetti, il grande archeologo dedica, in una brevissima comunicazione, appena una pagina al complesso termale di contrada Erranteria di Bronte; si legge la descrizione di un quadro sostanzialmente immutato fino ai nostri giorni: «*se la regione etnea dal punto di vista archeologico è quasi un'incognita..., il versante occidentale poi mai è stato per quanto io sappia argomento di studi e di pubblicazioni. Eppure non vi difettano nel raggio di Bronte e Maniace reliquie dei bassi tempi romani, e bizantini, ma più dei normanni, che*

³⁸⁶DE VIDO 1992, p. 212.

³⁸⁷Sugli scritti di Paolo Orsi vedi MARCHESE-MARCHESE 2000. Per una riflessione sull'attività siciliana vedi LA ROSA 1978; LA ROSA 1985, pp. 5-21.

*vorrebbero essere meglio conosciute di non siano sin qui*³⁸⁸»; Nonostante il potenziale archeologico dell'area sia già evidente ai suoi occhi e avesse in mente di intraprendere una campagna di scavo *per meglio conoscere l'indole e l'età del misterioso borgo di Maniace*³⁸⁹, egli non avrebbe mai trovato il tempo per realizzare tale attività. A distanza di oltre cento anni, tale mancanza rimane ancora un punto di svolta, in negativo, per l'archeologia del versante occidentale dell'Etna, che mai avrebbe acquisito, neanche ai giorni nostri, quell'attenzione che in realtà meriterebbe. Naturalmente, impossibile biasimare Paolo Orsi, attivo, soltanto negli anni centrali del primo decennio, e senza contare i gravosi compiti istituzionali che gli competevano da Soprintendente, con lo scavo della necropoli di Passo Marinaro a Camarina, dell'acropoli di Gela, con le prime esplorazioni sull'altopiano ibleo, con le indagini archeologiche legate al primo cristianesimo (soprattutto Siracusa e il suo suburbio) e con la pubblicazione di lavori che spaziavano da una disciplina ad un'altra, toccando l'archeologia cristiana, la preistoria sicula e calabrese, per non parlare poi della prima edizione dei materiali di epoca classica rinvenuti nella colonia greca di Gela³⁹⁰. Davanti a un'attività così ricca, intesa come una vera e propria missione, può esserci consentito soltanto il rimpianto per ciò che non è stato. L'unico lascito di Orsi è la descrizione puntuale della struttura individuata nel 1905 in un podere di proprietà di un certo Luigi Schillirò. L'archeologo intimò il fermo lavori e, giunto sul posto, identificò i ruderi come i resti di un piccolo edificio termale, databile, per la fattura dei mosaici *ai tempi della decadenza romana*³⁹¹. L'anno seguente fu inviato *l'abile assistente* Rosario Carta, con il compito di produrre la documentazione grafica (rilievo delle strutture e della decorazione musiva) necessaria per intraprendere lo scavo dell'area³⁹².

³⁸⁸ORSI 1905, p. 445.

³⁸⁹ORSI 1907, p. 497. Da notare come il nostro dia notizia, nelle due pagine precedenti, dei risultati della III campagna scavi nella necropoli di Santa Anastasia nei pressi di Randazzo. Com'è noto, la necropoli fu scavata inizialmente da Paolo Vagliasindi e i primi studi affidati a Giulio Emanuele Rizzo (RIZZO 1900). Recentemente è tornato sull'argomento il prof. Giudice, con una relazione intitolata 'Giulio Emanuele Rizzo e l'*oinochoe* Vagliasindi', presentata recentemente a un convegno a Melilli in occasione dei 150 anni dalla nascita di Rizzo (IMMÈ-VALENTI cds).

³⁹⁰Sull'avvio degli scavi regolari e sulla presenza di Paolo Orsi a Gela vedi CIURCINA 2004, pp. 145-147, con bibliografia.

³⁹¹Nonostante i termini impiegati potrebbero far pensare il contrario, in realtà Orsi prese notevolmente a cuore il filone di ricerca sulla Sicilia cristiana, tardoantica e medievale, tanto da provare a illustrarne l'importanza, a quanto pare con un successo modesto, all'amico e conte Mario Tommaso Gargallo, grande intellettuale e fondatore dell'INDA. L'interessante corrispondenza epistolare è pubblicata da GARGALLO DI CASTEL LENTINI 1967-1968.

³⁹²Il rilievo di Carta e la breve descrizioni di Orsi costituiscono tutto ciò che ci rimane del complesso di contrada Errantheria.

A raccogliere la gravosa eredità fu Benedetto Radice, erudito brontese, noto ai più soprattutto per la lettura storica dell'eccidio di Bronte perpetrato da Nino Bixio e dai garibaldini nel 1860 e da cui ha tratto ispirazione Florestano Vancini, narrando la vicenda nel film del 1971 'Bronte: cronaca di un massacro che i libri di storia non hanno raccontato'. Radice non era un archeologo ma un giurista di formazione e dedicò la seconda parte della sua vita alla storia del suo paese, pubblicando decine di opere frutto di un paziente lavoro di consultazione di dati d'archivio. La summa di tale attività è l'opera 'Memorie storiche di Bronte', edita in 2 volumi tra il 1928 e il 1936³⁹³, che raccoglie gran parte delle fatiche di Radice. Per quanto concerne la sezione dedicata all'archeologia, essa si concentra nei primi capitoli. In linea generale, nonostante la ricorrenza del tema del popolamento originario della Sicilia ad opera dei Ciclopi³⁹⁴ e l'eccessivo spazio dedicatogli³⁹⁵, l'impostazione del lavoro risente, e non potrebbe non essere così, della riflessione archeologica di Orsi e della strutturazione nei periodi siculi; in maniera molto convinta, lo studioso attribuisce le 'cellette funebri, a forma di forni' all'epoca preistorica, ritenendo tali complessi posteriori alla c.d. colata "Lave della Nave" (definizione coniata dal barone tedesco Sartorius Von Walterhausen nel 1880³⁹⁶). Radice cita espressamente le sepolture visibili nei pressi di Rocca Calanna (i c.d. *gruttitti* nella tradizione popolare), in contrada Difesa all'interno del territorio di Bronte; tale peculiare tipologia, così diffusa nell'area oggetto di indagine, non era sfuggita agli occhi di diversi eminenti eruditi, da Adolf Holm³⁹⁷ a Michele Amari³⁹⁸ fino a Francesco Saverio Cavallari³⁹⁹. Purtroppo,

³⁹³Il secondo volume, sebbene stampato nello stesso anno del primo, iniziò a circolare, su iniziativa del figlio, solamente dopo cinque anni dalla morte di Radice. All'Associazione Bronte Insieme va ascritto il merito di continuare a fornire un'edizione digitale dell'opera, altrimenti introvabile. L'edizione è scaricabile all'indirizzo <http://www.bronteinsieme.it/3pe/pers1c3.html>, ultimo accesso 20/2/2017.

³⁹⁴L'attenzione dedicata da Radice al tema, un vero e proprio *topos* nella storiografia siciliana ottocentesca, era incentivata dal nome di uno dei Ciclopi, Bronte per l'appunto.

³⁹⁵Radice passa brevemente in rassegna tutti gli storici locali che, in maniera molto poca scientifica, trattarono il problema dell'origine più o meno antica di Bronte. Tra essi spiccano le figure del Fazello, che la ritiene *moderna* e il frate cappuccino Gesualdo De Luca; di quest'ultimo, però, Radice emette un giudizio non molto lusinghiero, giudicando la sua opera come *caotica*.

³⁹⁶VON WALTERSHAUSEN 1880.

³⁹⁷HOLM 1896, p 221: *s'incontrano grotte...tra Bronte e Maletto vicinissimo all'Etna*.

³⁹⁸Michele Amari dedica soltanto una brevissima citazione ai siti rupestri in questione: *intanto le congetture posson cadere su le grotte...o le altre tra Bronte e Maletto*. Non è ben chiaro, tra l'altro, se egli avesse una conoscenza diretta dei luoghi citati o si sia limitato a riprendere una fonte a lui nota (probabilmente il Fazello). Per la breve nota in questione vedi AMARI 1872, p. 336.

³⁹⁹Francesco Saverio Cavallari, come è noto, pur non essendo un archeologo dedicò gran parte del suo tempo e del proprio entusiasmo all'archeologia della Sicilia, guidando dal 1864 la Commissione di Antichità e Belle Arti e restando, seppur con compiti diversi, per circa un trentennio in Sicilia. *All'istinto di un bravo cane da caccia che sente l'odore*

ancora oggi, nell'assoluta mancanza di scavi archeologici, risulta impossibile avanzare una cronologia puntuale per le strutture individuate; pertanto, si possono avanzare soltanto alcune brevi considerazioni. Per esempio, la mancanza nel gruppo di Rocca Calanna di un *dromos* d'accesso potrebbe essere un elemento discriminante per una loro datazione all'Età del Bronzo o del Ferro⁴⁰⁰, come suggeriva Cavallari; sulla scia della notizia di un ritrovamento, avvenuto però durante scavi clandestini, di un crocifisso bronzeo nelle c.d. "Grotte dei Saraceni", tra Bronte e Maletto, non si può neanche escludere una frequentazione di età alto-medievale per tali complessi rupestri.

L'opera di Radice risulta particolarmente importante, soprattutto ai nostri occhi, per la segnalazione di numerosi ritrovamenti, per lo più di carattere numismatico, di cui altrimenti non avremmo nessuna menzione. Infatti, con molta acribia, l'autore segnala, indicandone i nomi dei proprietari⁴⁰¹, i poderi nei quali furono effettuate le fortuite scoperte. Così, possediamo una lista, abbastanza corposa, di testimonianze del popolamento dell'area in epoca greca e romana: da lacerti di abitazioni, a fornaci, alle famose terme di contrada Erranteria e poi, soprattutto, una miriade di dati relativi a necropoli. In qualche caso, alcuni dei rinvenimenti furono visionati anche dal *prof. Orsi* e Radice non manca di riportarne il giudizio come avviene con delle *anforette* trovate nel predio del farmacista Leanza e datate dall'insigne archeologo al III secolo a.C.. Altre volte, è lo stesso storico brontese ad avanzare qualche dubbio sulle notizie da lui stesso riportate, come nel caso di un rinvenimento di «*cinquecento monete di oro e d'argento, alcune con l'effigie di Giano, altre di Tito e Vespasiano...ritrovate il 31 ottobre 1692*⁴⁰²»; infine, emerge, in taluni casi, la competenza non

delle cose antiche, sommava una conoscenza abbastanza approfondita del versante nord-occidentale dell'Etna grazie anche al suo incarico di architetto per l'edificazione del prospetto e del campanile della chiesa di S. Maria di Randazzo. Così si esprime, in un carteggio al 1853, sulle necropoli a grotticelle: «*le più interessanti e non conosciute sono le Grotte di San Cono sopra Caltabellotta: queste grotte sono compartite in diverse piccole stanze adorne di sedili intagliati nella rocca e dormitorj, e chiaramente si vede essere state abitazioni di un popolo rozzo: similissime a quelle di San Cono sono le escavazioni di una rocca presso il fiume tra Bronte e Maletto, e propriamente di contro le moderne cave basaltiche di Maniaci. I contadini le appellano le grotte dei Giganti. Queste furono da me scoperte in occasione di ricerca di pietra da costruzione per la restaurazione del Gotico Prospetto della Chiesa di Santa Maria di Randazzo*». L'interessantissimo carteggio con Michele Amari è stato recentemente da Cosentino (CIANCIOLO COSENTINO 2012).

⁴⁰⁰Sulla distribuzione dei siti datati con certezza all'età preistorica e posti lungo la media valle del Simeto vedi i lavori di Spigo e Cultraro; in particolare SPIGO 1985, pp. 198-200; CULTRARO 2012, pp. 181-203. Del medesimo autore rimane purtroppo ancora inedito il prezioso contributo '*Aetnensis ager cultissimus: insediamenti e organizzazione del territorio nella media valle del Simeto tra il Bronzo Antico e la prima età del Ferro*', presentato al convegno 'Distribuzione ed organizzazione dell'insediamento tra l'antica età del Bronzo e l'età arcaica in Sicilia', tenutosi a Palermo nel lontano 1995.

⁴⁰¹Purtroppo le informazioni, così precise da un verso, non sono corredate da un apparato cartografico utile per l'individuazione puntuale delle proprietà citate da Radice, vanificando così gli sforzi dello stesso autore. A riprova di ciò, nonostante si conosca il podere, appartenente *al sig. Luigi Schilirò*, in cui fu ritrovato l'ambiente termale mosaicato in contrada Erranteria, esso risulta, probabilmente anche in seguito causa a lavori agricoli, ancora irrintracciabile.

⁴⁰² RADICE 1984, p. 19.

specialistica, soprattutto in ambito numismatico, del nostro autore; così, per esempio, egli legge il rinvenimento nel quartiere di S. Antonio di una moneta con Pegaso sul rovescio come un segno della presenza punica, e non dell'interesse di Timoleonte per l'area in questione⁴⁰³. Un dato che emerge in maniera molto chiara è la significativa assenza di notizie riguardanti le contrade di Sciare di Santa Venera, Balze Soprane ed Edera, tutte comprese all'interno del vasto territorio del comune di Bronte. Evidentemente la mancanza, ad eccezione della Masseria Edera, di contesti produttivi e insediativi nell'area, aveva eliminato alla base la possibilità di effettuare scoperte archeologiche durante lavori edili. Al contrario di quanto si riteneva all'epoca di Radice, proprio tale area sarebbe divenuta il cuore di molteplici campagne archeologiche (v. *infra*).

Infine, resta da sottolineare come, nonostante tutto, *Memorie storiche di Bronte* rappresenti una miniera inestimabile per chiunque si accinga nell'impresa di tentare una ricostruzione storica e/o archeologia del versante nord-occidentale dell'Etna. Una miniera chiaramente non ancora sfruttata nella sua interezza. Diversi sono i filoni di ricerca che potrebbero rivelarsi assai fruttuosi nel prossimo futuro; uno di questi, per esempio, potrebbe concentrarsi sull'identificazione puntuale delle proprietà, citate da Radice, in cui si verificarono i principali rinvenimenti archeologici. La consultazione delle mappe catastali⁴⁰⁴, una fonte non molto impiegata dagli storici e dagli archeologi, potrebbe rivelarsi una scelta vincente nel nostro caso, soprattutto in relazione alla Ducea di Nelson e al suo archivio⁴⁰⁵. Seguendo questa strada, la ricerca creerebbe, infatti, una cartografia tematica *ad hoc*, in cui emergerebbero le evidenze archeologiche segnalate da Radice. Naturalmente essa costituirebbe un punto di partenza fondamentale per poter pianificare ulteriori controlli, con maggior precisione, sul campo.

In definitiva, la sensazione, anzi la certezza, che si ricava dalla lettura dell'opera di Radice è la consapevolezza di aver perso, in maniera ormai quasi definitiva, un patrimonio materiale e informativo inestimabile. In tempi più recenti, alla sua memoria e sfruttando l'occasione del 150° anniversario della sua nascita, è stato dedicato un convegno in cui antichisti, archeologi e storici

⁴⁰³Sulla questione vedi GALVAGNO 2005, pp. 42-43.

⁴⁰⁴In generale vedi: SPAGNOLI 2014, pp. 9-31; per l'ambito siciliano, soprattutto per l'Ottocento, fondamentale CARUSO-NOBILI 2001.

⁴⁰⁵Così riporta il Sistema Informativo Unificato per le Soprintendenze Archivistiche: *il fondo è composto dalle seguenti serie: -l'abbazia di Maniace (1174-XIX) -la ducea di Nelson (1491-XX) -Varie (1862-1947). La documentazione di questo fondo presenta certamente un notevole valore storico in quanto permette di ricostruire le vicende storiche dell'abbazia dei Padri Basiliani di Santa Maria di Maniace. La documentazione, che spazia, pertanto, dal 1174 al XX secolo, è conservata presso la parrocchia di San Sebastiano martire di Maniace.*

moderni ne hanno discusso il retaggio⁴⁰⁶.

Purtroppo, per troppo tempo l'area dell'Alto Simeto è stata sostanzialmente abbandonata e quasi dimenticata; una situazione nata certo non per la volontà degli attori protagonisti (o non protagonisti) cioè il mondo della ricerca accademica le istituzioni dedite alla tutela del patrimonio, ma per la proverbiale mancanza di fondi e mezzi. Il territorio ha subito la sua marginalità e la distanza rispetto al baricentro catanese e così ad approfittarne furono i tombaroli; essi, soprattutto nei decenni che vanno dagli anni Sessanta agli inizi degli anni Ottanta, depredarono in maniera significativa l'area, concentrandosi, in particolare, sulle numerose grotte di scorrimento lavico⁴⁰⁷ che caratterizzano la zona. Emblema di tale nefasto periodo è la grotta Maniace⁴⁰⁸, in contrada Barzitti, svuotata da appassionati speleologi e/o veri e propri tombaroli. Soltanto qualche piccolo frammento si è salvato dal saccheggio ed è adesso esposto presso il Museo Nibali di Maletto; proprio un frammento, inizialmente considerato come proveniente dal territorio di Randazzo e poi ricondotto, più opportunamente, alla grotta Maniace, pubblicato nel 1971 da Giovanna Messina Sluga⁴⁰⁹, diede inizio ad uno dei filoni più fruttuosi della ricerca archeologica sulla preistoria siciliana, ovvero lo studio dei motivi decorativi sulla ceramica castellucciana.

L'interesse nei confronti del patrimonio culturale di un gruppo di sinceri appassionati cittadini, confluiti successivamente in associazioni culturali come SiciliaAntica e Archeoclub unito ad un impegno quasi giornaliero nella lotta per il rispetto dell'ambiente, contribuì in maniera determinante per imprimere una svolta alle politiche di salvaguardia e valorizzazione del paesaggio. Infatti, grazie alle numerose segnalazioni che giungevano alla Soprintendenza di Catania, appena istituita nel 1978⁴¹⁰, si cercò in tutti i modi di rafforzare l'opera di tutela, apponendo vincoli dove le strutture archeologiche emergevano e recuperando quanto più materiale, soprattutto ceramico, possibile. Non è un caso che il Museo civico di Maletto, inaugurato nell'estate del 2015 e ospitato all'interno dei locali dell'ex mattatoio comunale, sia stato intitolato a Salvo Nibali⁴¹¹, giornalista

⁴⁰⁶GALVAGNO 2005.

⁴⁰⁷In generale sulle grotte di scorrimento lavico etnee vedi PRIVITERA 2014, pp. 151-159; PRIVITERA 2007a.

⁴⁰⁸Sulla Grotta Maniace PRIVITERA 2015a, pp. 61-62.

⁴⁰⁹SLUGA MESSINA 1971, pp. 7-15.

⁴¹⁰Come è noto, prima della definitiva istituzione delle Soprintendenze su base provinciale, le funzioni di tutela per l'area in questione erano prerogativa della Soprintendenza di Siracusa. Logiche le difficoltà nell'operare in un territorio così vasto. Non appena fu creata la sezione Beni Archeologici della Soprintendenza di Catania (1989)

⁴¹¹Sulla scia delle Memorie brontesi di Radice, fu pubblicato da Nibali e Luca un libello sulla storia di Maletto: NIBALI-LUCA 1983. Sebbene presenti numerose inesattezze, acuite al giorno d'oggi dai più recenti scavi effettuati

prematuramente scomparso a cui si devono molte delle segnalazioni dei resti archeologici rinvenuti nell'area. Infatti, proprio il nucleo originario del museo si formò grazie alle numerose ricognizioni durante le quali fu raccolto il materiale ceramico poi conservato e depositato nei futuri spazi espositivi.

A sancire il cambio di passo e il rinnovato interesse per l'archeologia di questo versante dell'Etna furono i primi scavi, condotti dalla Soprintendenza sul finire degli anni Ottanta. Le indagini⁴¹², guidate dalla dott.ssa Tomasello, più che degli scavi archeologici furono, in realtà, delle rapide esplorazioni iniziali e si concentrarono nella fascia di territorio divisa dalla strada statale 120; in questa zona, grosso modo compresa tra i chilometri 171 e 178, erano state segnalate⁴¹³, in precedenza, numerose emergenze archeologiche che abbracciano un arco di tempo molto ampio, passando dalla preistoria all'alto medioevo. Sebbene furono riportate alla luce, per la prima volta, alcune delle strutture che sarebbero poi state oggetto, alcuni decenni dopo, di un'indagine più approfondita, i risultati scientifici furono modesti, soprattutto per l'ambito classico e postclassico; non si riuscì, per esempio, a chiarire in maniera precisa la cronologia del noto muro di fortificazione (?) sito tra Balze Soprane e Santa Venera. Ciò nondimeno a tale lavoro va ascritto un grande merito. Si trattò, infatti, dei primi scavi archeologici eseguiti dai tempi delle esplorazioni di Paolo Orsi, risalenti a quasi un secolo di distanza. Un vero e proprio salto in avanti. Qualche informazione in più fu recuperata per l'ambito preistorico, sebbene anche per la grotta Tartaraci, posta quasi a quota mille metri d'altezza, risultò impossibile rinvenire una sequenza stratigrafica coerente: troppe, infatti, le manomissioni operati dai cercatori di frodo.

Purtroppo, a cavallo degli anni Ottanta e Novanta, la Soprintendenza di Catania non ebbe la possibilità di opporsi, in maniera preliminare, al passaggio di ben due elettrodotti che causarono, è certo, la perdita di numerosi contesti archeologici; in mancanza di una legge⁴¹⁴ che garantisse la possibilità di coniugare la costruzione di infrastrutture pubbliche (strade, ponti, centrali elettriche ecc...) con la necessaria salvaguardia del territorio, si tentò di salvare il salvabile, impresa non

soprattutto nel corso degli ultimi decenni, l'opera segna, comunque, il primo tentativo di ricostruzione della storia del piccolo comune.

⁴¹²CONSOLI 1988-1989, pp. 74-79.

⁴¹³Ad opera della locale sezione dell'Archeoclub la segnalazione nel 1986 del muro di fortificazione sul quale si ritornerà in seguito. Queste le parole di Spigo, allora responsabile dell'Unità Operativa: *la presenza di una robusta struttura muraria in blocchi lavici appena sbozzati, dell'ampiezza di circa 3 mt. che, pur con diverse lacune, è possibile seguire per quasi 2 chilometri e mezzo di lunghezza... Per i caratteri costruttivi, che farebbero pensare ad una probabile cinta muraria e per la presenza nelle aree limitrofe di frammenti di tegole di età greca e di ceramica ad impasto.*

⁴¹⁴Proprio in quegli anni fu firmata a La Valletta la Convenzione Europea per la Protezione del Patrimonio Culturale (1992) poi ratificata dall'Italia soltanto 23 anni dopo. Tra i punti centrali della Carta

facile soprattutto con il secondo impianto, di ben 380 kw. Nell'attesa (vana?) di informazioni più precise, ci si deve accontentare della scarna notazione che ricordano come «*il passaggio di un elettrodotto a 20 kw da contrada Balze Soprane rivelò almeno due aree di frammenti preistorici. Nel 1990 la costruzione di un ben più grande elettrodotto a 380 kw permise il ritrovamento di una hydria⁴¹⁵ di VII-VI secolo di produzione indigena⁴¹⁶*». Un bottino assai magro se pensiamo alle potenzialità archeologiche dell'area e all'ampiezza dei lavori, ma la Soprintendenza riuscì soltanto, nel primo caso, a compiere un sopralluogo a lavori quasi del tutto ultimati, nel secondo, a effettuare uno scavo di appena 3 giorni nell'area dove sarebbe sorto l'ultimo dei dodici piloni⁴¹⁷.

Qualche dato in più è, invece, disponibile per i lavori che interessarono, nel 2006, la pianura di Balze Soprane (e non solo) in occasione del raddoppio della linea del gas. Il progetto iniziale, curato dalla "Snam Rete Gas", aveva come obiettivo il collegamento tra Enna e il versante tirrenico siciliano, dovendo giungere, a conclusione del percorso, nel territorio di Montalbano Elicona (ME). In maniera abbastanza netta, almeno nella fase iniziale, si opposero sia la Soprintendenza che il comune di Bronte: troppi, infatti, erano i rischi di intaccare seriamente l'integrità del patrimonio culturale. In realtà, dopo un lungo tira e molla, diversi articoli di giornale e la richiesta di effettuare una serie di ricognizioni⁴¹⁸ mirate proprio a verificare l'esistenza di stratificazioni archeologiche nell'area interessata dal passaggio del metanodotto, il progetto fu approvato e realizzato. La condotta costituiva, come detto, un raddoppio della linea già esistente e pertanto, almeno inizialmente, furono condotti dei saggi archeologici preventivi, interrotti, però, dopo pochissimo tempo per la presenza di materiale di riempimento di difficile estrazione. La sorveglianza archeologica permise, comunque, il rinvenimento di quattro tombe con il loro corredo databili ad una fase finale del Neolitico Tardo⁴¹⁹. Una scoperta degna di menzione considerando la rarità di contesti siciliani, ed etnei in particolare, inquadrabili nel periodo di passaggio tra la fine del Neolitico e l'inizio dell'Età del Rame.

⁴¹⁵Il vaso è adesso esposto presso il Museo di Maletto.

⁴¹⁶PRIVITERA 2015b, p. 58.

⁴¹⁷PRIVITERA 2015c, p. 72. Da sottolineare come lo stesso personale della Soprintendenza non escluda che, durante i lavori per la realizzazione della seconda condotta del metanodotto, effettuati tra il 1993-1994, possano essere state distrutte stratificazioni di notevole interesse archeologico.

⁴¹⁸La c.d. archeologia preventiva è entrata da qualche anno all'interno del panorama legislativo italiano, prima con la L. 109/2005, successivamente modificata dagli artt. 95-96 del Codice dei Contratti Pubblici (D. Lgs 163/2006). La *ratio* della norma, sebbene semplificata in alcuni punti, è stata mantenuta anche nell'ultima versione del Nuovo Codice degli Contratti Pubblici (D. Lgs 50/2016) con l'inserimento dell'art. 25. Per un approfondimento sull'archeologia preventiva e la sua applicazione nel panorama italiano vedi GULL 2015.

⁴¹⁹PRIVITERA 2012, pp. 543-556; LISI *et al.* 2009, pp. 43-64.

Sempre a lavori occasionali e non frutto di attività archeologiche pianificate si deve la scoperta, avvenuta nel 2000 in contrada Cavallaro, nel comune di Maniace, di due sepolture⁴²⁰ in fossa terragna, riferibili a età tardo-antica (o bizantina?). L'unico oggetto di corredo, un boccale acromo in ceramica comune non fornisce ulteriori e più precisi elementi per poter proporre una cronologia più precisa.

Ben altro spessore ebbero le campagne portate avanti nell'estate del 2006 e del 2007 dalla *Durham University* in collaborazione con la stessa Soprintendenza di Catania. Ci riferiamo a un noto progetto di ricognizioni archeologiche, chiamato *Upper Simeto Valley Project*, guidato dalla prof.ssa Anna Leone e che interessò, in maniera sistematica, proprio le contrade oggetto di questa analisi: Galatese-Cavallaro nel territorio di Maniace, Casitta, Erranteria e Balze Soprane per i comuni di Bronte e Maletto. Purtroppo, a seguito di un mancato finanziamento da parte dell'Unione Europea il lavoro fu interrotto dopo appena due anni. I risultati sono stati pubblicati, in forma preliminare, nel 2006⁴²¹ e da allora sono passati circa dieci anni senza ulteriori aggiunte. Ritorniamo più in là, in maniera più approfondita, su alcuni dei risultati emersi durante le ricognizioni; infatti, presenteremo, per la prima volta e grazie alla disponibilità della coordinatrice del progetto, un'analisi abbastanza dettagliata basata anche su dati rimasti per troppo tempo inediti. Rimandiamo, pertanto, al capitolo apposito per ulteriori approfondimenti.

Resta da discutere, per completare questo breve *excursus*, dell'ultimo (o del primo) grande scavo sistematico condotto nell'Alta Valle del Simeto. Ad essere più precisi, non si è trattato soltanto di una serie di indagini archeologiche ma di un progetto molto più complesso; l'intervento, infatti, è riuscito nell'impresa non facile di valorizzare non soltanto l'elemento archeologico, ma anche il patrimonio naturalistico e geologico. Il progetto, definito in burocratese "Lago Gurrada e Sciare di Santa Venera. Interventi per la riduzione dei fattori di degrado e percorsi naturalistici e culturali – SIC ITA 070019", ha avuto una lunga gestazione, soprattutto per quanto concerne l'*iter* del finanziamento, passando, sempre in termini tecnici, da un PIT ad un PIST ad una "Linea 3.2.1.a – attività B del PO FESR 2007-2013"⁴²². In sostanza, tralasciando i tecnicismi e le sigle, l'obiettivo era quello di recuperare il valore culturale del peculiare paesaggio etneo⁴²³, bonificare l'area dagli

⁴²⁰Pubbligate inizialmente da PRIVITERA 2009, pp. 524-525; senza sostanziali aggiornamenti PRIVITERA 2015a, pp. 64-65.

⁴²¹LEONE *et al.* 2007, pp. 43-64.

⁴²²Sulle procedure di finanziamento vedi PUGLISI 2015, pp. 9-18.

⁴²³Ricordiamo che l'Etna è stata iscritta da Giugno del 2013 nella *World Heritage List* dell'UNESCO e che l'area in questione è classificata come un SIC, ovvero un Sito di Importanza Comunitaria dall'Unione europea.

elementi di degrado ambientale, compiere approfondimenti di carattere archeologico e realizzare un sentiero turistico di archeo-trekking. Tutti i lavori sono stati portati brillantemente a termine nel tempo previsto sebbene, appena pochi mesi dopo l'inaugurazione, il sentiero non sia più sostanzialmente fruibile, con grave danno sia per i visitatori che per le strutture archeologiche riportate alla luce, adesso invase dalla vegetazione spontanea. Ma la mancanza di manutenzione, si sa, è un vero e proprio *vulnus* che attanaglia quasi tutti i siti archeologici dell'intero paese.

Per quanto concerne ciò che più ci interessa, gli interventi archeologici si sono concentrati nelle contrade di Balze Soprane ed Edera, dove sono stati messi in luce una decina di edifici in pietra, a pianta circolare o rettangolare. Stavolta, i risultati sono stati piuttosto incoraggianti, poiché hanno chiarito, finalmente, la cronologia delle strutture già scavate nel 1992. Allo stesso tempo, è stato possibile l'individuazione e lo scavo stratigrafico di altri edifici. «*Al termine di questa campagna si è raggiunta la conclusione dell'esistenza di almeno due fasi principali di occupazione storica della contrada, in parte distinguibili topograficamente, mentre la tipologia muraria, dato l'uso diffuso di lastre e blocchi lavici naturali reperibili sul luogo, non sempre è indicativa dell'epoca di costruzione*⁴²⁴». La prima fase è quella riferibile all'epoca greca, con più precisione, sulla scorta dei materiali ceramici rinvenuti nella struttura identificata come fattoria, ai secoli VI e V a.C.⁴²⁵; ascrivibili ad epoca altomedievale, in particolare alla prima metà del IX secolo d.C., sono una serie di edifici, per lo più capanne a pianta circolare posizionate leggermente più a nord e più vicine alla SS 120 rispetto alla fattoria greca. Secondo la più recente interpretazione fornita da Arcifa⁴²⁶ si tratterebbe di un insediamento, con una forte componente allogena, sebbene «*acculturata in senso bizantino*⁴²⁷», emblema della nuova organizzazione tematica della Sicilia, pensata e strutturata per contrastare (vanamente) l'avanzata araba. Diversi rimangono, a nostro avviso, i punti ancora poco chiari nella ricostruzione proposta; se la cronologia è fondata su solide basi quali il rinvenimento di olle da fuoco con decorazione a stuoia, uno dei più affidabili fossili guida individuati⁴²⁸ recentemente per l'Alto Medioevo siciliano, nebulosa rimane la tipologia dell'insediamento, in cui si riconoscono edifici con funzionalità specifiche (l'edificio 11, per esempio, ha rivelato la presenza

⁴²⁴PRIVITERA-TURCO 2015, p. 92.

⁴²⁵CONTI 2015, p. 100.

⁴²⁶ARCIFA 2015, pp. 143-155.

⁴²⁷*Ibidem*, p. 151.

⁴²⁸Per Catania ARCIFA 2010, pp. 105-128; per Siracusa BASILE 2009, pp. 762-764; la tipologia è stata definita, recentemente, del tipo "Rocchicella" dal sito eponimo nei pressi di Mineo, vedi ARCIFA-LONGO 2015, pp. 361-366.

di un focolare); sfugge, infatti, il rapporto che esso avrebbe con il lungo muro di fortificazione (o di chiusura?) rintracciato e pulito per lunghi tratti durante i lavori: le strutture scavate si trovano, chiaramente, al di fuori dell'area delimitata e ciò dovrebbe portare a ritenere i due elementi non legati strutturalmente⁴²⁹.

Infine, le attività archeologiche del PO FESR hanno segnato un progresso delle conoscenze anche per l'ambito preistorico. Oltre alla precisazione ulteriore sulle già citate tombe del Tardo Neolitico, sono state identificate e scavate due interessanti contesti in contrada Balze Soprane; si tratta di una struttura in negativo, interpretata dagli scavatori come una fossa di combustione, anch'essa riferibile al Neolitico⁴³⁰ e di un complesso megalitico, già scavato da alla fine degli anni '80, con destinazione rituale e di cui si è fornita anche una lettura archeo-astronomica⁴³¹.

⁴²⁹Equivoca la posizione espressa da Arcifa: «...queste osservazioni preliminari rendono poco plausibile una lettura della struttura quale 'rasula' o muro di recinzione di età moderna e sembrano suggerire una interpretazione in fase con l'insediamento bizantino. ... , pur constatando che il prolungamento ipotizzato...escluderebbe una relazione strutturale con gli edifici fin qui noti, esterni al circuito così ricostruito» (enfasi data da chi scrive non da Arcifa), ARCIFA 2015, p. 144.

⁴³⁰PALIO-TURCO 2015a, pp. 77-81.

⁴³¹Per il rilievo della struttura PALIO-TURCO 2015b, pp. 83-85; per lo studio archeo-astronomico ORLANDO 2015, pp. 87-89.

CAPITOLO 5

5.1 LA STRATEGIA DELLA RICERCA

5.1.1 Le scelte e la tempistica della ricerca

La ricerca ha avuto origine da una varietà di spunti, generati da riflessioni differenti. La prima ipotesi concerne la possibilità di poter sviluppare metodologie d'indagine di tipo pre e post-dittive anche in Sicilia, una regione sostanzialmente estranea concettualmente a tali pratiche⁴³² e lontana, anche da un punto di vista amministrativo, dalle ultime esperienze sviluppate in Europa. La seconda ipotesi, invece, nasce dall'idea che i dati da satellite di ultima generazione, nonché le più recenti applicazioni tecnologiche, possano fornire un aiuto imprescindibile per lo studio dei paesaggi archeologici etnei, permettendo anche un avanzamento delle conoscenze. In particolare, se è vero che ogni ricerca parte sempre da una domanda, nel nostro caso esse erano almeno due: quale la natura dell'insediamento bizantino scavato in contrada Sciare di Santa Venera pochi anni fa? Dove si trova la città perduta di Tissa? Naturalmente, tali interrogativi hanno avuto il merito di stimolare la curiosità e l'interesse verso l'area soprattutto nella fase che ha preceduto l'avvio della ricerca; una volta iniziata, la ricerca si è trasformata in un progetto ben più ampio e organico (speriamo) rispetto al semplice tentativo di risposta alle domande. In questo capitolo sono trattati ed esplicitati i motivi, i tempi e le modalità delle scelte operate durante la ricerca, soprattutto riguardo alla validità delle tecnologie adottate.

Se il primo passo è stato, com'è ovvio che sia, la definizione del contesto territoriale, il secondo l'elaborazione di una strategia generale per l'acquisizione e la lettura delle immagini. Ci riferiamo non soltanto alla scelta di quale specifica immagine comprare ma, in un'accezione più generale, alla necessaria presenza di un team di supporto, altamente specializzato nel campo del telerilevamento e aperto a condividere gli spunti e gli obiettivi della ricerca. Nonostante si potessero paventare numerosi disincentivi, abbiamo avuto il costante e fondamentale appoggio del professore Mussumeci, docente di Topografia e Cartografia presso il DICAR dell'Università degli studi di Catania e del laboratorio di Geomatica.

⁴³²L'unica eccezione è costituita da alcuni illuminanti lavori condotti su alcune valli del palermitano. A tal proposito, vedi soprattutto i recenti lavori, già citati, del collega palermitano A. Castorao Barba.

Molto più problematico si è rivelato entrare in possesso dei dati dal *survey* effettuato dall'Università di Durham in collaborazione con la Soprintendenza di Catania. Al contrario di quanto si possa pensare, tali difficoltà non sono state generate da particolari scelte personali, dal desiderio di tenere segrete ancora nel cassetto le informazioni, in attesa magari di trovare nel futuro il tempo necessario per pubblicarle. Anzi, in questo caso la nostra ricerca ha tratto giovamento dai preziosi consigli e indicazioni della professoressa Leone, docente di Archeologia tardo-antica presso l'Università di Durham. Purtroppo, un disguido tra il personale della Soprintendenza e l'*équipe* inglese ha creato il ritardo a cui si accennava; all'interno degli archivi della Soprintendenza, in effetti, non erano presenti né le schede di ricognizioni né qualsiasi altro documento sebbene un documento in possesso della professoressa Leone ne certificasse l'avvenuta consegna. Alla fine, un viaggio risolutore a Roma, ad inizio del terzo anno, ci ha permesso di entrare in possesso dell'intera documentazione, adesso conservata presso gli archivi della Soprintendenza di Catania. Tale ritardo ha comportato un necessario cambiamento nella strategia pensata per condurre la ricerca. In mancanza dei dati archeologici inediti, le uniche informazioni disponibili erano quelle pubblicate sul bel volume sul Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera.⁴³³ Esse sarebbero state probabilmente insufficienti per garantire la quantità di *evidence* necessaria per avviare un'analisi di tipo post-dittivo. Pertanto, nelle more dell'ottenimento della documentazione, ci si è soffermati sullo studio dei principali caratteri geo-morfologici e vulcanologici del paesaggio. Anche in questo caso, fondamentale per la corretta comprensione delle dinamiche che hanno trasformato e modellato il territorio si è rivelato l'aiuto dei vulcanologi del Parco dell'Etna, soprattutto nella persona del dott. Caffo.

Dopo aver ottenuto la documentazione prodotta dai ricercatori inglesi, è stato possibile restringere il contesto territoriale di riferimento e avviare la fase di acquisizione e valutazione delle immagini. In maniera preliminare, sono state cercate e consultate molteplici tipologie di fonti per fungere da confronto con la documentazione satellitare: fotografie aeree storiche, piani paesaggistici regionali e comunali, cartografia storica o tematica e tecnica prodotta dagli enti amministrativi. Alcune foto di particolare rilevanza sono state georiferite e immesse in un SIT appositamente creato. Per quanto concerne le immagini satellitari, la scelta è caduta su WorldView. Purtroppo l'intera area prescelta non è interessata dal passaggio della piattaforma WorldView 3 e così sono state acquisite immagini multispettrali e pancromatiche da WorldView 2. L'analisi delle immagini è passata attraverso due fasi. In un primo momento, l'individuazione di anomalie archeologiche è stata effettuata con una lettura manuale, diremmo tradizionale, condotta dall'operatore. Successivamente, si è fatto ricorso

⁴³³Testo già ampiamente discusso e citato nel paragrafo dedicato alla storia della ricerca archeologica.

alle tecniche di classificazione automatica del tipo supervisionata e *pixel-based*, sebbene sia stato tentato anche un approccio *object-based*. A causa dei ritardi su cui ci siamo soffermati in precedenza, tale metodologia non è stata pienamente sviluppata e verificata in tempo per la consegna della presente tesi, pertanto si rimanda ai prossimi lavori già in preparazione.

L'elaborazione e la sintesi effettuata della documentazione archeologica proveniente dal *survey* dell'*University of Durham* ha permesso l'incrocio e la conseguenziale verifica delle più significative tracce segnalate attraverso le procedure sopra menzionate soprattutto in contrada Galatese. Tale fase, probabilmente insieme alle sperimentazioni condotte per l'individuazione di procedure di classificazione automatica applicabili in ambito archeologico, è da considerare come il momento il più stimolante dell'intera ricerca. Giunto a questo punto, il nostro lavoro è proseguito non su una serie di binari paralleli quanto su un percorso fortemente intrecciato e correlato. Sono stati integrati e contemporaneamente testati sia un approccio predittivo che postdittivo alle *feature* osservate. L'introduzione di nuove tecniche di analisi delle immagini multispettrali ha, infatti, permesso di arricchire e migliorare la qualità degli elementi di confronto, dando maggiore consistenza al progetto di ricerca, sia nella metodologia applicata che sia nel risultato conseguito.

CAPITOLO 6

6.1 LE TECNICHE E GLI STRUMENTI DELL'INDAGINE: CARATTERISTICHE, VANTAGGI E LIMITI

Dopo aver esaminato obiettivi iniziali e strategia della ricerca, analizziamo adesso le tecniche d'indagine e gli strumenti impiegati, mettendone in luce potenzialità e limiti. L'intenzione che soggiace a questo capitolo è la presentazione di un quadro completo delle procedure adottate durante il progetto di dottorato, indicando anche le ovvie difficoltà che hanno frenato la ricerca. L'aver fatto tesoro di tali esperienze, permette di indicare dove e quando altri strumenti possano subentrare e intervenire per assicurare la buona riuscita del processo conoscitivo.

Abbiamo scelto di operare una distinzione tra metodi impiegati a livello terrestre (del suolo) e sistemi aerei o spaziali. Si tratta di una suddivisione arbitraria ma, a nostro avviso, più corretta da un punto di vista tassonomico⁴³⁴. È pur vero che in letteratura non mancano esempi a supporto anche di un'altra possibile scelta: la distinzione tra tecniche tradizionali e tecniche innovative⁴³⁵. Quest'ultima opzione risulta, probabilmente, più funzionale per mettere in risalto altri elementi quali il peso dell'apporto dato da una procedura o da un'altra e il vantaggio che deriva dall'impiego combinato della tecnologia GIS. Nonostante i possibili vantaggi, tale approccio è sembrato eccessivamente arbitrario e, pertanto, abbiamo preferito percorrere un'altra strada. D'altronde, è anche vero che ogni soluzione è figlia dell'obiettivo cui si mira. Limitatamente all'aspetto teorico e concettuale, la scelta ha una valenza abbastanza limitata; si tratta di una decisione che interessa in maniera quasi esclusiva l'ordine di esposizione, all'interno della tesi, delle singole caratteristiche tecniche: speriamo che, in questa maniera, la comprensione di quanto scritto sia più semplice.

6.1.1 Letteratura archeologica

Può sembrare banale e scontato, ma giova ripetere come nessun progetto possa prescindere dalla lettura della bibliografia edita. La conoscenza di un territorio non è assicurata esclusivamente dalla

⁴³⁴RENFREW-BAHN 2000, pp. 71-77.

⁴³⁵CAMPANA 2002, p. 99.

lettura della produzione scientifica di ambito archeologico, poiché vi sono altri campi parimenti importanti ai fini della corretta comprensione di qualunque area. Ci riferiamo, per esempio, alla necessità di essere aggiornati sugli studi di carattere geologico, fondamentali per l'inquadramento dei processi deposizionali e post-deposizionali che sono alla base della formazione del report archeologico; inoltre, anche la conoscenza degli studi di geografia, spesso incentrati su problematiche quali lo sfruttamento del suolo, la prevalenza di una coltivazione su un'altra, la lettura diacronica delle dinamiche insediative deve far parte del bagaglio culturale.

Avere a disposizione informazioni puntuali su quanto pubblicato dagli studiosi nel passato, breve o lontano che sia, condiziona fortemente ogni momento della ricerca; nella fase iniziale, le domande che guidano l'indagine nascono, molto spesso, proprio da spunti o messi in luce o del tutto ignorati nella bibliografia precedente; la distribuzione e la conoscenza dei siti può, in un secondo momento, indirizzare verso l'impiego di uno strumento tecnico piuttosto che un altro.

Come abbiamo già avuto modo di sottolineare⁴³⁶, i dati a nostra disposizione derivano sia da lavori già editi e scavi già pubblicati, sia da materiale inedito da lungo tempo. L'intensità e la qualità del lavoro portato avanti nel corso del triennio risente, naturalmente, dell'eterogeneità della documentazione e, pertanto, varia in relazione allo stato dell'arte di ogni specifica zona. Per la macro area 1 (Galatese, Cavallaro e Vaccheria) i dati a nostra disposizione sono per lo più inediti, raccolti dall'*équipe* inglese dell'Università di Durham e rielaborati da chi scrive.

Nella letteratura archeologica, Galatese compare soltanto nella breve pubblicazione del report preliminare del *survey*, con uno spazio davvero limitato. Ai rinvenimenti funerari di contrada Cavallaro, frutto di quella che è definita archeologia d'emergenza, è dedicata soltanto un paginetta⁴³⁷. Nonostante la laconicità della documentazione, il sito è stato localizzato nel GIS archeologico appositamente progettato, ricorrendo alla cartografia conservata negli archivi della Soprintendenza di Catania, come avvenuto anche per il rinvenimento del contesto preistorico di Balze Soprane.

⁴³⁶Vedi il paragrafo appositamente dedicato alla storia della ricerca archeologica nel versante Nord-Ovest dell'Etna.

⁴³⁷Vedi nota precedente.

basa gran parte delle analisi presentate nel progetto di dottorato. Come detto, il *survey* è stato condotto dall'Università di Durham in collaborazione con la Soprintendenza di Catania e con il sostegno economico della *British Academy*. I lavori sono stati condotti durante i mesi di Agosto del 2006 e del 2007. Al termine della seconda campagna è stato pubblicato un piccolo report preliminare⁴⁴⁰ che preannunciava una successiva monografia per l'edizione organica dei risultati raggiunti. A causa del mancato finanziamento da parte dell'Unione Europea del progetto definito *Upper Simeto Valley*, l'Università inglese scelse la via del disinvestimento, mentre il personale di Soprintendenza non ha avuto il tempo disponibile per preparare la pubblicazione. Così, dopo circa dieci anni, il materiale che ci è stato gentilmente consegnato è ancora inedito.

Il progetto si inserisce per caratteristiche e obiettivi all'interno del filone di ricerche sull'archeologia dei paesaggi (*landscape archaeology*). Indagini simili sono state condotte in diversi siti della Sicilia, come la vicina Troina⁴⁴¹, Segesta⁴⁴² e la sua regione, Himera⁴⁴³ e la sua *chora*, *Heraclea Minoa*⁴⁴⁴, Monreale⁴⁴⁵, Contessa Entellina⁴⁴⁶ e in tempi più recenti Monte Iato⁴⁴⁷ e Monte Barraù⁴⁴⁸ in territorio di Corleone. L'*Upper Simeto Valley Project* è un'ulteriore testimonianza del trend di crescita, sia da un punto di vista numerico che qualitativo, che ha segnato i progetti di ricognizione archeologica nel contesto mediterraneo dell'ultimo venticinquennio.

La ricerca aveva come obiettivo prefissato la comprensione delle dinamiche di trasformazione del paesaggio e dei processi insediativi attraverso una lettura diacronica e sincronica, capace di contestualizzare i dati ottenuti all'interno del più generale contesto mediterraneo.

L'area oggetto delle ricognizioni è relativamente piccola, con una superficie di circa trecento settanta chilometri quadrati distribuiti tra i territori di Bronte, Maniace e Maletto.

⁴⁴⁰LEONE *et al.* 2007.

⁴⁴¹AYALA-FRENCH 2005.

⁴⁴²BERNARDINI *et al.* 2000.

⁴⁴³BELVEDERE *et al.* 2002.

⁴⁴⁴WILSON-LEONARD 1980.

⁴⁴⁵JOHNS 1992.

⁴⁴⁶CORRETTI *et al.* 2006.

⁴⁴⁷MAURICI *et al.* 2014.

⁴⁴⁸CASTRORAO BARBA *et al.* 2016b.

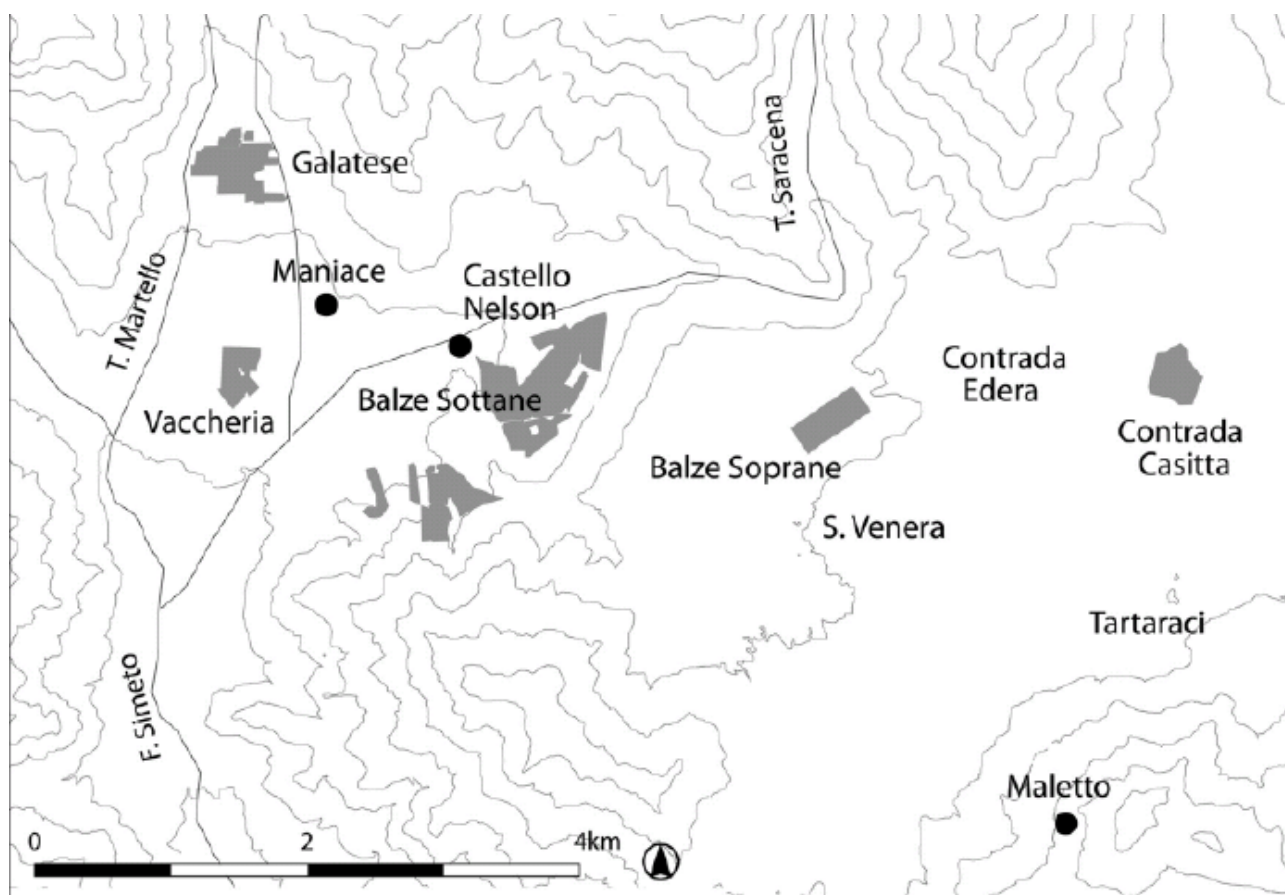


Figura 2. Le contrade interessate dal survey (da Leone et al. 2007).

Essa, per la maggior parte, coincide con l'estensione della due macro aree oggetto del presente lavoro, ad eccezione di pochi lembi di territorio. Contrada Casitta, dove sono state segnalate strutture di epoca greca, si trova ad Est della strada provinciale che congiunge la SS e il comune di Maletto e, pertanto, non rientra nella nostra inquadratura; dell'area campione fa parte, invece, Santa Venera, settore poco investigato dai ricercatori inglesi a seguito della metodologia adottata dal *team* di ricognitori. Avendo dei precisi limiti nella disponibilità di tempo e risorse umane⁴⁴⁹ (ed economiche), il gruppo ha operato una precisa scelta. Da un punto di vista metodologico, la definizione delle zone da sottoporre ad indagine rientra nel c.d. *judgment sampling/purposive sampling*. Si tratta del sistema più diffuso tra i tre possibili⁴⁵⁰ e si basa, principalmente, sul

⁴⁴⁹Annualmente le due campagne hanno avuto una durata abbastanza limitata, con attività concentrate all'interno del mese di Agosto. Questa la composizione del gruppo di ricerca: N. Adams, K. Croxfors, G. Lowsley, F. Mazzilli, C. Ross, A. Speirs, J. Walker, A. Wilkinson (*University of Durham*); E. Robinson (*Univ. of North Carolina*); V. Grasso (*Univ. di Catania*); A. Leone e R. E. Witcher *field directors*.

⁴⁵⁰*Haphazard sampling* è il metodo figlio della casualità che elimina il rischio di pregiudizi; *probability sampling* si basa su stringenti equazioni matematiche. In generale sulla scelta di campionatura si è sviluppata un'abbondante

contributo fornito dall'intuizione e dall'esperienza del ricercatore.

L'idea, assai condivisibile, è stata la campionatura, condotta durante il primo anno, di paesaggi e terreni completamente diversi quali sono Galatese (una terrazza fluviale), Erraneria e Balze (dolci colline coltivate), Casitta e Santa Venera (sciare laviche), così da mettere a punto un metodo adatto all'ambiente in cui operavano. Nel secondo anno, invece, i ricercatori si sono concentrati su una singola area, quella di Galatese, in virtù di quanto emerso dopo il primo anno. La grande differenza tra i paesaggi analizzati ha favorito l'applicazione di una metodologia unica che funzionasse in maniera perfetta in tutte e tre le aree. In linea generale, il *team* è stato suddiviso in gruppi di 4 o 5 ricognitori, che hanno percorso i terreni in file parallele a distanza costante di 5 metri. In molti casi, però, in presenza di una più alta densità di rinvenimenti lo *spacing* è stato ridotto anche a 2.5 o a 3 metri. Si tratta di un livello più alto rispetto a quanto fatto registrare a Troina⁴⁵¹ o Imera⁴⁵². La scelta è stata effettuata con l'intento di «*recover as large a sample of material as possible and to allow for the identification of extremely small scatters*⁴⁵³». Per quanto concerne Galatese, i fondi agricoli interessati dalla ricerca sono, ancora adesso, proprietà privata e hanno estensione medio-piccola. Il metodo adottato per la copertura dei campi che presentano coltivazioni stabili (uliveti, vigneti e frutteti) non si è discostato dal precedente: anzi, per certi versi, è stato più facile seguire l'allineamento delle piante. Un'ulteriore possibilità per non perdere l'orientamento è stata offerta dai numerosi punti di riferimento come cancelli e cancellate, recinzioni e pozzi, strutture assai diffuse nei terreni di Galatese.

Il materiale individuato, per lo più ceramica ma anche monete e oggetti in bronzo, è stato raccolto, lavato, rapidamente classificato e posizionato tramite GPS su carta, con notevole risparmio di tempo e con maggiore accuratezza. Il criterio base per la raccolta dei manufatti è la sistematicità del recupero di tutti i campioni databili. Quando è apparsa una concentrazione di ceramica più alta⁴⁵⁴, è stata condotta una ricerca più intensiva, come già detto; nei casi più significativi, l'area è stata suddivisa in quadrati di 5x5 m, con l'intento e la speranza di non perdere preziose informazioni sulla funzionalità di un sito. Diffuse le presenze sporadiche di manufatti e i c.d. *off-sites*. Le cause

bibliografia; per l'Italia vedi tra gli ultimi VALENTI 1995, pp. 21-23; CAMBI-TERRENATO 1994, pp.144-147; eccellente sintesi in RENFREW-BAHN 2000, pp. 75-77.

⁴⁵¹AYALA-FRENCH 2005, p. 152.

⁴⁵²BELVEDERE 2002, p. 8.

⁴⁵³LEONE *et al.* 2007, p. 5.

⁴⁵⁴Un basso livello di concentrazione è stimato in circa 2/3 manufatti per metro quadrato.

che possono avere contribuito al rinvenimento di materiale di superficie senza corrispondenza con una stratificazione archeologica sono molteplici⁴⁵⁵; tra le spiegazioni più diffuse e comuni, le dinamiche di coltivazione e, soprattutto, di concimazione di campi sono le più spendibili per il territorio oggetto d'indagine.

Naturalmente, l'interpretazione dell'*off-site* può risultare ambigua, poiché è facile che nasca il dubbio che si possa trattare, invece, di un deposito archeologico andato più o meno compromesso. Per ragioni di tempo, non sono state effettuate dal *team* inglese ripetizioni di esplorazioni già condotte, se non in rarissimi casi.

I principi appena esposti rimangono, purtroppo, suscettibili di interpretazioni soggettive, lasciando degli evidenti margini di dubbio su molte interpretazioni. L'esempio classico è il rinvenimento di materiale deperibile che, almeno in linea ipotetica, potrebbe provenire da strutture abitative. Ovviamente, in un terreno sottoposto a un uso agricolo prolungato e intensivo, risulta assai difficile leggere le tracce delle murature. Così, nel tentativo di superare il *vulnus*, si è fatto ricorso dell'espressione inglese *evidence scatter*, ricorrendo al termine frequentazione per definire tale situazione⁴⁵⁶.

La metodologia appena descritta, abbastanza funzionale per le aree coltivate, è apparsa di difficilissima applicazione nei contesti paesaggistici caratterizzate dalle sciere di scorrimento lavico. I caratteri geomorfologici del suolo causano problemi di visibilità, accentuata dalla vegetazione steppica e dalla irregolarità nel suolo. Molto facile perdere l'orientamento e quasi impossibile percorrere tali spazi in file parallele. Per questo motivo, il *team* inglese si è limitato ad attraversare tali spazi, quasi come se fosse una normale passeggiata esplorativa. Però, attraverso l'impiego del GPS i materiali affioranti sono stati assegnati al loro contesto di rinvenimento con la dovuta precisione. Il ricorso al GPS ha permesso, inoltre, il tracciamento dei confini delle Unità Topografiche (UT) nonché il posizionamento di particolari manufatti o strutture murarie. Per la compilazione delle UT sono state impiegate schede prestampate denominate *Site Record Sheet*, appositamente elaborate. La cartografia di base impiegata comprende le tavolette IGM in scala 1:25.000 per la pianificazione del lavoro, la Carta Tecnica Regionale e la Cartografia Tecnica Comunale per il lavoro sul campo. In particolare, la prima individuazione dei limiti delle UT è avvenuta sui fogli della cartografia comunale, dove, ricordiamo, è segnalata l'estensione di ogni fondo; su tale supporto cartaceo, sono stati indicati alcune rilevanti fattori, quali il numero

⁴⁵⁵Il tema della visibilità di un sito e dell'interpretazione dei risultati da *survey* è riassunto in maniera egregia in TERRENATO 2000.

⁴⁵⁶L'espressione 'frequentazione' è applicabile, senza limitazioni temporali, a ogni fase cronologica.

progressivo di UT (o di sito nel caso della presenza di particolare materiale archeologico), i limiti dei terreni ricogniti⁴⁵⁷, l'accessibilità o meno del campo.

La successiva fase di elaborazione dei dati ha, invece, interessato in prima persona chi scrive. L'analisi dell'*evidence* raccolta sul campo è stata effettuata ricorrendo a tecniche e metodologie di calcolo proprie degli ambienti GIS.

Seppur in maniera rapida, inoltre, sono state analizzate le numerose cassette contenenti i reperti rinvenuti e rimossi durante il *survey*⁴⁵⁸. La pubblicazione sistematica della cultura materiale rinvenuta e l'edizione, in dettaglio, di ognuno dei siti segnalati non sono l'obiettivo primario del presente lavoro di tesi. All'interno dell'esperimento di postdittività, pur avanzando alcune letture diacroniche sul paesaggio storico e sulle dinamiche insediative ad esso collegate, presenteremo in maniera specifica soltanto i dati di quelle specifiche aree in cui sono state utilizzate le tecniche d'indagine più recenti (rilievo LiDAR, foto satellitari multispettrali, immagini da UAV). Nonostante ciò, abbiamo comunque ritenuto utile inserire nelle tavole poste a conclusione del lavoro alcuni dei pezzi più significativi di quanto rinvenuto..

Possiamo affermare che il limite principale del lavoro effettuato con questo tipo di strumento (il *survey*) consista nell'evidente difficoltà di comprensione delle dinamiche con cui sono state condotte dieci anni or sono le ricognizioni. Nonostante le preziose e costanti indicazioni della coordinatrice del progetto, la prof.ssa Leone, lavorare su una documentazione interamente prodotta da terze persone non è mai facile, ancora di più se impiegano un'altra lingua e utilizzano altri strumenti.

In generale, la ricognizione costituisce uno strumento con evidenti vantaggi nell'identificazione di un buon numero di siti minori che, altrimenti, risulterebbero invisibili attraverso altre procedure. Inoltre, si tratta di una tecnica non invasiva e abbastanza economica, che richiede un numero non eccessivo di persone. L'altro lato della medaglia è rappresentato dall'elevato dispendio di tempo necessario per condurre le prospezioni; basti pensare, a tal proposito, al nostro caso specifico: l'area di meno di quattrocento ettari è stata ricognita nell'arco di due mesi, un ritmo assolutamente nella media dei *survey*. Inoltre, la natura stessa dell'indagine e l'impossibilità di conoscere a priori la presenza o assenza di contesti archeologici rende assai difficile l'elaborazione di un cronoprogramma che, gioco forza, sarebbe difficile rispettare. Oggetto di grande dibattito è, inoltre,

⁴⁵⁷Non è detto, infatti, che essi coincidano esattamente con i limiti legati alla proprietà del fondo.

⁴⁵⁸Una parte minoritaria del materiale è esposta presso il Museo Civico di Maletto "Salvo Nibali", mentre la maggior parte è conservata presso i depositi della Soprintendenza di Catania.

l'effettiva corrispondenza tra quanto rinvenuto in superficie e quanto celato nel sottosuolo⁴⁵⁹; si tratta di un elemento che, insieme alla problematica interpretazione di alcuni depositi (*off-sites* o stratigrafie depauperate da attività antropiche?), continua a minare il grado di affidabilità delle ricognizioni archeologiche. Non mancano, in tal senso, anche posizioni accademiche, soprattutto degli storici, dominate da un sentimento di grande diffidenza⁴⁶⁰. Il *survey*, tra tutti i metodi per fare archeologia sul campo, è quello che abbraccia una scala territoriale più ampia, e, in conseguenza di ciò, mette più facilmente in contatto gli storici con i dati archeologici.

6.1.3 SISTEMI AEREI O SPAZIALI

Tra i sistemi aerei o spaziali rientra l'impiego di immagini da satelliti VHR, la pratica di ricognizioni aeree con drone, l'utilizzo di dati LiDAR nonché il sistema di posizionamento satellitare GPS. Da circa un decennio, tali tecniche sono ormai singolarmente consolidate, sebbene il loro impiego combinato sia abbastanza sporadico e legato, soprattutto, al momento che precede l'inizio di un intervento di scavo. A tal proposito, interessante sottolineare come gli strumenti sopra menzionati possano essere utilizzati in più fasi della ricerca archeologica e con finalità diverse. Infatti, nel momento iniziale che porta all'individuazione del sito archeologico l'uso di un sensore LiDAR o di immagini da piattaforma spaziale può essere finalizzato alla ricerca di anomalie; dopo la scoperta del sito, invece, il LiDAR può essere un ottimo strumento per la realizzazione di rilievi topografici dall'alto.

All'interno del nostro progetto di dottorato, la strategia adottata ha portato all'utilizzo delle immagini satellitari, delle ricognizioni con drone e del GPS in entrambe le fasi, quindi sia *ex ante* che *ex post*; i dati LiDAR, invece, sono stati impiegati con finalità post-dittiva, per la verifica delle anomalie affioranti. Infine, le foto aeree storiche sono state impiegate per meglio comprendere l'evoluzione diacronica del paesaggio, soprattutto relativamente ai corsi d'acqua e ai nuclei abitativi

6.1.3.1 Aereofotointerpretazione

L'osservazione delle fotografie aeree è stata effettuata su entrambe le macro aree nel corso del dottorato di ricerca. Le immagini sono state acquisite dall'Aerofoteca di Firenze in formato digitale, georeferenziate e inserite in QGis, dove costituiscono un apposito *layer*. La procedura di lavoro ha previsto la consultazione sistematica delle riprese disponibili, in realtà non molte, per le aree

459GUIDI 1994, pp. 13-14 sull'interpretazione degli *off-sites*.

460TERRENATO 2004, p. 37: «...the intensification of survey in the Mediterranean may also have to do with a reaction to the sustained skepticism with which ancient historians have greeted survey result».

oggetto di studio. L'intento dichiarato è stato l'individuazione di qualche possibile anomalia archeologica, prendendo confidenza anche con le numerosissime false tracce. Come spesso accade, il confronto con la documentazione fotografica ha permesso di leggere meglio i processi di trasformazione del paesaggio, evidenti soprattutto a causa della pressione antropica sempre crescente anche in una zona relativamente poco abitata.

Per la copertura aerofotogrammetrica del territorio in esame si è fatto riferimento ai seguenti voli:

- ripresa aerofotogrammetrica nazionale eseguita il 19/10/1954 con pellicola pancromatica b/n, macchina da presa Fairchild, scala 1:30.000, 23x23 cm (TAV. IV)
- ripresa aerofotogrammetrica regionale eseguita il 9/6/1967 con pellicola pancromatica b/n, macchina da presa Zeiss, scala 1:28.000, 23x23 cm
- ripresa aerofotogrammetrica regionale eseguita il 10/11/1989 con pellicola pancromatica b/n, macchina da presa Wild, scala 1:35.000, 23x23 cm
- ripresa aerofotogrammetrica della Sicilia Orientale eseguita dall'IGM 7/16/1995 con pellicola pancromatica b/n, macchina da presa Wild, scala 1:38.000, 23x23 cm

Il limite principale delle fotografie aeree zenitali è da cercare nella loro originaria destinazione cartografica. I voli, commissionati sia in ambito regionale sia nazionale, sono ancora oggi concentrati principalmente nei mesi di Agosto, Settembre e , meno raramente, Ottobre; in tale periodo dell'anno non è facile riscontrare condizioni di visibilità ottimali per l'individuazione delle tracce archeologiche. Naturalmente, la problematica è ancor di più accentuata in un contesto ambientale e geomorfologico così particolare quale è il paesaggio lavico etneo. Inoltre, la presenza di boschi, di vegetazione molto fitta o in generale di alberi cancella quasi totalmente la possibilità di scorgere anomalie nel terreno. Infine, la quota del volo dell'aereo non permette la focalizzazione su tracce archeologiche di modeste dimensioni. A bilanciare tali svantaggi, interviene l'insostituibile valore storico degli serie fotografiche più datate, che costituiscono, in molti casi, una delle ultime testimonianze di paesaggi ormai perduti o completamente trasformati in seguito al processo di urbanizzazione.

6.1.3.2 Remote Sensing

La disponibilità d'immagini satellitari ad alta e altissima risoluzione ha permesso di ovviare all'approssimazione della risoluzione delle foto precedentemente impiegate con finalità

archeologiche (per esempio da Landsat). Nell'ambito della nostra ricerca sono state acquisite e utilizzate sia immagini multispettrali che pancromatiche. Com'è noto, il colore può essere definito come una percezione qualitativa limitata rispetto all'intero spettro, in quanto esso dipende dal comportamento della superficie in questione in relazione alla luce solare. Infatti, la quantità di luce riflessa varia al variare della lunghezza d'onda. Così, per esempio, nell'intervallo tra 700-900 nm si osserva la massima variabilità e visibilità della vegetazione, mentre gli studi sulla trasparenza dell'acqua si concentrano tra i 450-520 nm. Pertanto, la qualità e la quantità degli intervalli spettrali a nostra disposizione costituisce un fattore determinante per discriminare e riconoscere determinate superfici rispetto ad altre. Naturalmente, i manufatti archeologici di cui cerchiamo le tracce sono quasi sempre sepolti o nascosti da fitta vegetazione, motivo per il quale ne cerchiamo l'evidenza attraverso la comparsa di segnali indiretti (anomalie).

Il set di bande con cui abbiamo lavorato è raffigurato nell'immagine sottostante.

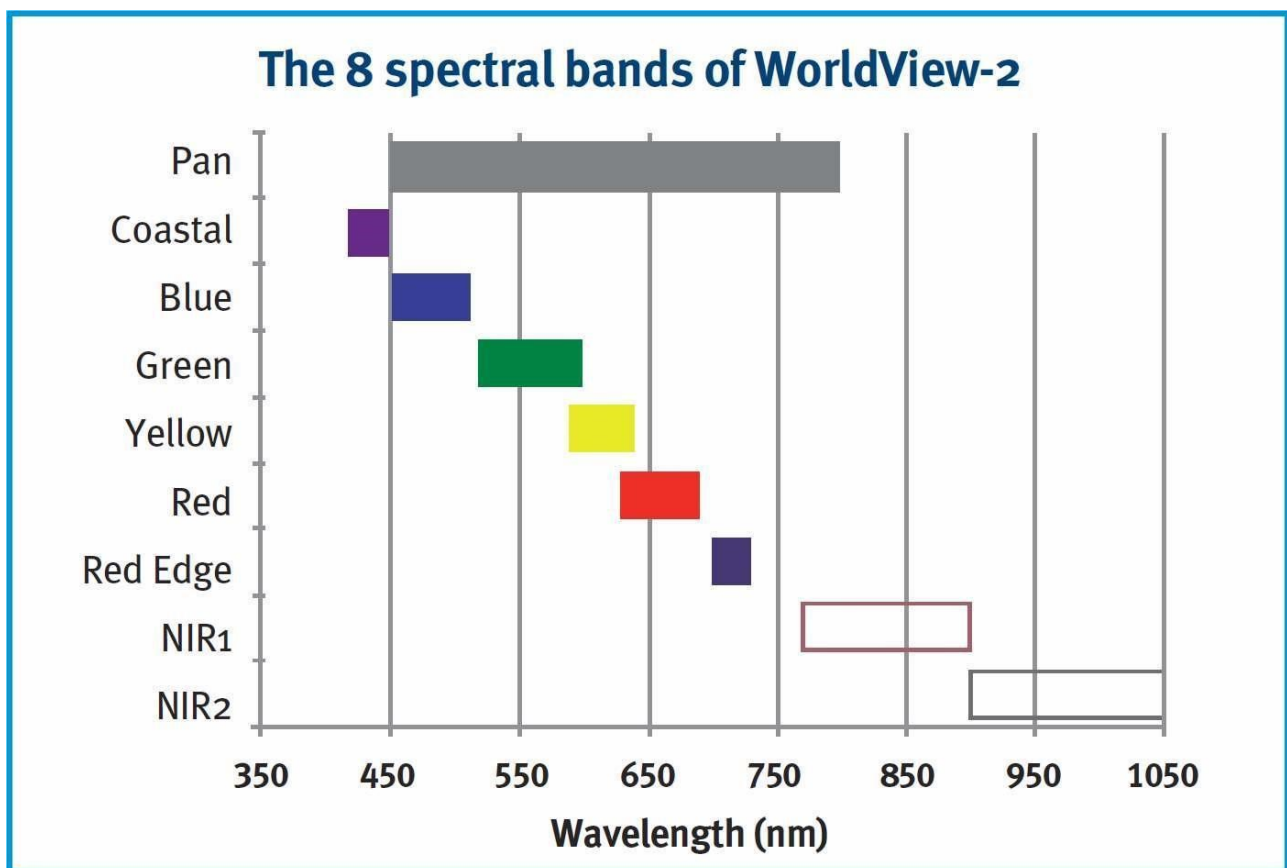


Figura 3.. Le bande spettrali delle immagini dal satellite WorldView2: 8 canali più il pancromatico.

Il satellite WorldView 2 è stato il primo a essere dotato di un sensore in grado di acquisire oltre alla

tradizionali quattro bande (Blu, Rosso, Verde e Infrarosso vicino) altre quattro fino a quel momento⁴⁶¹ inedite. Si tratta, nello specifico, della:

1. *Costal Blue Band* (tra i 400 – 450 nm), così definita per la sua utilità negli studi batimetrici, incentrati sulle proprietà dell'acqua;
2. *Yellow Band* (585 – 625 nm), utilizzata principalmente per ottimizzare i processi di classificazione;
3. *Red Edge Band* (705 – 745 nm), fondamentale per l'analisi dello stato di salute delle vegetazione, in quanto correlata direttamente allo *status* della clorofilla, e per l'esplorazione e individuazione di idrocarburi;
4. *Near Infrared 2 Band* (860 – 1040 nm), seconda banda nel Vicino Infrarosso, impiegata soprattutto nello studio delle biomasse e dei reticoli idrografici.

Tra i vantaggi più evidenti offerti dall'impiego di dati multispettrali citiamo:

- I. le immagini sono *GIS-ready* ovvero predisposte per l'inserimento in contesto GIS. Esse necessitano, comunque, di alcune operazioni previste nella fase di pre-processamento: *pansharpening* e ortorettifica⁴⁶²;
- II. possibilità di elaborazione di specifici algoritmi in ogni banda, in maniera separata. È, inoltre, possibile stabilire dei confronti inerenti il contenuto informativo di più bande. Ad esempio, si possono ottenere i c. d. indici di vegetazione o di biomassa, molto utili per la ricerca di tracce archeologiche;
- III. disponibilità di informazioni su *layers* differenti;
- IV. quadro sinottico del contesto territoriale analizzato nel NIR. La banda del Vicino Infrarosso è impiegata, quasi esclusivamente, per l'individuazione di siti già scoperti.

Sono stati sostanzialmente superati gli svantaggi tipici delle precedenti generazione di satelliti. Mentre permane la necessità di disporre di condizioni atmosferiche ottimali, il prezzo e la difficoltà di reperimento delle immagini non costituiscono più un problema. Si è iniziato a porre rimedio a tali criticità con la fine degli anni Novanta, quando la *Space Imaging* lanciò in orbita il satellite *Ikonos-2* e, due anni più tardi, *Quickbird-2*⁴⁶³. Inoltre, sono ormai disponibili numerosi *software* e *tool* per

⁴⁶¹Il satellite è stato lanciato nell'Ottobre del 2009.

⁴⁶²Su entrambe le procedure ci soffermeremo nel capitolo appositamente dedicato alla fase di *image-processing*.

⁴⁶³Tema ampiamente trattato nel capitolo dedicato all'evoluzione delle applicazioni archeologiche di *Remote Sensing*.

l' image-processing di pregevole qualità, sviluppati in ambienti open source.

6.1.4 Satelliti ad altissima risoluzione

6.1.4.1 Worldview-2

Worldview-2 è stato lanciato nel 2009 dalla Digital Globe e fa parte dell'ultima generazione di satelliti commerciali ad altissima risoluzione. Fornisce, infatti, immagini pancromatiche (Bianco e Nero) con risoluzione geometrica⁴⁶⁴ di 0.46 m, mentre per le immagini multispettrali la risoluzione è di 1.85m. La piattaforma satellitare, come abbiamo visto la prima (commerciale) con otto bande, opera ad un'altitudine di 770 chilometri ed è in grado, in virtù del suo modernissimo sistema di scanning bidirezionale, di acquisire poco meno di un milione di chilometri quadrati al giorno, con una strisciata ampia fino a 16.4 chilometri al nadir. Inoltre, grazie alla migliorata agilità e all'altitudine in cui opera, ha un tempo di rivisita⁴⁶⁵ stimato in poco più di un solo giorno e, comunque, sempre inferiore ai due giorni.

⁴⁶⁴Ricordiamo come la risoluzione spaziale dipenda dal campo istantaneo di vista ed è definita come la distanza minima relativa entro la quale è possibile distinguere due oggetti nell'immagine; corrisponde, pertanto, alla dimensione dell'elemento minimo identificabile sull'immagine, cioè il pixel. La risoluzione spettrale, invece è data dalla distanza minima delle lunghezze d'onda medie di due bande spettrali che il sensore può separare.

⁴⁶⁵Per tempo di rivisita si intende la misura temporale che ogni satellite impiega per ritornare su un punto in cui è già passato.



Figura 4.. Il satellite Worldview-2 (immagine DigitalGlobe).

L'insieme delle caratteristiche tecniche sopra menzionate rende Wordview uno dei satelliti che più si avvicina ai *desiderata* degli archeologi. Seguendo numerosi esempi già presenti in letteratura⁴⁶⁶, abbiamo pertanto deciso di acquisire immagini da Worldview 2 dell'area oggetto d'indagine, data anche l'indisponibilità di strisciate provenienti dal Worldview 3⁴⁶⁷. Tra i fattori valutati ai fini dell'acquisto del prodotto la superficie minima, la presenza di copertura nuvolosa e i tempi di acquisizione. Come scritto in precedenza, l'estensione dell'area oggetto della nostra indagine non raggiungeva la superficie minima richiesta dalla Planetek Italia, la società che commercializza il prodotto. In un secondo momento, pertanto, si è optato per un'inquadratura più grande in modo da soddisfare il requisito dell'estensione e garantire, allo stesso tempo, la presenza di zone d'interesse archeologico. La copertura definitiva ha raggiunto i trentaquattro kmq a fronte di una spesa assai limitata: appena cinquecento euro più Iva. Anche i tempi di consegna, come il costo complessivo, si sono rivelati assai vantaggiosi. Non appena inviato l'ordine definitivo, esso è stato evaso nel giro di pochissimi giorni. La consegna del prodotto è avvenuta via mail, all'interno della quale era inserito

⁴⁶⁶PARCAK-TUTTLE 2016; BRIGAND 2015.

⁴⁶⁷Lanciato nel 2014, è il primo satellite con 26 bande iperspettrali; migliorata anche la risoluzione: 31 cm pancromatica, 1,24 m spettrale.

il *link* utilizzabile per scaricare le immagini.

I punti di forza più importanti relativi all'acquisto e alla distribuzione/consegna dei dati provenienti dai satelliti di ultima generazione consistono proprio nella libertà dell'utente nella scelta dell'area⁴⁶⁸ e dei tempi di acquisizione⁴⁶⁹ e nella generale facilità nell'ottenimento dei dati.



Figura 5. Una delle possibili coperture proposte da Planetek Italia, risalente a Giugno 2017. Nonostante Maggio e Giugno siano tra i mesi preferibili, la presenza di sporadiche coperture nuvolose ha fatto sì che la scelta cadesse non su questa strisciata.

Possiamo, in definitiva, ritenerci pienamente soddisfatti delle modalità d'acquisto dei dati satellitari, dal momento che sono stati confermati *in toto* tutti i punti di forza a cui avevamo accennato.

L'area inquadrata dalla strisciata racchiude al suo interno le nostre due macro-aree e ulteriori zone che, almeno nel nostro programma iniziale, non dovevano rientrare nel contesto di studio. Si tratta, andando nello specifico, di contrada S. Andrea, Piano di Tavola e La Conca, poste ad Ovest di Galatese e del torrente Martello (macroarea 1); di La Piana- Porticelle, Zirilli Balze Sottane e Ciappe Bianche poste a Nord di Balze Soprane (da Ovest ad Est); di contrada Ficarazzi e Roccaro, situate a Sud di contrada Edera e Sciare di Santa Venera (macroarea 2). Rimane escluso il centro urbano di Maletto, seppur di poco, e il 'quartiere' di Petrosino del comune di Maniace .

Infine, per quanto concerne l'arco temporale, la scelta è caduta, per una serie di motivi, su una strisciata datata all'Aprile del 2013 *In primis*, l'inquadratura risulta sgombra da perturbazioni e l'immagine abbastanza nitida; inoltre, la vegetazione spontanea in contrada Sciare di Santa Venera ed Edera non appare né così rigogliosa da celare in maniera inestricabile possibili strutture

⁴⁶⁸L'unico requisito è che l'estensione dell'area raggiunga almeno i 25 kmq; inoltre, è necessario disegnare un poligono e inviarlo come *shapefile*.

⁴⁶⁹Nel nostro caso, ci sono state proposte quattro diverse strisciate, con una differenza temporale abbastanza marcata: da Giugno 2017 ad Aprile 2013.

archeologiche né così assente da non permettere l'applicazione degli indici di vegetazione. O almeno questa era la nostra considerazione di partenza. Infine, nel 2013 non erano ancora stati condotti gli scavi archeologici che hanno rivelato la presenza di edifici databili ad età greca e bizantina: qualora fossero stati presenti tali strutture, sarebbe stato impossibile condurre procedure postdittive.

6.1.5 Satelliti a media risoluzione

6.1.5.1 Landsat 7

La serie Landsat rappresenta l'esito definitivo del primo programma specificatamente costruito per il telerilevamento multispettrale. Dal lancio del primo satellite nel 1972 fino all'ultimo del 1998, il Landsat 8, il sistema ha fornito, in maniera ininterrotta, una quantità di dati multispettrali che ha rivoluzionato l'intero mondo della geomatica. Infatti, l'eredità del programma non si è limitata alla natura e alla qualità dei dati, già straordinari, ma ha coinvolto anche il modo in cui è cresciuta la comunità scientifica; tra gli stimoli incentivati dai dati dei satelliti Landsat, la necessità del miglioramento costante della qualità delle immagini, il tentativo di rendere anche lo spazio un luogo di cooperazione internazionale governato da legge giuste, la spinta verso la privatizzazione e la commercializzazione⁴⁷⁰. Un vero e proprio paradigma, diventato, alla fine, dominante grazie alla forza dimostrata dal programma Landsat.

Il satellite Landsat 7, il penultimo della serie, è stato messo in orbita nel 1999, monta il radiometro multispettrale ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), che replica le capacità degli strumenti del Landsat 4 e 5. La piattaforma ha un'orbita eliosincronica⁴⁷¹ di circa settecento chilometri e ritorna sul medesimo punto dopo sedici giorni. Le principali caratteristiche del sensore sono la presenza di una banda pancromatica⁴⁷² con risoluzione spaziale di quindici metri e la novità di un canale termico all'Infrarosso, che corrisponde alla banda numero sei, con risoluzione a sessanta metri rispetto ai centoventi precedenti. Tale canale è principalmente usato per condurre studi geologici in virtù della sua capacità di evidenziare le differenze qualità dei suoli, sebbene possa essere anche impiegato per misurare lo stress termico delle piante. Naturalmente, la presenza di manufatti sepolti

⁴⁷⁰LAUER *et al.* 1997, pp. 834-835.

⁴⁷¹L'orbita eliosincronica permette, tramite una combinazione apposita di altezza e inclinazione, che il passaggio del satellite sopra ogni punto avvenga alla stessa ora locale, cioè a intervalli fissi.

⁴⁷²Naturalmente la banda pancromatica si aggiunge ai tradizionali sette canali: 1- blu e verde 2- verde 3-rosso 4-Vicino Infrarosso 5-Medio Infrarosso 6-Infrarosso Termico 7-Medio Infrarosso.

può essere inferita anche dall'analisi delle temperature superficiali degli oggetti⁴⁷³ e la banda numero sei rappresenta un ottimo strumento in tal senso; beninteso, la risoluzione offerta dal Landsat limita le ricerche archeologiche a una scala media-ampia.

Band Number	Spectral Range (µm)	Ground Resolution (m)
1	0.450 – 0.515	30
2	0.525 – 0.605	30
3	0.630 – 0.690	30
4	0.750 – 0.900	30
5	1.550 – 1.750	30
6	10.400 – 12.500	60
7	2.090 – 2.350	30

Figura 6. Le bande del Landsat 7 e le loro rispettive risoluzioni (elaborazione dell'autore).

Comunque, le lezioni imparate dalle lunghe esperienze passate, soprattutto con il Landsat 4 e 5, hanno reso la qualità della settima missione ancora migliore, soprattutto in relazione alla calibrazione radiometrica, accuratezza geometria e qualità dell'immagine.

Purtroppo, un guasto al sistema di *Scan Line Corrector*⁴⁷⁴ (SLC) ha gravemente compromesso la qualità delle scene dal Maggio del 2003. Il sensore ETM+, nonostante tutto, continua a operare, sia da un punto di vista radiometrico che geometrico, garantendo lo stesso livello di precisione e accuratezza; alla stessa maniera, anche i pixel dell'immagine sono geolocalizzati e calibrati.

Dall'Ottobre del 2008, tutti i dati del Landsat sono stati resi disponibili gratuitamente⁴⁷⁵ e, di conseguenza, si è fatto ricorso anche a questo strumento per la nostra ricerca. In campo archeologico, le immagini Landsat si sono rivelate assai utili per la scoperta e l'individuazione di sistemi viari, canalizzazioni, parcellizzazioni agrarie, aree di accumulo idrico e, in ambienti aridi o

⁴⁷³La stima dell'inerzia termica dei corpi si ottiene attraverso il confronto con la temperatura misurata in due momenti del giorno, di solito mattina e sera, quando le differenze sono più marcate. Stante l'impossibilità di avere a disposizione dati di tale complessità da sensori in orbita, con una risoluzione al suolo apprezzabile per indagini di archeologia, fondamentale appare il ricorso alle camere termiche da terra o aviotrasportate.

⁴⁷⁴Si tratta del sistema impiegato per rimuovere il movimento a "zigzag" insito nell'*imaging field*. A causa del malfunzionamento rilevato, le immagini, specialmente lungo i margini, presentano dei veri e propri buchi.

⁴⁷⁵Scaricabili all'indirizzo: <https://earthexplorer.usgs.gov>

propriamente desertici, di veri e propri insediamenti urbani.

Nell'ambito del nostro progetto di dottorato, sono state impiegati dati provenienti dal sensore ETM+ del Landsat 7. Il trattamento digitale delle foto e la successiva elaborazione ha permesso il riconoscimento della parcellizzazione agraria, leggibile anche attraverso altri strumenti⁴⁷⁶, nonché una più precisa individuazione delle caratteristiche geologiche e, soprattutto, idriche dei terreni della macroarea 1. La risoluzione a sessanta metri ha rappresentato, come preventivabile, un limite per la ricerca di stratificazioni archeologiche puntuali. Ci auguriamo di poter disporre, per una futura prosecuzione delle indagini, di uno scanner aviotrasportato con sensore termico da impiegare soprattutto per l'area di Galatese, pertinente alla macro-area 1. Infatti, in tale zona sono presenti numerosi terreni alberati, soprattutto ulivi e alberi da frutto e, pertanto, il canale dell'Infrarosso Termico costituisce lo strumento migliore per chiarire la presenza o meno di resti archeologici nel sottosuolo.

6.1.5.2 Unmanned Aerial System

Dalla fine del XIX secolo e dai pionieristici tentativi di Giacomo Boni di impiegare un pallone frenato per scattare fotografie aeree del Foro Romano fino ai nostri giorni⁴⁷⁷, gli archeologi hanno sempre più compreso l'importanza di acquisire immagini aeree per documentare, monitorare e conservare il patrimonio culturale⁴⁷⁸.

Da un punto di vista lessicale, con l'acronimo inglese UAV sono indicati gli aeromobili progettati per volare senza pilota umano a bordo. Il termine è ampiamente utilizzato in letteratura, sebbene siano diffusi anche alcuni sinonimi quali droni, veicoli a pilotaggio remoto, *micro-aerial vehicles* ecc... La locuzione *Unmanned Aerial System* comprende l'intero 'pacchetto' costituito dalla piattaforma o dal velivolo, il sensore (o i sensori) e la stazione di controllo a terra (*Ground Control Station - GCS*).

Attualmente, i principali impieghi di tecnologie legate a piattaforme *unmanned* riguardano il campo della documentazione archeologica di scavi, generalmente in 2D, di rilievi, di monumenti o parchi e, soltanto raramente, sono utilizzate per fini diagnostici. Naturalmente, ognuna delle piattaforme impiegate (aquiloni, torrette, palloni, dirigibili, *helikite*...) presenta particolari vantaggi e svantaggi,

⁴⁷⁶Sono individuabili diversi moduli impiegati in momenti differenti per la divisione dei campi un tempo facenti parte del latifondo della Ducea di Nelson.

⁴⁷⁷L'evoluzione della fotografia aerea in ambito archeologico è stata oggetto di un apposito paragrafo a cui rimandiamo per informazioni bibliografiche.

⁴⁷⁸Inquadramento generale e stato dell'arte sull'impiego di droni in archeologia in CAMPANA 2017.

un tema ampiamente sviscerato in letteratura⁴⁷⁹. Il mercato permette di acquisire una buona piattaforma per scopi archeologici spendendo da un minimo di mille euro fino anche ai duecento mila euro; in base al budget, infatti, è possibile migliorare l'autonomia in volo del velivolo, il livello della strumentazione interna e molte altre caratteristiche tecniche. Allo stesso tempo, sono anche migliorate le soluzioni *low-cost* disponibili, che permettono, nonostante alcune limitazioni, di portare avanti in maniera più che dignitosa i progetti legati all'archeologia.

Le principali differenze, da un punto di vista prettamente archeologico, che distinguono le tradizionali piattaforme⁴⁸⁰ (aquiloni, palloni etc) dai mezzi UAV sono insite nell'opportunità di avere un controllo molto accurato della piattaforma e una scala d'indagine più adatta per ricerche di archeologia di paesaggio. Qualora si avesse la necessità di ottenere delle ottime fotografie aeree lo strumento delle *close-range AP platform* è di gran lunga da preferire, soprattutto per la facilità di impiego e il costo irrisorio (se confrontato con quello dei droni).

I velivoli a pilotaggio remoto sono impiegati sempre più spesso nel mondo archeologico. Una prova dell'interesse sempre crescente che tale strumento esercita è fornita dal numero di pubblicazioni, riunioni e congressi internazionali dedicati a tale tema. Citiamo, a tal proposito, la recente conferenza di Archeologia Aerea, celebrata all'Accademia Belgica di Roma nel Febbraio del 2016, dal titolo "*From Aerostats to Drones: Aerial Imagery in Archaeology*", con un'apposita sezione dedicata proprio ai droni. Essi sono impiegati con molteplici scopi: dalla documentazione completa di attività di scavo, con la produzione di ortofoto o di modelli 3D per esempio, a rilievi di monumenti ancora in piedi, fino alle mappature in 3D di particolari contesti archeologici⁴⁸¹. Il velivolo può anche essere utilizzato, infine, per trasportare scanner (sensori termici, radar etc) in grado di scovare anomalie nel terreno, rivelando, in molti casi, resti archeologici nascosti da secoli.

6.1.5.3 Phantom 4

Nel caso specifico rappresentato dalla nostra ricerca, grazie alla collaborazione con la cattedra di

⁴⁷⁹VERHOEVEN *et al.* 2009.

⁴⁸⁰Si tratta di un settore, un po' di nicchia all'interno del telerilevamento, definito *Close-range aerial photography*.

⁴⁸¹Sul potenziale multidimensionale delle foto aeree in formato analogico e digitale vedi il lavoro di G. Verhoeven e F. Vermeulen della *Ghent University* all'interno del Potenza Valley Survey. I due studiosi stanno elaborando un modello 3D dei siti di Montarice e Colle Burchio in cui è rappresentata anche la copertura vegetale presente al momento della ripresa delle foto. Presentato nel 2016 alla II Conferenza di Archeologia Aerea, del progetto si è già data notizia in VERHOEVEN-VERMEULEN 2016, pp. 4-12; un lavoro simile condotto con il medesimo approccio in SEVARA *et al.* 2017.

Automatica dell'Università di Catania⁴⁸² è stato possibile disporre di un drone, il Phantom 4.

Si tratta di uno degli ultimi modelli della fortunata serie, arrivata adesso al numero 5. Il drone a nostra disposizione aveva un costo al momento della sua immissione nel mercato di 1599 euro, abbassatosi dopo qualche anno soltanto di poche centinaia di euro. Il velivolo ha rappresentato per molti aspetti tecnici un netto miglioramento rispetto alla versione precedente; al di là del peso della batteria, aumentato di circa cento grammi, è stata aumentata la velocità di volo massima, il tempo di volo, la velocità di discesa e ascesa nonché la capacità della batteria. Anche la fotocamera del DJI Phantom 4 presenta una qualità complessiva maggiore; infatti, il miglioramento delle ottiche ha ridotto alcuni disturbi come l'aberrazione cromatica⁴⁸³, aumentando la nitidezza delle immagini soprattutto negli angoli. Inoltre, il sensore registra⁴⁸⁴ alla risoluzione di 4K (con 30 fps), mentre alla risoluzione di FHD 1080p riesce a raggiungere i 120 fps. È, infine, montato un particolare sistema di trasmissione delle immagini, definito *Lightbridge*, che lavora ad una risoluzione di 720p fino all'incredibile distanza di cinque chilometri. Associando il sistema ad un semplice dispositivo mobile, è possibile seguire in HD dal vivo la telecamera del Phantom.

La vera innovazione si trova, però, nel sistema che, attraverso cinque telecamere⁴⁸⁵ e un apposito *software*, è in grado di vedere (anche) gli ostacoli che lo circondano. Tale abilità rende, pertanto, molto difficile che il drone si schianti contro il muro, in quanto esso riconoscerà prima l'ostacolo, diminuendo la velocità. Le telecamere catturano immagini che il programma utilizza per costruire un modello 3D della realtà intorno a sé. Inoltre, attraverso *l'Active Track*, il drone è in grado di inquadrare un qualsiasi bersaglio in movimento e seguirlo autonomamente, avvicinandosi fino a un metro e mezzo di distanza.

⁴⁸²Ringraziamo sinceramente il professore Muscato, ordinario di Automatica, per aver messo a disposizione nostra il suo tempo, la sua lunghissima esperienza e la sua attrezzatura.

⁴⁸³Si tratta di una delle principali aberrazioni ottiche. Il difetto è dovuto al diverso valore di rifrazione delle lunghezze d'onda componenti la luce bianca; poiché ad ogni radiazione corrisponde una determinata distanza focale, il fenomeno si manifesta con la comparsa di un alone rosso con uno sfondo azzurro e viceversa.

⁴⁸⁴Queste le risoluzioni supportate:

- UHD: 4096x2160 (4k) 24/25p
- 3840x2160 (4k) 24/25/30p
- 2704x1520 (2.7k) 24/25/30p
- FHD: 1920x1080 24/25/30/48/50/60/120p
- HD: 1280x720 24/25/30/48/50/60p

⁴⁸⁵Situate due nella parte anteriore, due sul fondo più quella principale in 4k.



Figura 7.. Il Phantom 4 in volo sopra la contrada Sciare di Santa Venera. Sullo sfondo il centro urbano di Maletto e l'Etna vista dal versante settentrionale (foto dell'autore).

All'interno della nostra ricerca, sono stati effettuati numerosi sorvoli con il Phantom, volando sia sopra la macro area 1 sia sulla numero 2. In particolare, il drone è stato utilizzato come strumento di fotogrammetria aerea, per generare in maniera rapida ed estremamente precisa ortofoto⁴⁸⁶ di alcuni terreni di contrada Galatese, in cui le precedenti attività di *survey* avevano supposto la presenza di contesti archeologici. Anche nella seconda macro area, in particolare in contrada Sciare di Santa Venera, il velivolo, dopo alcuni voli preliminari, è stato impiegato con funzione topografica; infatti, oltre all'ortofoto del terreno, è stato effettuato un rilievo delle emergenze archeologiche emerse dopo gli scavi dei recenti anni⁴⁸⁷. Tali strutture sono così state inserite all'interno di una rete di inquadramento topografico dell'intera area⁴⁸⁸. L'unico limite è stato rappresentato dalla vicina carreggiata della strada statale, che scorre a poche decine di metri di distanza, tagliando, in maniera

⁴⁸⁶Tra i più ricorrenti problemi nel campo del rilievo fotogrammetrico citiamo la calibrazione della distorsione radiale degli obiettivi, il livello di risoluzione spaziale e spettrale, la perdita di nitidezza dovuta alle vibrazioni causate e trasmesse dalle eliche. Durante il processo di restituzione un frequente *vulnus* è rappresentato, invece, dalla qualità dei punti di controllo a terra. Sulle procedure consigliate per la composizione di mappe per finalità geografiche o archeologiche è disponibile una ricca bibliografia; a livello generale vedi VERHOEVEN-SEVARA 2016 pp. 11-13; CALVO 2016; tra le esperienze locali, e siciliane in particolare, BUSCEMI *et al.* 2014.

⁴⁸⁷Ci riferiamo in particolare agli edifici bizantini pubblicati da CONTI-LIBETTI 2015, pp. 103-132. Anche il grande edificio greco a L, la cui datazione oscilla tra il VI e il V secolo a.C., CONTI 2015, p. 100), doveva essere oggetto di un rilievo aereo fotogrammetrico ma il suo stato di conservazione ne ha sconsigliato l'esecuzione.

⁴⁸⁸Come spesso accade, durante le operazioni di scavo ci si è limitati alla generazione di un modello tridimensionale (procedura descritta in SIGNORELLO 2015, p. 30) di alcune strutture archeologiche riportate alla luce senza preoccuparsi dell'inserimento puntuale nel contesto topografico.

incredibile, un'area di straordinario interesse archeologico. Com'è risaputo, è assai pericoloso per l'incolumità degli automobilisti e per la sicurezza del drone fare volare lo stesso sopra strade trafficate e, quindi, non è stato possibile estendere l'area d'indagine a Nord. Inoltre, le fotografie scattate dall'alto hanno permesso di meglio identificare alcuni allineamenti di pietre, massi e blocchi di dubbia interpretazione. Siamo di fronte, infatti, ad un contesto paesaggistico pluristratificato, in cui insistono evidenti tracce di trasformazioni dell'ambiente naturale operate dalla natura, soprattutto attraverso la successione di colate laviche, e dall'uomo, che ha tentato di sfruttare il terreno principalmente per attività agricole o legate alla pastorizia. A tale quadro, bisogna aggiungere il rumore di fondo proveniente dalle manomissioni operate in età moderna, con la costruzione della strada statale e della centrale del metanodotto.

In generale, i vantaggi più evidenti che derivano dall'uso di velivoli a pilotaggio remoto consistono nella possibilità offerta agli archeologi di controllare direttamente la piattaforma e il sensore, modificando così, a proprio piacimento, una grande varietà di parametri: la risoluzione, la velocità del volo, l'altezza del volo, il c.d. *time window*. Inoltre, l'inclusione di applicazioni LiDAR all'interno di tali procedure potrebbe, nel giro di qualche anno, fornire un sostanziale miglioramento dei dati ottenuti nei progetti di archeologia mediterranea. Nella nostra ricerca, il Phantom è stato fatto volare ad altezze diverse⁴⁸⁹, andando così a colmare quel *gap* di scala su cui spesso ci si imbatte nelle ricerche con impostazione tradizionale. Il limite principale dello strumento è insito nella natura del terreno sottoposto a indagine; qualora non si abbia a disposizione sensori multispettrali, radar o termici in presenza di zone alberate o coperte da densa vegetazione l'utilità dell'impiego di un drone scema sensibilmente.

TECNICA	SCALE	PECULIARITÀ	LIMITI
<i>Letteratura edita</i>	Macro, semi-micro, micro	Punto d'inizio per la formulazione di domande storico-archeologiche	Affidabilità non costante della fonte; localizzazione spesso assai incerta
<i>Ricognizioni di superficie</i>	Macro, semi-micro, micro	Capacità di individuazione di emergenze archeologiche piccole o piccolissime; costo	Praticabile solo su certi terreni; dispendio di tempo non indifferente; problematicità

⁴⁸⁹Le altitudini raggiunte sono state 30/40/50 metri. Naturalmente, il tempo impiegato per ricognire un'area è funzione dell'altezza impostata. Per l'area di Galatese, il drone ha volato a cinquanta metri, evitando anche i più bassi cavi della luce e il tempo di volo è stato notevolmente inferiore ai dieci minuti. In contrada Sciare di Santa Venera, invece, la necessità di ottenere foto di maggiore dettaglio ci ha indotto a scegliere le altezze inferiori. Un piccolo aneddoto sull'esperienza vissuta; nell'ultimo volo-prova effettuato all'ingresso del percorso di arqueo-trekking, subito dopo uno dei due parcheggi per le autovetture, intorno al drone, che volava a 40 metri, ha iniziato a librare un rapace, probabilmente un falchetto. L'animale si è sentito minacciato dalla presenza del velivolo nel proprio territorio e si è avvicinato in maniera molto minacciosa. Onde evitare uno scontro animale-drone, il prof. Muscato ha sapientemente scelto di interrompere il volo e fare atterrare, quasi d'emergenza, il Phantom.

		economico bassissimo; richiesto numero esiguo di partecipanti	dell'interpretazione della concentrazione/non concentrazione di materiale archeologico in superficie
<i>Aereo fotointerpretazione</i>	Semi-micro, micro	Valore storico del paesaggio ripreso; copertura sinottica; consultazione gratuita	Origine cartografica del materiale; limitate possibilità ingrandimento; uso quasi esclusivo di pellicole pancromatiche
<i>Immagini da satellite ad alta risoluzione (Worldview2)</i>	Semi-micro, micro	Scelta dell'area, dell'estensione e del giorno di acquisizione; multispettrali e infrarosso vicino; copertura continua; prodotto GIS ready; possibilità di ottenimento d'informazioni numeriche; modalità d'acquisto	Dipendenza condizioni atmosferiche; dipendenza copertura vegetale
<i>Immagini da satellite a media risoluzione (Landsat 7)</i>	Macro, semi-micro	Multispettrali e canale termico; acquisto gratuito delle immagini	Dipendenza condizioni atmosferiche; malfunzionamento nel sensore; scala più adatta a indagini macro
<i>LiDAR</i>	Semi-micro, micro	Possibilità di generare DTM; superamento ostacolo vegetazione; scelta periodo anno; interazione con piattaforme UAV	Costo iniziale tecnologia; difficoltà gestione dei dati
<i>GPS</i>	Micro	Rapidità; precisione; maneggevolezza; interfaccia sistemi GIS	Visibilità verticale
<i>UAV</i>	Semi-micro, micro	Possibilità scelta area, periodo e altezza del volo; possibilità di montare sensori multispettrali, iperspettrali, radar, termici; elevata qualità dei dati; impiego dei dati per numerose applicazioni	Necessità patentino; limitazione del volo in alcune aeree; costo della strumentazione

CAPITOLO 7

7.1 IL LAVORO SUL CAMPO: I RISULTATI

Alla fase di raccolta e soprattutto analisi dei dati abbiamo dedicato la totalità dell'ultimo anno del triennio; nel dettaglio, due viaggi hanno permesso di entrare in possesso della documentazione cartacea elaborata dal *team* inglese durante il biennio di attività siciliane; durante i mesi estivi, invece, sfruttando le migliori condizioni di visibilità, sono state organizzate le missioni di sorvolo con il drone; svariati sopralluoghi nel corso dell'anno sono stati condotti per acquisire punti d'appoggio (GCPs), ricca documentazione fotografica, controllare e validare, in periodi diversi dell'anno e con differenti stati vegetativi, anomalie messe in luce attraverso i dati provenienti da telerilevamento. Infine, grazie a una proficua collaborazione con la Soprintendenza di Catania è stato possibile visionare e documentare, in maniera sistematica, il materiale proveniente dal *survey*.

7.1.1 Le ricognizioni di superficie

In questo paragrafo, si tenterà di fornire una sintesi del lavoro condotto dall'Università di Durham in collaborazione con la Soprintendenza di Catania attraverso le due campagne *dell'Upper Simeto Valley Project*. Abbiamo già illustrato in dettaglio⁴⁹⁰ la metodologia impiegata dagli inglesi, pertanto, faremo soltanto poche considerazioni in merito. Ricordiamo che il contributo lavorativo dello scrivente è emerso durante la seconda fase, quella di analisi e sintesi, mentre la raccolta della documentazione grezza è stata curata interamente dal *team* inglese; tale discrasia è figlia di una situazione assai ricorrente nel mondo archeologico: la mancanza di finanziamenti costanti. L'*equipe* coordinata dalla prof.ssa Leone e dal prof. Witcher⁴⁹¹, dopo aver pubblicato un report introduttivo del lavoro, non ottenne le risorse auspicate per portare a conclusione l'edizione delle attività di ricognizione; nell'idea originaria, l'intento era la creazione di uno strumento importante come la carta archeologica, uno strumento utile anche per le amministrazioni comunali coinvolte. Purtroppo, il mancato ottenimento del finanziamento europeo segnò la fine e il tramonto del progetto e dell'impegno dell'Università di Durham. Su spinta della prof. Leone abbiamo preso in mano la documentazione prodotta ormai un decennio fa, cercando di produrre una sintesi storico archeologica del lavoro rimasto inedito. Inoltre, il dato proveniente dal *survey* funge da fondamentale complemento delle immagini tele-rilevate, sostenendo o meno gran parte delle

⁴⁹⁰Vedi il paragrafo sulle ricognizioni di superficie nel capitolo sulle tecniche e sugli strumenti di indagine.

⁴⁹¹La campagna del 2007 si è svolta sotto la guida esclusiva della prof.ssa Leone.

anomalie osservate.

L'*Upper Simeto Valley Project* si inserisce all'interno di un filone di ricerca assai produttivo negli ultimi decenni⁴⁹². L'intensificazione dei progetti di *survey* nel bacino del Mediterraneo ha coinvolto anche la Sicilia, dove continuano a nascere, ancora oggi, numerosissimi progetti. Limitandoci all'ambito geograficamente più vicino⁴⁹³, l'attività più significativa è il *Troina Project*⁴⁹⁴, anch'esso figlio dell'impegno profuso da una missione inglese. L'intento principale del progetto era l'analisi delle dinamiche di occupazione durante la preistoria⁴⁹⁵ nell'altopiano su cui sorge la cittadina di Troina. Inoltre, una parte assai rilevante era dedicata allo studio della geomorfologia dell'area durante l'Olocene, con il tentativo di identificazione della sequenza cronologica di trasformazione dell'ambiente fisico, avvenuta grazie all'opera del fiume Troina attraverso periodi di erosione, incisione e sedimentazione⁴⁹⁶.

Il progetto dell'Università di Durham, invece, è stato condotto senza eccessive enfattizzazioni di singoli momenti cronologici, nonostante la specializzazione in tarda-antichità della prof.ssa Leone. L'approccio globale⁴⁹⁷ che ha guidato la ricerca aveva come obiettivo la comprensione della complessità dei paesaggi rurali, identificando, in particolare,

«the key characteristics of this landscape over time in order to understand its development, both on its own terms and in its wider Sicilian and Mediterranean contexts»⁴⁹⁸.

Come si evince da tali parole, si tratta di un approccio diacronico che mira a inserire lo specifico dato archeologico all'interno di un contesto siciliano e mediterraneo. Un secondo aspetto oggetto d'interesse è stato il rapporto dialettico tra le aree montane, più o meno isolate e legate ad attività

⁴⁹²Vedi note 9-14 del paragrafo dedicato alla metodologia con cui è stato condotto il *survey*.

⁴⁹³Troina è posta a circa quaranta chilometri di distanza da Maniace.

⁴⁹⁴MALONE-STODDART 2000.

⁴⁹⁵Nel corso delle differenti campagne che si sono svolte particolare enfasi fu riposta sull'identificazione dei siti preistorici.

⁴⁹⁶AYALA-FRENCH 2003, p. 231.

⁴⁹⁷MANACORDA 2008, pp. 230-232: «L'archeologia globale non mira tanto a una comprensione globale delle tracce archeologiche, probabilmente destinata a rimanere illusoria, quanto piuttosto alla globalità dell'approccio, cioè alla raccolta di quegli insiemi di informazione che le diverse fonti, archeologiche e non, mettono a disposizione per rispondere, ciascuna per le proprie possibilità, alle domande dello storico». Sulla complessità dell'archeologia globale dei paesaggi vedi anche VOLPE-GOFFREDO 2014; MANNONI 1997.

⁴⁹⁸LEONE *et al.* 2007, p. 51.

quali l'agricoltura e la pastorizia, e le dinamiche della città della costa ionica e tirrenica. Anche su questo punto, i dati che presentiamo in questo capitolo appaiono molto interessanti e, almeno in parte, inattesi.

Come evidenziato nel paragrafo dedicato alla breve storia degli studi⁴⁹⁹, l'interesse archeologico per il versante Nord-Ovest dell'Etna è rimasto sopito per lunghissimo tempo. Dopo le pionieristiche esplorazioni di Paolo Orsi a inizio Novecento, l'area è stata colpevolmente dimenticata, nonostante fossero note delle zone di particolare interesse archeologico preda, purtroppo, di gruppi di tombaroli. Ci auspichiamo che il presente lavoro unitamente alla pubblicazione dei primi scavi sistematici e all'edizione completa dell'*Upper Simeto Valley Project*⁵⁰⁰ possa segnare il definitivo inserimento di tali territori all'interno dell'archeologia siciliana. Va segnalato come il crescente interesse riscontrato in tutta Italia verso l'archeologia dei paesaggi montani⁵⁰¹ possa giocare, in quest'ottica, un ruolo decisivo.

L'area scelta per le ricognizioni presenta alcuni caratteri che rivestono una peculiare valenza storica e geografica. Come suggerisce anche il nome stesso del progetto, uno degli elementi dominanti è il fiume Simeto, il più lungo della Sicilia, che ha origine proprio dalla confluenza dei tre torrenti che attraversano la zona: Curò, Martello e Saracena. Inoltre, a pochi chilometri di distanza, in direzione Est, scorre l'Alcantara, il cui bacino idrico, alimentato dal fiume Flascio, collega la fascia montana e pedemontana all'area ionica. Si tratta, pertanto, di una zona ricca di giacimenti idrici, posta all'incrocio di molteplici direttrici di comunicazione⁵⁰² e occupata dalla più fertile pianura d'altura dell'area etnea.

La zona sottoposta a indagine archeologica raggiunge un'estensione prossima ai 330 kmq, ma all'interno di essa coesistono caratteri geomorfologici e vegetativi assai diversi. In effetti, nonostante i pochi chilometri di distanza (cinque) che separano le due estremità dell'area (Galatese a Ovest e Casitta a Est), vi è una ricchezza paesaggistica davvero significativa⁵⁰³: dalla terrazza

⁴⁹⁹Vedi capitolo 4.

⁵⁰⁰Si tratta di un lavoro ancora *in fieri*, condotto dallo scrivente grazie alla collaborazione della Soprintendenza di Catania, nella persona del dott. Francesco Privitera.

⁵⁰¹Oltre alla bibliografia già citata nei precedenti capitoli, interessante il caso rappresentato dal comune di Calvello, posto sulle pendici settentrionali del monte Volturino (Potenza), ROUBIS *et al.* 2015; sempre per la Lucania vedi ROUBIS *et al.* 2013 per il territorio di Montescaglioso.

⁵⁰²Scendendo la valle del Simeto si giunge nella più vasta pianura siciliana, la Piana di Catania; la valle dell'Alcantara assicura il collegamento con l'area ionica, mentre l'itinerario che, congiungendo Maniace a Troina e Randazzo, raggiunge Messina valicando i Nebrodi fu la strada percorsa dal conte Ruggero nel 1061 (ARCIFA 2015, p. 153).

⁵⁰³Vedi capitolo 4.

fluviale di Galatese alle dolci colline di contrada Erranteria fino alle sciare laviche, dall'aspetto quasi lunare, di Santa Venera. Anche l'uso del suolo varia notevolmente nello spazio di pochi metri: coltivazioni intensive, soprattutto di pesche, ulivi e cereali, si alternano con zone adibite al pascolo in pianura e nei pendii, mentre il *plateau* basaltico di Santa Venera, Balze Soprane ed Edera permette la crescita soltanto di una tipologia di vegetazione definita steppica. Infine, la proprietà dei terreni: privati nei pressi di Maniace, appartenenti al demanio forestale nel restante dei casi.



Figura 7. In rosa le aree oggetto d'indagine (da Leone et al. 2007).

I siti noti in letteratura prima dell'attività di *survey* erano notevolmente inferiori ai dati acquisiti successivamente: in contrada Erranteria la struttura segnalata da Paolo Orsi e mai più re-individuata, forse a causa di manomissioni legate alle attività agricole; in contrada Cavallaro due sepolture in fossa terragna databili all'età tardo-antica; a Fondaco, piccolissimo quartiere di Maniace, un'area di dispersione di frammenti fittili, soprattutto sigillata italica; infine, la grande struttura muraria a doppio paramento e in blocchi di pietra lavica che attraversa Balze Soprane e Sciare di Santa Venera. Non abbiamo fatto rientrare all'interno del conteggio appena fatto le

strutture portate alla luce grazie agli scavi finanziati dal PO-FESR2007-2013 e pubblicati nel 2015⁵⁰⁴. Questo perché l'edizione degli interventi archeologici effettuati è cronologicamente posteriore al lavoro di *survey*, sebbene quest'ultimo sia rimasto inedito.

Dalla rielaborazione effettuata da chi scrive delle evidenze raccolte dal *team* inglese, il numero di siti identificati risulta enormemente accresciuto: si passa infatti da quattro a ventinove.

	<i>SITI EDITI IN LETTERATURA</i>	<i>SITI IDENTIFICATI CON SURVEY</i>	<i>SITI PORTATI ALLA LUCE CON SCAVI 2015</i>
<i>ERRANTERI A</i>	1	0	//
<i>GALATESE</i>	0	14	//
<i>CAVALLARO</i>	1	//	//
<i>BALZE SOPRANE-SOTTANE</i>	0	3	2
<i>SANTA VENERA</i>	1	0	//
<i>EDERA</i>	0	//	2
<i>CASITTA</i>	1	1	//
<i>BOSCHETTO VACCHERIA -FONDACO</i>	1	7	//
<i>ROCCARO</i>	0	3	//

Tabella 1. Distribuzione quantitativa delle evidenze archeologiche su base territoriale (rielaborazione autore).

Nella tabella 1 abbiamo riassunto la distribuzione delle nuove identificazioni classificate su base territoriale. Appare evidente che l'area in cui si sono registrati i progressi maggiori grazie alle ricognizioni è Galatese⁵⁰⁵, contrada posta nella valle fluviale del Martello. Gli stessi ricognitori,

⁵⁰⁴Per i riferimenti bibliografici dei siti già conosciuti in letteratura vedi capitolo 4.

⁵⁰⁵All'interno della divisione territoriale, il *team* inglese ha considerato contrada Vaccheria Boschetto come parte della più vasta area di Galatese. Nella nostra analisi, invece, abbiamo scelto di separare le due aree poiché, seppur limitrofe, presentano caratteri storici e archeologici differenti.

sulla base dell'analisi dei dati della prima campagna, ne intuirono l'importanza, dedicando l'intero secondo anno a un approfondimento dell'area. Infatti, le attese e le speranze erano rivolte verso un'altra porzione del territorio, contrada Erraneria, dove, purtroppo, non è stato possibile rinvenire alcun elemento utile per localizzare il *balneum* tardo-antico rilevato da Orsi. In tale ottica, il dato di Galatese è servito quasi come una forma di bilanciamento e parziale risarcimento.

I recentissimi scavi archeologici hanno, invece, permesso di acquisire una gran mole di dati sulle stratificazioni archeologiche a contrada Edera e Balze Soprane⁵⁰⁶. Nella prima zona, erano state segnalate alcune strutture murarie antiche, che non erano state oggetto di scavi o di forme di rilievo e risultavano, pertanto, inedite. Le attività di scavo hanno rivelato due nuclei cronologicamente differenziati: uno, composto da una decina di edifici, databile all'Alto Medioevo, l'altro, in cui è stato investigato solo un edificio per intero, databile a età Greca⁵⁰⁷. In contrada Balze Soprane abbiamo, invece, le uniche testimonianze certe, ad esclusione delle grotte di scorrimento lavico, di età preistorica; la ricerca ha permesso l'individuazione di una struttura a spirale, identificata come un possibile osservatorio astronomico, e una struttura di combustione di età neolitica.

Ai fini di una corretta interpretazione del dato rappresentato nella tabella, ci corre l'obbligo di definire meglio due dati. *In primis*, il grande muro costituito da blocchi in pietra lavica è stato inserito tra i siti già noti in bibliografia in contrada Santa Venera. Le attività degli inglesi in quest'ultima area si sono limitate, infatti, al rilievo della possente struttura e lo scarsissimo materiale ceramico raccolto non ha permesso di chiarire meglio la sua cronologia. In secondo luogo, abbiamo ricondotto a contrada Casitta, sebbene non esistano dati migliori per una più precisa localizzazione del sito, le scarse informazioni⁵⁰⁸ pubblicate a seguito degli scavi condotti da Consoli per la medesima area.

Passiamo adesso alla presentazione delle evidenze archeologiche raggruppate in base alle categorie interpretative proposte. Innanzitutto, da un punto di vista metodologico, la trentina di siti individuati sulle oltre centoquaranta UT è stata ricondotta a poche ma essenziali tipologie: necropoli, centri di produzione/immagazzinamento, contesti abitativi, aree cultuali. Nel dettaglio (TAV. VI), sono state individuate, sulla base del materiale raccolto e delle evidenze messe in luce:

⁵⁰⁶Ricordiamo come entrambe le contrade ricadano all'interno della nostra seconda macro-area.

⁵⁰⁷Difficile inquadrare più precisamente la struttura. Sulla base dei rinvenimenti ceramici, tra cui spiccano rare ma significative ceramiche greche arcaiche e di produzione coloniale, l'edificio è datato al pieno V secolo a.C.

⁵⁰⁸CONSOLI 1988-89, p. 74: «Stazioni di epoca preistorica sono documentate in particolare nei territori demaniali delle c.de Casitta e Gurrada dai molti frammenti ceramici rinvenuti in superficie, che coprono un arco di tempo che va dall'età del Bronzo all'età del Ferro, e fra i quali prevalgono quelli inquadrabili cronologicamente nelle facies culturali tra S. Ippolito e Castelluccio».

- aree con funzione funeraria, a Galatese per l'età tardo-antica, e, con molta probabilità, a Vaccheria Boschetto per l'età ellenistica;
- contesti produttivi e legati all'immagazzinamento di derrate alimentari a Galatese;
- una possibile area di culto situata nella parte settentrionale di Galatese per il IV secolo a.C.;
- lacerti di strutture abitative, di cui rimangono in piedi i muri perimetrali, databili a epoca greca (V secolo a.C.) a Casitta;
- numerosissime aree di dispersione di frammenti fittili.

Per quanto concerne la successione cronologica, poche sono le tracce legate alle fasi più antiche. Sono stati identificati appena quattro siti⁵⁰⁹ che sembrano attestare una frequentazione dell'area già in epoca preistorica. Infatti, sono stati raccolti reperti legati all'industria litica del Neolitico siciliano, come lame o bulini ottenuti dalla lavorazione dell'ossidiana. In tre dei quattro casi, i manufatti preistorici sono stati rinvenuti in associazione con ceramica greca, romana e tardo-antica, mentre soltanto in un caso esclusivamente con ceramica greca (a Casitta⁵¹⁰).

Il periodo che ha fornito il maggior numero di dati sull'esistenza del popolamento antico è quello riferibile all'età repubblicana e imperiale (TAV. VII). Infatti, sono circa trenta le UT che hanno restituito manufatti, ceramici soprattutto, databili tra il II secolo a.C. e l'inizio del IV d.C. Inoltre, la maggior parte delle UT non testimonia esclusivamente generiche aree di frequentazione ma, almeno per Galatese, è possibile ipotizzare peculiari modalità insediative, una specifica cultura materiale e una suddivisione funzionale degli spazi. Torneremo in seguito, e con maggiore precisione, sull'evidenza raccolta a Galatese. Un dato che ci sembra rilevante è l'evidente continuità insediativa che si registra tra le UT datate all'età greca e romana; infatti, in circa i due terzi delle trenta UT 'romane' sono stati rinvenuti anche reperti di epoca classica (V secolo a.C.) ed ellenistica (soprattutto ceramica a vernice nera); un'importante eccezione è rappresentata dall'area identificata come *warehouse*, dove i dati raccolti sembrerebbero indicare una continuità d'uso fino all'inizio dell'epoca bizantina.

⁵⁰⁹Le quattro UT: 1050 e 1053 a Galatese; 1069 a Casitta; 1086 a Boschetto Vaccheria.

⁵¹⁰Sebbene Casitta non rientri all'interno delle nostre due macro-aree, va sottolineata l'importanza delle testimonianze archeologiche presenti in tale area. Infatti, i lavori condotti da Consoli hanno permesso di rintracciare alcune stazioni preistoriche (vedi nota 19), mentre dalla breve nota riassuntiva consegnata in Soprintendenza dall'*equipe* inglese al termine del I anno apprendiamo che *«material found at Casitta during the present survey relates to the Malpasso culture dated, following the Sicilian chronology, to the Late Copper age (second phase)»*. Successive indagini condotte nel corso della II campagna, *«has shown evidence of a cave in use as a funerary area in the prehistoric period. In the greek period the plan of the complex has revealed a fortified structure, which appears to be in connection with a similar structure located some miles away...»*.

La distribuzione delle UT di epoca greca è quella che, da un punto di vista geografico, presenta un grado di diversificazione maggiore. Sebbene il peso territoriale di Galatese sia sempre predominante, manufatti del medesimo arco cronologico sono segnalati in contrada Erranteria⁵¹¹, Boschetto Vaccheria⁵¹², Roccaro⁵¹³ e Casitta⁵¹⁴.



Figura 8. Uno dei gruppi di ricognitori in azione in contrada Erranteria. Sullo sfondo, appena sotto i primi rilievi, l'area di Galatese (foto prof.ssa Leone).

Le attestazioni di epoca tardo-antica sono localizzate solamente in tre aree: Balze Sottane, Vaccheria e Galatese. A fronte di tale limitata distribuzione, la ricchezza del dato archeologico permette di riconoscere una specifica differenziazione degli spazi, con una suddivisione in aree artigianali e produttive, funerarie e propriamente abitative. Tale organizzazione del territorio appare

⁵¹¹UT 1025. In tutta la contrada, nonostante gli sforzi, sono state individuate solo sporadiche frequentazioni riferibili a un ampio arco cronologico, dall'epoca greca al tardo-antico; non è stato possibile individuare l'eventuale presenza di veri e propri siti, nonostante le parole di Orsi. L'area nel recente passato ha subito sia pesanti manomissioni antropiche, con interventi volti a migliorare la produttività agricola delle terre come la creazione di grandi vasche per la raccolta dell'acqua (le *gebbie* in dialetto siciliano), sia movimenti franosi di ridotte e medie dimensioni che potrebbero aver causato la perdita del patrimonio archeologico ivi presente.

⁵¹²UT 1070, 1071, 1072 e 1073.

⁵¹³UT 1141 = S. 127, 1142 = S. 128.

⁵¹⁴UT 1069 = S. 116. Vedi nota 509 per la complessità delle stratificazioni archeologiche in contrada Casitta.

più legata agli schemi dell'età imperiale e tardo imperiale piuttosto che a quella nata dalla presenza bizantina. Infatti, delle ventitre UT tardo-antiche tutte presentano una fase di frequentazione, più o meno marcata, per l'età precedente, mentre appena cinque⁵¹⁵ una continuità di vita che si estende fino all'VII-X secolo d.C.

Infine, i periodi per i quali abbiamo raccolto meno documentazione: l'età medio bizantina e l'alto medioevo⁵¹⁶. Sono appena cinque le UT all'interno delle quali sono stati identificati manufatti di età bizantina: tre di esse a Balze Soprane⁵¹⁷, le restanti a Galatese. Ma proprio a tale arco cronologico è da riferire una delle monete scoperte durante le attività di ricognizione a Galatese. Si tratta di un esemplare leggibile, in discreto stato di conservazione e che rappresenta, naturalmente, uno straordinario aiuto per definire meglio le fasi di frequentazione e le dinamiche insediative dell'area. Nello specifico, la moneta, ancora inedita come tutta gli altri manufatti, è stata riconosciuta come un *folles*, coniato dalla zecca di Siracusa, dell'imperatore bizantino Costantino V in unione col figlio Leone IV sul D/ e sul R/ il busto frontale di Leone III, il fondatore della dinastia degli Isauri⁵¹⁸ (TAV VIII). Si tratta, al momento attuale, dell'unica ma assai significativa evidenza di una fase di vita, o almeno di frequentazione, databile all'VIII secolo d.C.⁵¹⁹.

Dopo questa sintetica descrizione delle UT in funzione della loro distribuzione geografica e della loro datazione, abbiamo scelto di concentrarci, in maniera diacronica, sull'area di Galatese, per via dell'importanza della documentazione archeologica emersa e per la sua rilevanza nell'approccio post-dittivo da noi elaborato con il presente lavoro di tesi.

7.1.1.1 Le ricognizioni di superficie: Galatese

Galatese occupa la fertile e dolce vallata attraversata dallo scorrere del torrente Martello e dal Saracena, a circa settecento metri d'altezza. La terrazza fluviale, formata grazie all'azione dei corsi d'acqua, è suddivisa in numerosi fondi privati, di medie e piccole dimensioni, in cui è praticata, soprattutto, la coltivazione di pere e pesche. Le ricognizioni effettuate nel 2006 e 2007

⁵¹⁵Di queste cinque tre sono a Balze Soprane: UT 1001 = S. 117; UT 1001-1002 = S. 118; due a Galatese: UT 1065 = S. 109; UT 1066 = S. 115.

⁵¹⁶Sono stati considerati di età bizantina i reperti inquadrabili dal VII al X secolo d.C., successivamente sono considerati come tracce di frequentazione altomedievale.

⁵¹⁷Si tratta delle tre medesime citate nella nota 514..

⁵¹⁸Sulla circolazione della moneta durante l'età bizantina vedi GUZZETTA 2010, p. 184 per gli esemplari conati da Costantino V.

⁵¹⁹Nonostante siano state messe in luce una decina di capanne bizantine in contrada Santa Venera, non è documentata una fase chiaramente inquadrabile all'VIII secolo d.C. (ARCIFA 2015, p. 152).

sono state possibili, pertanto, soltanto grazie alla grande disponibilità dimostrata dalla grande maggioranza dei proprietari.

L'intera contrada ha una superficie di centoventi ettari, ed è delimitata a sud da via del Pesco, a ovest dal fiume Martello, a nord da via Madonna delle Grazie e a est da corso Margherito, principale via di comunicazione che la collega alle frazioni di Petrosino a nord e Fondaco a Sud.

Per diverse ragioni, tra cui l'impossibilità di accesso a tutti i fondi, la presenza di complessi edilizi e l'immane lotta contro il tempo, è stata indagata soltanto una percentuale pari al sessanta per cento⁵²⁰ dell'intera area, ed è rimasto 'sguarnito' il quadrante di sud-est.

Nonostante tali limitazioni, il territorio si è rivelato assai ricco di materiale archeologico: da manufatti preistorici a ceramica databile tra il VI secolo a. C. e l' XI secolo d.C. . La ricchezza dei rinvenimenti è stata tale da costringere il team inglese a concentrare la seconda campagna di ricerche, condotta nell'estate del 2007, in maniera quasi esclusiva all'esplorazione di Galatese. Inoltre, alcuni giorni sono stati impiegati per indagare i terreni che circondano Casa Cecchino, vera e propria casa coloniale posta sulla sponda opposta del Martello. Purtroppo, nonostante gli sforzi, in quest'ultima area non sono stati identificati siti.

Il lavoro di ricognizione ha messo in luce trentanove Unità Topografiche e diciannove siti. Come si evince dalla lettura del grafico della Tav. IX, assai rare sono le tracce di frequentazione di età preistorica e altomedievale; frammenti litici, soprattutto di ossidiana e un'ascetta in giadeite che trova un preciso confronto con un esemplare proveniente dalla vicina grotta Tartaraci (TAVV. X-XI), e ceramica dell'XI secolo d. C. costituiscono i rari indicatori materiali di una presenza assai rarefatta.

In quasi tutte le UT di Galatese ricorrono, invece, manufatti fittili, e a volte metallici, ascrivibili ad epoca romana, greca e tardo-antica, con una leggera predominanza per l'età romana. Variazioni nella concentrazione e qualità dei reperti ceramici testimoniano l'esistenza di modelli insediativi e schemi funzionali differenti.

Nell'area centro-settentrionale, compresa tra via Giuseppe Verdi e via Galatese, sono stati individuati importanti contesti archeologici. La tipologia del materiale raccolto permette di localizzarci un'area di produzione e di conservazione di prodotti agricoli. Infatti dalle UT 1063, 1064 e 1065, tutte topograficamente continue, proviene una tale *evidence* da non lasciare alcun dubbio: un gran numero di anfore, *dolia*, frammenti di una macina databile tra il IV e il VI d.C. e tracce della pavimentazione di alcuni ambienti risalenti al medesimo periodo storico. L'area deve avere avuto una continuità di vita molto lunga e quasi ininterrotta, poiché il materiale rinvenuto

⁵²⁰Per la precisione sessantasei ettari.

copre un ampio spazio cronologico che dall'ellenismo (soprattutto pesi da telaio⁵²¹ e ceramica a vernice nera) giunge fino all'età imperiale e tardoantica.

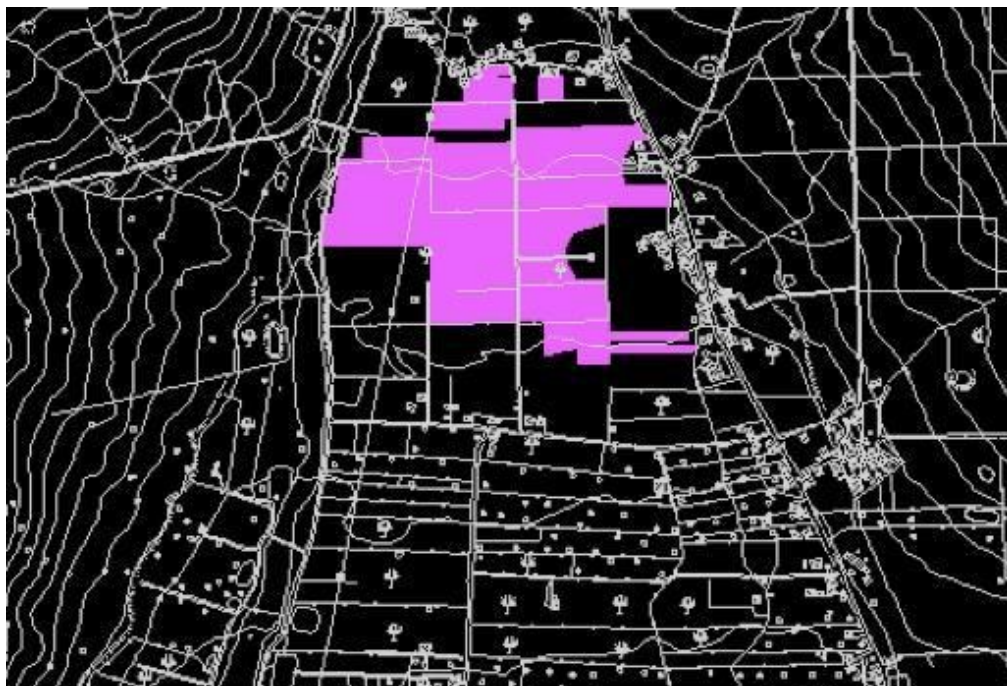


Figura 9. L'area settentrionale di Galatese: suddivisione in proprietà e indicazione delle aree ricognite in rosa (rielaborazione dell'autore).

Tra le ceramiche da mensa la più rappresentata è la Sigillata Africana⁵²², che costituisce, soprattutto con la produzione più tarda (TSA D), il migliore fossile guida per la datazione dei contesti tardoantichi. In particolare, si segnala la presenza di tre frammenti di parete di un piatto di Africana D dalla UT 1063, mentre dalla UT 1065 cinque esemplari di Africana A, di cui tre⁵²³ databili tra il 90 d.C. e il II secolo e i restanti due al pieno III secolo, e altri cinque di Africana D con forme non bene identificabili⁵²⁴ a causa della lacunosità del frammento e del suo cattivo stato di conservazione ma risalenti, in linea generale, al IV-V secolo d.C. Si tratta, è bene ricordarlo, delle prime attestazioni di ceramica africana da questa particolare zona della Sicilia; il recentissimo volume sulla distribuzione della Sigillata africana in Sicilia segnala tra i contesti archeologici catanesi

⁵²¹Un esemplare già edito in LEONE *et al.* 2007, fig. 3.

⁵²²In generale sulla ceramica africana vedi BONIFAY 2004.

⁵²³Forma Hayes 8A 1 = Lamboglia I a = Atl. XIV 3, p. 26.

N.B. Per i confronti delle forme ceramiche qui presentate in estrema sintesi si è utilizzato HAYES 1972 e AA. VV. 1981.

⁵²⁴Ad eccezione di un frammento di orlo carenato, confrontabile con una forma Atlante XLV 5, p. 98, data alla fine del V secolo d.C.

soltanto Catania, Favarotta e Rocchicella (entrambi a Mineo) e per la costa tirrenica Capo d'Orlando e Tindari⁵²⁵.

Infine, oltre ai suddetti reperti ceramici, le attività di *survey* hanno permesso di raccogliere e catalogare anche alcuni rinvenimenti monetali, tra cui ne segnaliamo una⁵²⁶, perfettamente concordante con la cronologia proposta, coniato tra il 330 e il 335 d.C. , con l'effigie di Costanzo sul D/ e sul R/ due soldati (TAV XII).

Degno di menzione anche quanto rinvenuto nella UT 1060, il contesto per certi aspetti più ricco e identificato come sito numero 106. Nonostante sia ubicato a breve distanza dall'area produttiva, la ricognizione ha permesso di riconoscere in questo terreno diverse tracce archeologiche e raccogliere la quantità maggiore di materiale. L'area in questione, dove sono coltivati ulivi e qualche vite, si trova esattamente alle spalle della moderna "Area Artigianale", un grosso edificio costruito nei primi anni Duemila; sfruttando anche condizioni di visibilità ottimali, è stata aumentata l'intensità della ricognizione proposta, che ha raggiunto in questo settore i due metri e mezzo. Secondo quanto riferito dal proprietario del fondo, il terreno fu parzialmente livellato per la costruzione delle fondazioni dell'Area Artigianale e durante tali lavori furono notati moltissimi manufatti archeologici, tra cui numerosissime tegole.



Figura 10. Localizzazione della UT 1060 da immagine Google Earth (elaborazione autore).

All'interno del campo, sottoposto a ricognizione per oltre il 90%, è stato notato un pozzo con

⁵²⁵BONIFAY-MALFITANA 2016, pp. 59-99 per i siti citati.

⁵²⁶Si tratta della stessa moneta costantiniana di cui si fa riferimento in LEONE *et al.* 2007, p. 55: «coins dated to the Constantinian and the early norman period are believed to come from this area».

profondità di circa un metro e mezzo dal piano (TAV XIII). Approfittando di tale scavo, sono state individuate una serie di ossa, indizio di una possibile sepoltura, di cui, comunque, non è stata rinvenuta alcuna copertura. L'estrema vicinanza con le tombe scavate dalla Soprintendenza⁵²⁷ sembra supportare, comunque, tale lettura.

Il materiale raccolto è molto abbondante e ci permette di affermare con maggiore sicurezza che il sito individuato faccia parte di un contesto funerario più ampio. Il rinvenimento più significativo in tal senso è una laminetta⁵²⁸ in metallo di grandissimo interesse (TAV XIV). Si tratta di un reperto assai raro per il contesto etneo, al contrario di quanto avviene nella cuspide sud-orientale della Sicilia, dove tali oggetti sono già stati portati alla luce in diversi comuni degli Iblei e ampiamenti studiati⁵²⁹. L'unica laminetta rinvenuta nella provincia di Catania proviene (forse è meglio dire proveniva) da San Giovanni Galermo, sobborgo nord occidentale della città; purtroppo, l'esemplare è andato perduto ed è giunto solo il testo dell'iscrizione grazie all'edizione curata da G. Libertini⁵³⁰. In linea generale, si tratta di documenti epigrafici che rimandano a un tipo di religiosità molto interessante poiché, ai nostri occhi, appare sincera e composita; oltre alla quasi scontata devozione a Cristo, infatti, non mancano appositi riferimenti ad angeli (e demoni) dai nomi variopinti o di chiara ascendenza biblica⁵³¹, invocati ora a per guarire da alcune malattie⁵³² ora per la protezione dei campi coltivati, come vigneti o uliveti, spesso distrutti da grandine, venti o dalle cavallette. Infatti, l'altro aspetto fondamentale per comprendere la natura di questi testi (preghiere, invocazioni...) è il contesto rurale in cui si inseriscono. Essi, infatti, fanno luce su un mondo ancora fortemente intriso di paganesimo, in cui è fortissimo il legame tra la presenza di spiriti maligni e il benessere fisico o economico. *«La definizione di questi documenti come “magico-religiosi” sembra pertanto la più appropriata, fondendosi in eguale misura in essi superstizione e un tipo di religiosità giudeo-cristiana, espressioni di una mentalità*

⁵²⁷ PRIVITERA 2009, p. 525. Per i dettagli sulla scoperta vedi il paragrafo dedicato alla storia della ricerca archeologica a Maniace.

⁵²⁸ Sul materiale cristiano epigrafico, in particolare sui documenti magico-devozionali quali filatteri, amuleti, preghiere esorcistiche e di guarigione, speciale attenzione è stata dedicata dal compianto Prof. G. Manganaro; la pubblicazione di tali documenti archeologici e storici ha rappresentato uno dei filoni principali nella carriera dello studioso, come dimostrato anche dalla stessa cronologia delle opere: il primo lavoro sul tema è del 1963, l'ultimo del 2007. Vedi MANGANARO 1963; ID. 1989; ID. 1994a; ID. 1994b; ID. 1995; ID. 2001; ID. 2007.

⁵²⁹ CORDANO 1997, p. 293-297; CRACCO RUGGINI 1997, p. 259.

⁵³⁰ LIBERTINI 1927.

⁵³¹ Per un'analisi dei nomi contenuti nelle iscrizioni di Modica e Noto vedi BEVILACQUA, GIANNOBILE 2000, p. 151-152.

⁵³² Per esempio DEL MONACO 2013 sugli amuleti contro il mal di testa. In generale vedi GIANNOBILE 2006.

*destinata a perdurare in un ambito culturale come quello contadino*⁵³³».

Allo stato attuale delle ricerche, possiamo solo affermare che, dal breve studio condotto su tale oggetto, l'iscrizione cristiana possa essere letta come una richiesta di una donna di rimanere incinta. La datazione proposta non può essere più puntuale di un arco cronologico compreso tra il IV e il VI secolo d.C.

Per quanto concerne i reperti ceramici, abbiamo calcolato come la quantità di materiale, pur essendo molto abbondante, sia comunque inferiore rispetto ai frammenti di tegole, rinvenuti con un rapporto di 10:3. La produzione più rappresentata tra le ceramiche fini è, ancora una volta, la TSA D, con quattro forme identificate, due⁵³⁴ datate tra la fine del VI e la prima metà del VII secolo d.C., una tra il IV e V secolo (TAV XV)⁵³⁵, l'altra alla II metà del V⁵³⁶. Tra le anfore, stimate in circa una decina di esemplari, sono state individuate alcune produzioni africane e altre egee.

Infine, lungo il corso del fiume Martello è stata localizzata un'area, con dimensioni 350m N-S e 250 E-W, identificata con il possibile centro (foro?) di un vero e proprio nucleo urbano. Le UT interessate sono cinque, tutte topograficamente continue, e tre i siti. Il dato della cultura materiale evidenzia una continuità di vita che si estende dalla tarda età ellenistica fino, almeno, al VII secolo d.C. In particolare, dalla ricognizione effettuata da chi scrive sul materiale ceramico, emerge una tendenza assai significativa, cioè la netta prevalenza di manufatti databili alla tarda età repubblicana, e alla prima e media età imperiale. Infatti, da questo settore provengono frammenti di Sigillata Italica, di Sigillata Orientale⁵³⁷ e Microasiatica, praticamente assenti in altre zone di Galatese e, in generale, non molto diffusi negli altri centri siciliani. Lo stesso *trend* è osservabile analizzando le produzioni africane, oggetto già di un inquadramento tipologico più preciso. In particolare, sui circa cinquanta reperti schedati come provenienti da quest'area, più della metà rientra nella ARS A, con datazione compresa tra il I e il II secolo d.C. (TAV XVI). Molto più esigue, invece, le presenze di ceramica da cucina africana e l'attestazione di anfore, sia di produzione locale sia importate.

Pertanto, alla luce di tali dati, sembrerebbe prendere sempre più consistenza l'ipotesi che i siti (o il

⁵³³ BEVILACQUA, GIANNOBILE 2000, p. 146.

⁵³⁴Confrontabile con la forma Hayes 105 = Atl. XLIV 1-2, p. 96. Si tratta di una delle più tarde produzioni del VI secolo d.C.; l'altro frammento è un orlo di una scodella, confrontabile con Atl. XLII 4, p. 96.

⁵³⁵Fondo di un piatto HAYES 1972, p. 30 fig. 59 e fig.58 b. per la decorazione della foglia Atl. LXIX, 29; per la decorazione con rotella Atl. LXVII18, p.141.

⁵³⁶Orlo di una forma Hayes 87 A = Atl. XLI 5-6, p. 93.

⁵³⁷Sulla distribuzione delle ceramiche fini da mensa orientali vedi MALFITANA 2004.

sito) identificati nei pressi del torrente Martello possano costituire un settore particolarmente importante di un vero e proprio centro urbano di età romana. L'ipotesi di lavoro si fonda sull'identificazione del possibile insediamento di contrada Galatese con Tissa, citata da Cicerone tra le città siciliane depredate da Verre. Tale proposta ha riscontrato un assai tiepido riscontro⁵³⁸, fondato, però, su motivi almeno metodologicamente non del tutto condivisibili. Il noto passo delle Verrine⁵³⁹ ha da sempre guidato la ricerca di Tissa, città perduta del versante nord-occidentale dell'Etna, localizzata nei pressi di Randazzo sin dalle campagne della fine del Novecento guidate da Salinas. In realtà, nonostante il fiorire di studi monografici sui ricchi reperti portati alla luce dalla necropoli di S. Anastasia, non esiste alcun elemento che possa collegare Tissa all'area di Randazzo o, ancora di più, al centro indigeno di Monte Bolo⁵⁴⁰. Infatti, le parole di Cicerone esaltano il carattere agricolo del centro urbano, ricordandone l'importante produzione cerealicola. Come abbiamo visto nel corso del nostro lavoro, la fertilità della pianura di Maniace è stata sfruttata con certezza, sin dall'antichità per la produzione di grano, olio e vino; i documenti d'archivio provenienti dal non lontano monastero di San Filippo testimoniano come l'abbazia benedettina di Maniace, di cui restano due sole absidi all'interno del Castello di Nelson, «*ricavava annualmente 464 onze d'oro (480 di frumento e 100 di orzo) dai feudi di S. Andrea, Samperi, Petrosino, Fioritta e dalla metà del feudo Ilichito*⁵⁴¹». Le stesse pergamene descrivono il paesaggio medievale della zona intorno Maniace come una pianura caratterizzata da numerosi mulini ad acqua, utilizzati per le attività agricole, e spariti, aggiungiamo noi, soltanto nel corso del Novecento. Naturalmente, si tratta di una fonte di molto posteriore rispetto all'epoca romana o tardo-antica, fortemente indiziaria ma che necessita, come tutte le prove, di ulteriori conferme archeologiche e letterarie. In mancanza di scavi sistematici in contrada Galatese, dati assai interessanti, come vedremo nel prossimo

⁵³⁸PRIVITERA 2015a, p. 64: «*I responsabili del progetto hanno ipotizzato una identificazione con la piccola città di Tissa, citata da Cicerone, la quale però dovrebbe aver avuto una maggiore importanza in epoca ellenistica e repubblicana, mentre i ritrovamenti di quest'epoca occupano un'area abbastanza ristretta*».

⁵³⁹Cicerone, *Orationes In Verrem (Actio II, 3, 86)*: «*Quid vero? A Tissensibus, perparva ac tenui civitate, sed aratoribus laboriosissimis frugalissimisque hominibus, nonne plus lucri nomine eripitur quam quantum omnino frumenti exararant?*»

⁵⁴⁰GALVAGNO 2006, pp. 39-40: «*il centro è sempre stato cercato nella regione settentrionale dell'Etna ed identificato per lo più con contrada Imbischi vicino Randazzo. Ma la descrizione ciceroniana di Tissa come città produttrice di grano difficilmente può far pensare ad una identificazione con questa località...non per nulla adatta alla produzione granaria...Tissa andrebbe cercata in un territorio dell'Etna settentrionale in grado di offrire una produzione granaria consistente. È molto probabile che il territorio brontese che guarda verso Cesarò e Maniace appartenesse alla città sita in Monte Bolo e che molto probabilmente è da identificare con Tissa, nome poi scomparso dopo la fortunata campagna militare del comandante bizantino Maniace, che nel 1040, nella località che da lui prende il nome, sconfisse gli Arabi*».

⁵⁴¹PIRROTTI 2008, p. 91.

capitolo, provengono dalla lettura delle immagini multispettrali, che hanno rivelato la presenza di numerose anomalie archeologiche anche in zone identificate come siti nel corso delle ricognizioni.

7.1.1.2 Alcune breve considerazioni storiche sui dati del *survey*

Complessivamente, al di là della questione irrisolta dell'identificazione di Tissa, i dati acquisiti a seguito delle ricognizioni condotte dieci anni or sono permettono di compiere nuovi passi avanti verso la comprensione della dinamiche insediative di questo territorio (TAV XVII). Se l'esiguità dei rinvenimenti di materiale preistorico non ci consente di capire a pieno la natura e la qualità della presenza dell'uomo nelle fasi più antiche, un quadro in parte diverso emerge per l'epoca greca. Per l'età del Ferro e l'età arcaica l'*evidence* emersa attraverso il lavoro dell'Università di Durham è sostanzialmente pari a zero. Anche i più recenti scavi in contrada Edera sono stati abbastanza avari di testimonianze in merito, ad eccezione del rinvenimento nell'edificio a L di ceramiche di produzione indigena del VI; esse costituiscono, insieme a una perla vitrea e al recupero di un'anfora acroma⁵⁴², le uniche testimonianze di epoca arcaica. Da notare, inoltre, come manchino, da un punto di vista storiografico, le informazioni provenienti dagli autorigreci, assai restii a parlare di questa zona. Eppure essa è posta alla confluenza di due grandi direttrici: la valle del Simeto e la valle dell'Alcantara.

Senza dubbio, l'importanza strategica della valle dell'Alcantara è sempre stata chiara alle popolazioni che vivevano in questa cuspide della Sicilia. I numerosi studi condotti sul popolamento in età arcaica e classica hanno cercato di chiarire meglio la localizzazione dei centri urbani che si estendevano nella fascia compresa tra i Nebrodi, la media valle dell'Alcantara e la costa ionica. Mentre, infatti, sono ben noti i centri⁵⁴³ posti sul versante tirrenico, ancora dibattuta, solo per citare un esempio, è la localizzazione di *Callipolis*; la città, posta dalla tradizione, seppur senza alcuna *evidence*, nei pressi di Giarre, è stata oggetto di una nuova ipotesi avanzata dal prof. Frasca⁵⁴⁴, il quale ne suggerisce l'identificazione con la moderna cittadina di Francavilla. La revisione dell'importantissimo materiale proveniente dalla necropoli di S. Anastasia di Randazzo⁵⁴⁵, nonché

⁵⁴²Anche in questo caso rimandiamo al paragrafo dedicato alla storia delle ricerche archeologiche per i riferimenti bibliografici.

⁵⁴³Si tratta di insediamenti di matrice sicula e fioriti, cronologicamente, a partire dal IV secolo a.C.

⁵⁴⁴FRASCA 1997.

⁵⁴⁵Sulla collezione Vagliasindi: MAGRO 2014; MAGRO-BARRESI 2012; MALFITANA 2003; MAGRO-PRIVITERA 1993.

le nuove esplorazioni di siti rupestri⁵⁴⁶, gli scavi di emergenza condotti dalla Soprintendenza a Francavilla, Castiglione e Imbisch-Acquafredda⁵⁴⁷ permetteranno, nel corso dei prossimi anni, di gettare nuova luce sulla presenza di possibili fondazioni nassie nella valle⁵⁴⁸.

Ricordiamo, inoltre, che doveva esistere un percorso che partendo da Naxos doveva condurre ad Adrano, insediamento posto nella media valle del Simeto. Le testimonianze di Diodoro e Plutarco sono incentrate su due celebri episodi bellici: l'avanzata verso Catania del cartaginese Imilcone del 396 a. C.⁵⁴⁹ e l'itinerario seguito da Timoleonte muovendo contro Siracusa⁵⁵⁰. Studi geologici, sfruttando lo strumento dell'archo-magnetismo, hanno dimostrato come la colata lavica che bloccò Imilcone si trovi nei pressi di Acireale⁵⁵¹ e non vada pertanto cercata nell'area oggetto d'indagine.

In contrada Casitta, zona di cui non ci siamo occupati in modo puntuale poiché posta oltre i limiti dell'area da noi indagata, la ricognizione ha portato all'identificazione non tanto di una frequentazione quanto di una presenza stabile e diversificata durante l'epoca greca. È stata segnalata e rilevata la presenza di murature, solo in parte occultate dalla vegetazione, riconducibili a una fortificazione militare in uso almeno, secondo la cronologia della ceramica raccolta, fino alla media età ellenistica. La proposta interpretativa, che necessita naturalmente di ulteriore documentazione, ci conduce ad ipotizzare che tali strutture siano la testimonianza materiale di una forma di occupazione più intensiva dell'area operata in età dionigiana, in un momento successivo alla fondazione di Adrano, centro indigeno sorto nella media valle del Simeto. La scoperta di una capanna circolare e di altre già individuate durante i numerosi sopralluoghi effettuati ci permette di inferire l'esistenza di un vero e proprio insediamento, di dimensioni stimate intorno ai dieci ettari, che potrebbe avere la propria necropoli di riferimento nei terreni⁵⁵² posti al confine con la moderna città di Randazzo.

Ben poco possiamo dire, invece, della presenza greca rivelata dai siti individuati in contrada

⁵⁴⁶ORLANDO *et al.* 2016.

⁵⁴⁷Purtroppo l'ultima pubblicazione è abbastanza datata, vedi SPIGO 1997-1998.

⁵⁴⁸Su tale tema vedi la proposta, ormai un po' datata, di ALBANESE PROCELLI 1996.

⁵⁴⁹Diod. XIV, 59, 1-5.

⁵⁵⁰Plut., *Tim.* 12,5.

⁵⁵¹TANGUY *et al.* 2012.

⁵⁵²Sembrerebbe provenire proprio da un rinvenimento accidentale di una tomba, localizzabile a metà strada tra Randazzo e Casitta, un bell'esemplare di *duck-askos*, del tutto simile al già noto balsamario facente parte della collezione Vagliasindi di Randazzo.

Galatese e Boschetto Vaccheria. Nel primo caso, la scoperta di ceramica miniaturistica e la più alta concentrazione di ceramica a vernice nera ci spingono verso l'identificazione di un'area culturale, in vita dal IV al II secolo a.C. Nei pressi di contrada Vaccheria potrebbe, invece, trovarsi un settore di una necropoli di età ellenistica, il cui centro di riferimento dovrebbe giacere nel sottosuolo di Galatese.

Molto più articolati dovevano essere gli schemi insediativi dell'occupazione romana del comprensorio. Ci siamo già espressi sulla proposta avanzata in maniera preliminare da Leone e Witcher sull'identificazione di Tissa e, pertanto, non ci ritorniamo. D'altronde, è da escludere che l'insediamento identificato a Galatese possa essere un semplice centro rurale; troppo grande la quantità di importazioni rinvenute, tra cui la Sigillata Italica o i frammenti di Sigillata Cipriota (TAV XVIII), individuata sporadicamente soltanto nelle città della costa ionica⁵⁵³; troppo complessa l'organizzazione funzionale degli spazi, con marcate differenze tra contesti produttivi, abitativi e funerari.

Ciò che ci sfugge, invece, è l'esatta comprensione del rapporto che doveva esistere, per l'età romana e tardoantica, tra un centro urbano così importante e l'articolazione del suo territorio. Le ricerche e le ricostruzioni degli storici sulle grandi proprietà terriere di età romana e tardoantica⁵⁵⁴ hanno portato all'elaborazione di un modello per la realtà siciliana caratterizzato da latifondi e da insediamenti definiti come *'agro-towns'*. I siti identificati con le ricognizioni nelle altre contrade non permettono di trarre altri spunti a riguardo. Certamente, come in altre zone dell'Italia e della stessa Sicilia, la formazione dei latifondi dovette influenzare in maniera significativa la crescita della rete viaria⁵⁵⁵, data la necessità dei *conductores* o dei *domini* di visitare tutti gli appezzamenti di terreno, non necessariamente contigui. Il tema della presenza di una *massa fundorum* in età tardo-antica si intreccia, pertanto, con la viabilità che doveva connettere il comprensorio di Maniace e Maletto con i centri della costa ionica, gli insediamenti posti sui Nebrodi e le città della valle del Simeto⁵⁵⁶.

Un dato che sembra emerge dall'analisi complessiva dei risultati conseguiti dall' *Upper Simeto Valley Project* è la tenuta complessivamente buona, sia in termini quantitativi che qualitativi, dell'occupazione durante l'epoca tardo-antica e la media età bizantina. È possibile che durante il

⁵⁵³Per esempio a Catania, vedi MALFITANA-FRANCO 2012 p. 195.

⁵⁵⁴Sul tema bibliografia vastissima; citiamo per il carattere generale: VERA 2001 per l'età imperiale; VERA 1999 per il tardo-antico.

⁵⁵⁵Sulla rete viaria siciliana vedi UGGERI 2004; UGGERI 1997-1998.

⁵⁵⁶Sul sistema viario di età bizantina sui Nebrodi vedi ARCIFA 2011.

VII e l'VIII secolo il centro urbano di Galatese possa aver ridotto la propria estensione, ma come abbiamo osservato, i siti individuati sono numericamente di poco inferiore rispetto a quelli dell'età romana, e la presenza di diverse importazioni, a Galatese e soprattutto africane, sembra confermare l'impressione generale. D'altronde, le numerose Cube⁵⁵⁷ poste sul corso dell'Alcantara testimoniano l'importanza rivestita dal versante settentrionale dell'Etna anche durante questo periodo storico.

Un tema che andrà indagato in futuro sarà il rapporto esistente tra l'insediamento di contrada Santa Venera⁵⁵⁸, il grande muro (di fortificazione) e il centro individuato nella fertile terrazza di Galatese. Perché le capanne bizantine si trovano nella parte esterna del muro? Alla luce dei sopralluoghi e delle evidenti prove raccolte con le immagini multispettrali dell'esistenza di molte altre capanne circolari, quale era l'organizzazione funzionale e topografica dell'insediamento? Il muro continua anche in contrada Balze Soprane? La vita dei due grandi insediamenti si sovrappone o l'insediamento di Santa Venera sorse quando quello di Galatese era già stato abbandonato? Il dato certo, infatti, è che l'intera area, forse a seguito di un cambiamento del corso del fiume, denota un sostanziale abbandono per tutta l'epoca islamica e una parziale e modesta rioccupazione con la prima età normanna, quando fu edificato il monastero benedettino di Maniace.

7.1.1.3 Verifica delle anomalie

Procedere al controllo sul campo delle anomalie tele-osservate rappresenta un momento fondamentale all'interno del processo lavorativo. Sebbene tramite la verifica sia possibile ottenere significativi progressi e aggiustamenti della metodologia applicata, il tema sembra non riscuotere particolare interesse nella letteratura scientifica. La manualistica si limita a sottolineare la complementarietà con la fase di lettura delle immagini, siano esse multispettrali, foto aeree verticali, oblique. Nell'ambito del nostro percorso, la verifica ha avuto l'obiettivo di valutare sul terreno l'esistenza o meno delle anomalie identificate sul video, cercando di comprenderne l'eventuale matrice archeologica.

Se la finalità appare abbastanza chiara, molto più difficile si è rivelata l'elaborazione di una metodologia generale. I problemi da risolvere sono essenzialmente tre e sono tutti correlati alla complessa stratigrafia del palinsesto territoriale sul quale abbiamo condotto la nostra indagine. In

⁵⁵⁷Cuba di Malvagna in contrada Imbrichi e di Sant'Anastasia presso il territorio di Randazzo, Cuba di Santa Domenica a Castiglione. Sul modello della cella tricora siciliana vedi MARGANI 2005.

⁵⁵⁸Secondo la lettura di Arcifa (ARCIFA 2015, pp. 154-155) si tratterebbe di un insediamento nato a seguito dell'organizzazione tematica dell'impero bizantino, abitato da soldati e con una forte presenza allogena.

merito al controllo delle tracce, l'area di Galatese presenta una forte limitazione causata dalla natura privata della grande maggioranza dei fondi. Essi, infatti, non sono tutti accessibili e, di conseguenza, è stato impossibile verificare alcune anomalie, anche se significative. Laddove, invece, l'accesso al terreno non costituisce un problema, ne subentra subito un altro: l'orientamento. La seconda macro-area, Sciare di Santa Venera, Balze Soprane-Sottane e contrada Edera ricade nel demanio forestale, dove l'accesso è libero e non vige nessuna limitazione sull'impiego di UAV. La mancanza di numerosi punti di riferimento, il tipo di vegetazione steppica nonché la natura geologica del sito rende difficile l'orientamento. Ritrovare, pertanto, *on the ground* la presunta traccia vista nell'immagine multispettrale non è così semplice come possa sembrare. Non costituisce un caso così estremo ritrovarsi a compiere un sopralluogo per visionare una traccia nell'area sbagliata, con notevole dispendio di tempo ed energie. Inoltre, anche le strutture murarie non sono sempre facilmente distinguibili, soprattutto nei casi in cui presentano un alzata ridotto, dalla pietra lavica che affiora in molti punti. Naturalmente, trattandosi di un'area protetta, la crescita della vegetazione rende ancor più complesso il quadro. Purtroppo, il momento di massima visibilità archeologica nel corso del triennio è stato coinciso con un vasto incendio che, nell'estate del 2017, ha seriamente colpito l'intera area, devastando i terreni e la vegetazione (TAV XIX). In generale, la visibilità diminuisce in maniera sensibile nella stagione invernale, ma, trovandoci a circa ottocento metri sul livello del mare, non sempre le condizioni ambientali sono favorevoli a finalità archeologiche⁵⁵⁹.

Lo strumento più efficace per risolvere gran parte dei problemi sopra menzionati, ad eccezione della questione climatica, è la tecnologia GPS, ormai disponibile anche su tutti gli *smartphone*. Naturalmente, il margine di errore dei palmari o dei dispositivi montati sui telefoni è consistente (nell'ordine dei metri), ma l'aiuto comunque offerto dallo strumento è tale da permettere di orientarsi anche in un contesto ambientale così particolare come quello delle sciare laviche di Santa Venera.

⁵⁵⁹Tra il Dicembre 2016 e i primi mesi dell'inverno del 2018 è caduta la neve in diverse occasioni.



Figura 11. Sopralluogo per la verifica delle anomalie tele-osservate e rilievo, con posizionamento GPS, della struttura muraria a doppio paramento individuata al di là della strada statale. (Rilievo e posizionamento effettuato con l'ing. Mangiameli)

CAPITOLO 8

8.1 TRATTAMENTO DIGITALE DELLE IMMAGINI: METODOLOGIA APPLICATA E SOFTWARE IMPIEGATI

Il presente capitolo è stato pensato come un *focus* specifico incentrato sulle procedure applicate per la lettura, l'analisi e la classificazione delle immagini satellitari. Si è ritenuto utile, in prima battuta, assicurare una maggiore comprensione delle metodologie impiegate fornendo una breve descrizione tecnica dei caratteri fisici e algebrici che contraddistinguono le immagini tele-rilevate. Successivamente, sono state analizzate le tecniche

8.1.1 Caratteri dell'immagine telerilevata

Un'immagine numerica consiste nella distribuzione bidimensionale di elementi organizzati per linee e colonne. Le immagini da *remote sensing* sono immagini digitali di tipo raster, dove il territorio è rappresentato mediante una matrice; all'interno di essa ogni elemento base, il pixel⁵⁶⁰, è associato ad un numero, definito come numero digitale o *Digital Number* (DN); quest'ultimo rappresenta la misura della radianza media misurata elettronicamente dell'area a terra coperta da ciascun pixel. I pixel hanno, di solito, forma quadrata e una propria posizione definita nel sistema di coordinate dell'immagine attraverso una coppia di valori x e y. Pertanto, ogni pixel si caratterizza per:

- le due variabili spaziali x e y, individuano la posizione del pixel in quanto corrispondono agli indici di riga e di colonna
- il DN, funzione della radianza al suolo, che determina il valore del grigio di ogni pixel.

Un'immagine telerilevata è quindi una matrice di numeri, nata dalla traduzione in valori numerici della quantità di energia emessa o riflessa da un oggetto. Beninteso, tale combinazione di numeri deve essere convertita in un dato analogico per essere percepita come una immagine. Tale processo avviene tramite l'applicazione di una specifica funzione di trasferimento, che tramuta i valori dei pixel nella luminosità visualizzata nello schermo. Ogni punto dello schermo riceve, quindi, un'intensità di luce (nella scala dei grigi) che dipende dal DN. Nello specifico, avendo un'immagine con una sola banda spettrale, i pixel con bassi valori sono rappresentati con i livelli di grigio

⁵⁶⁰ Termine nato dalla crasi di due parole inglesi: *picture* ed *element*.

scuro⁵⁶¹, mentre le tonalità sempre più chiare indicano pixel con valori crescenti. Nelle immagini multispettrali, invece, per sfruttare il potenziale informativo di tutte le bande presenti si ricorre al colore e al principio della sintesi additiva dei tre colori fondamentali RGB: *red*, *green* e *blue*. Esso prevede che l'energia luminosa sia aggiunta al nero, originando un'ampia gamma di colori. La classica rappresentazione dello spazio vettoriale che si crea è un cubo inserito in una terna cartesiana, dove i tre assi X, Y, Z sono occupati da Rosso, Verde e Blu. In maniera assai banale ma molto efficace, maggiore è il numero delle suddivisioni che operiamo su ciascuno dei tre assi più accurata sarà la rappresentazione dei colori.

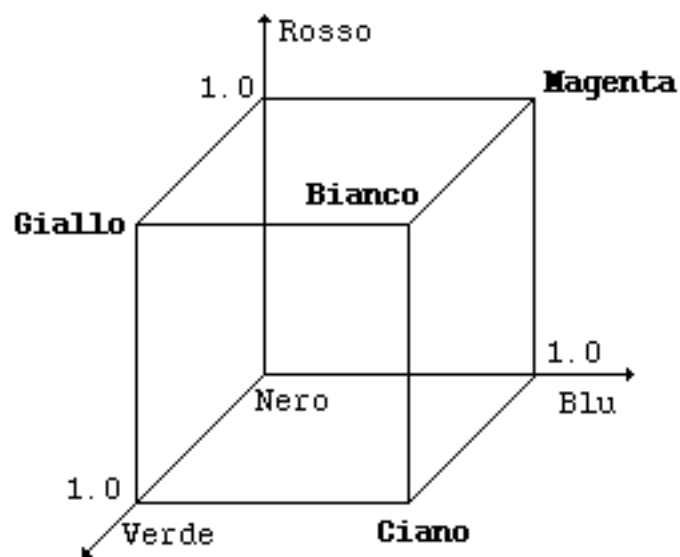


Figura 1. Spazio RGB: dalla sintesi additiva dei tre colori primari (rosso, verde e blu) si generano gli altri colori e le loro sfumature.

Com'è noto, associando ad ogni bande uno dei tre colori primari, un'immagine multispettrale può essere visualizzata al massimo in tre bande. Le possibili visualizzazioni che si possono ottenere sono, di conseguenza, inquadrabili in tre grandi tipologie:

1. bianco e nero: rappresentazione con sfumature di grigio per una sola banda;
2. colori naturali: i colori primari sono associati alle tre bande spettrali (rosso con rosso, verde con verde e blu con blu);

⁵⁶¹Questo avviene perché il DN pari a zero corrisponde al nero e il DN 255 al bianco.

3. falsi colori: mancanza di relazione tra la banda spettrale e il colore con cui è rappresentata l'immagine.

Ritorniamo, stavolta dedicando maggiore spazio, ad alcuni concetti ai quali abbiamo fatto riferimento nei precedenti capitoli. Alla luce delle precedenti spiegazioni, la loro comprensione dovrebbe essere facilitata.

Secondo la definizione fornita dal glossario del telerilevamento⁵⁶², il termine risoluzione spaziale⁵⁶³ indica la dimensione dello spazio rappresentata da un singolo pixel o la capacità di discernere due punti adiacenti. I due fattori che determinano il livello di risoluzione sono la distanza del sistema di ripresa e le caratteristiche di funzionamento. La dimensione meramente geometrica al suolo dei pixel costituisce il principale parametro per la qualità della rappresentazione della scena: maggiore sarà la risoluzione maggiore sarà il livello di dettaglio fornito dall'immagine. Naturalmente, da risoluzioni diverse prendono avvio ricerche dagli obiettivi diversi, anche in ambito archeologico.

Con il termine risoluzione radiometrica si definisce la quantità minima di energia necessaria affinché l'elemento sensibile produca un segnale elettrico registrabile dai sensori. Prima dell'introduzione dei satelliti VHR, un'immagine telerilevata aveva risoluzione radiometrica di 8 bit. Poiché il livello di radianza è misurato da 0 o da 1 *bit*, con 8 bit si possono rappresentare 256 livelli, cioè due all'ottava. Immagini scattate da satelliti come Worldview-2 o Quickbird-2 sono caratterizzate da un *dynamic range* di 11 *bit* per pixel, corrispondenti a 2048 variazioni tonali, ma alcune immagini iperspettrali possono toccare anche i 16 *bit* (65536 livelli). Tale miglioramento permette all'occhio umano, soprattutto nelle composizioni a colori, di percepire anche piccole differenze di intensità che, altrimenti, non sarebbero state notate. I valori di radianza sono rappresentati tramite una funzione grafica, definita istogramma di frequenza. Esso qualifica l'immagine in termini statistici, senza alcuna determinazione spaziale, tanto che può capitare che a uno specifico istogramma corrispondano più immagini diverse.

La risoluzione spettrale è connessa con il numero di bande e con la loro ampiezza, introducendo così il concetto di multispettralità⁵⁶⁴. La struttura delle immagini multispettrali non presenta significative differenze rispetto al modello coordinate immagine e DN; naturalmente invece di una sola immagini si hanno a disposizione un n immagini, i cui pixel hanno DN diversi e coordinate comune.

⁵⁶²BRIVIO-ZANI 1995. Consultabile anche on line all'indirizzo <http://www.irea.cnr.it/glossario/glossario.htm> (ultimo accesso 10/72017).

⁵⁶³Diffusi in letteratura anche i sinonimi risoluzione geometrica e risoluzione al suolo.

⁵⁶⁴Abbiamo visto nei capitoli precedenti come consista nella capacità dei sistemi di ripresa di acquisire i livelli di radiazioni provenienti dalla scena contemporaneamente su piani informativi diversi (le bande).

8.1.2 Input image

Le immagini multispettrali impiegate nella nostra ricerca provengono dal satellite Worldview-2 e sono state fornite dall'azienda Planetek Italia. L'inquadratura acquistata racchiude un'area di trentacinque chilometri quadrati, comprendendo al suo interno entrambe le due macro-aree oggetto del presente studio⁵⁶⁵.

Sebbene il satellite acquisisca l'immagine con una risoluzione geometrica al suolo di 0.46 m nel Pancromatico e di 1.84 nel Multispettrale (ovvero nelle otto bande fornite), tuttavia tutte le immagini sono commercializzate con valori di poco superiori: 0.50 e 2 metri.

Per quanto concerne la risoluzione spettrale, l'immagine viene acquisita in otto differenti bande spettrali più un ulteriore canale nel Pancromatico. Rimandiamo alle figure dei precedenti capitoli per l'ampiezza spettrale⁵⁶⁶ di ognuna delle nove bande.

Come è noto, è necessaria una fase preliminare all'analisi dei dati, definita pre-elaborazione o cosmetica. Essa si rende necessaria in quanto qualunque immagine, acquisita da scanner aviotrasportati, piattaforme satellitari o camere fotogrammetriche, è comunque affetta da alcuni errori e distorsioni che vanno rimossi. In particolare, ci riferiamo alle principali operazioni di correzione: radiometrica e geometrica. La prima è causata, principalmente, da un malfunzionamento dei sensori e dalle interferenze causate dall'atmosfera, che si frappone tra il sensore e la scena; comunque, al momento del nostro acquisto, le immagini fornite risultavano già corrette. Le aberrazioni geometriche nascono dalla problematicità del passaggio da immagini a proiezioni ortogonali e si distinguono in due categorie, sistematiche e non sistematiche. Tali errori sono corretti attraverso il ricorso a tecniche nate in fotogrammetria. Risultati soddisfacenti si ottengono introducendo dei semplici e ben distribuiti punti di controllo al suolo (Ground Control Points); infatti, in tal maniera, è facilmente determinabile la posizione assoluta degli oggetti identificati nei GCPs e l'immagine assumerà le coordinate geografiche dei punti a terra. L'operazione che permette l'associazione di coordinate interne dell'immagine e coppie geografiche è definita georeferenziazione.

Le immagini acquisite per la nostra ricerca, scattate il 19 Aprile 2013 (ore 10:23:44), sono state georeferenziate secondo il sistema di riferimento WGS 84/UTM zone 33N (EPSG:32633).

8.1.3 Tecniche di miglioramento dell'immagine

⁵⁶⁵Si rimanda all'apposito capitolo per una descrizione dei principali caratteri geografici, geo-morfologici e idrici delle due aree, ricadenti nei comuni di Bronte e Maniace.

⁵⁶⁶Si definisce ampiezza spettrale l'intervallo di lunghezza d'onda relativo ad ogni canale.

I paragrafi che seguono sono dedicati alle procedure e alle tecniche utilizzate per migliorare alcuni tratti delle immagini multispettrali così da facilitare l'identificazione di anomalie di superficie riconducibili alla presenza di stratificazioni archeologiche. L'analisi si basa, principalmente, sull'applicazione di alcuni algoritmi di *data fusion*, *enhancement*, *edge detection*.

8.1.4 Data fusion (o Pan Sharpening)

Il *data fusion*, chiamato anche *pan sharpening*⁵⁶⁷, consente di “fondere” ed integrare il contenuto informativo associato a due o più sorgenti di dati. In particolare, nel caso di immagini multispettrali, si tratta di combinare in un unico prodotto l'alta risoluzione spaziale delle immagini pancromatiche (PAN) con le diverse bande spettrali che caratterizzano l'immagine multispettrale (MS). Il *pan sharpening*, solitamente, non comporta problemi di co-registrazione spaziale, in quanto i sensori catturano le immagini MS e PAN simultaneamente. La fusione di queste due tipologie di immagini rappresenta l'unica soluzione per ottenere dati con le più alte risoluzioni geometriche e spettrali. La domanda per *pansharpened data* è in continuo aumento, probabilmente a seguito della crescente disponibilità di prodotti commerciali che utilizzano immagini ad alta risoluzione. Inoltre, il *data-fusion* costituisce, come nel nostro caso, un importante *step* preliminare per condurre analisi di *change detection*, *object recognition* e *visual image analysis*.

Una revisione della recente letteratura scientifica prodotta⁵⁶⁸, testimonia l'interesse scientifico suscitato dall'applicazione di algoritmi di *pansharpening*.

Nel caso in esame il *pan sharpening* è stato eseguito utilizzando, all'interno della piattaforma QGIS, *Orfeo Toolbox* (OTB); si tratta di una libreria C++ *open-source* sviluppata per l'elaborazione di immagini telerilevate e che include diversi algoritmi di *feature extraction*, *filtering*, classificazione e segmentazione.

Si riporta, a titolo di esempio, un confronto tra le immagini precedenti e successive all'applicazione di procedure *data fusion*.

⁵⁶⁷Dal verbo inglese *to sharpen*, letteralmente ‘mettere a fuoco’.

⁵⁶⁸Revisione critica dei metodi applicati per il *Pan Sharpening* in VIVONE *et al.* 2015.



Figura 2. Immagine multispettrale visualizzata in RGB con GSD 2 m.



Figura 3. Immagine post data fusion: immagine multispettrale in RG.B con GSD 0.5m.

Come si vede con chiarezza nelle figure 2 e 3, l'applicazione di tale algoritmo ha consentito un notevole miglioramento della qualità delle immagini in termini di risoluzione spaziale. In particolare, partendo dalle immagini multispettrali aventi 8 bande e GSD (*Ground Sample Distance*) pari a due metri, si sono ottenute analoghe immagini multispettrali aventi 8 bande e GSD 0.50 m.

8.1.5 Tecniche di *enhancement*

Le tecniche di *enhancement* sono utilizzate per alzare la qualità di un'immagine, migliorandone il suo impatto visivo. Si ricorre a tali strumenti in quanto, in campo archeologico, le caratteristiche dei suoli non consentono di rilevare con chiarezza le *feature*, ad esempio a causa dell'agricoltura o della presenza di vegetazione rada. Si tratta, quindi, di procedure volte a enfatizzare alcune caratteristiche visive ritenute fondamentali ai fini dell'indagine che si sta portando avanti. Gli indici di vegetazione, per esempio, sono stati costruiti per esaltare la presenza della vegetazione, elemento spesso rivelatore di possibili contesti archeologici non ancora portati alla luce.

8.1.6 Indici di vegetazione

L'analisi della vegetazione e dei cambiamenti nei *vegetation patterns* (schemi vegetativi) è una delle chiavi per monitorare e studiare il paesaggio da diversi decenni. Il primo programma in questo settore fu sviluppato dalla NASA⁵⁶⁹ in contemporanea con l'inizio dell'avventura dei primi satelliti Landsat. Non sorprende, pertanto, come la stima quantitativa della vegetazione verde presente in una data area sia ormai una delle procedure del *remote sensing* con le maggiori implicazioni in numerosi campi applicativi.

La vegetazione, in condizioni normali, ha una firma spettrale caratteristica; la riflettanza⁵⁷⁰ di una foglia verde è ripartita 20% nel verde, 10% nel blu e nel rosso, e un picco del 70% nell'infrarosso vicino; tra 690 e 740 nm, si verifica un fenomeno definito come *red edge*: l'energia assorbita non è impiegata dalle piante per attivare la fotosintesi, ma si disperde nella struttura interna delle foglie, causando una fortissima rifrazione facilmente osservabile.

È proprio tale forte contrasto, generato dalla disparità di energia riflessa nelle regioni del rosso e del vicino infrarosso, a essere l'oggetto di un gran numero di tentativi nati per sviluppare indici quantitativi di vegetazione partendo da immagini telerilevate. Intorno alla metà degli anni Novanta era stato calcolato che erano stati sviluppati oltre quaranta differenti indici di vegetazione⁵⁷¹; stime più recenti⁵⁷² hanno, in realtà, quasi raddoppiato il numero. L'obiettivo costante, nel corso dei decenni, è rimasto immutato: assicurare il miglioramento della metodologia, minimizzando il peso di alcuni fattori di disturbo, come le variazioni dell'atmosfera.

Da un punto di vista generale, il termine indice rappresenta numericamente l'intensità di un fenomeno la cui complessità non permette la sua scomposizione in parametri fissi e ben riconosciuti. Sebbene sia possibile determinare l'influenza e il peso di molti fattori, risulta assai

⁵⁶⁹Risale al 1972 il *Monitoring the Vernal and Advancement and Retrogradation of Natural Vegetation program*.

⁵⁷⁰La riflettanza è definita come una grandezza adimensionale che esprime il rapporto, in percentuale, tra radiazione riflessa e radiazione incidente (GONTHIER *et al.* 2012, p. 89).

⁵⁷¹BANNARI *et al.* 1995, p. 95.

⁵⁷²AGAPIOU *et al.* 2012, pp. 3894-3896. Il *team* cipriota ha passato in rassegna settantuno indici di vegetazione.

difficile procedere con questa operazione partendo dai segnali osservabili nelle immagini telerilevate. Pertanto, la nozione di indice di vegetazione ben si presta per qualificare e definire la vegetazione di vaste aree come quelle che coprono più pixel di una singola immagine. Gli indici di vegetazione sono misure quantitative che indicano il vigore della vegetazione⁵⁷³ e mostrano una sensibilità più acuta per lo studio delle biomasse rispetto alle singole bande spettrali. Essi costituiscono uno strumento utilissimo per l'individuazione dei cambiamenti nell'uso del suolo, la valutazione della densità vegetativa, lo stato di salute delle piante.

Sono state proposte differenti classificazioni⁵⁷⁴, ma abbiamo scelto di seguire, per la sua completezza quella proposta da Jackson e Huete⁵⁷⁵; secondo la loro proposta gli indici di vegetazione (VI) si distinguono in quattro gruppi principali: *slope-based*, *distance-based*, *orthogonal transformation* indici spettrali⁵⁷⁶. Per comprendere tale divisione, è necessario considerare la posizione dei pixel con la vegetazione in una rappresentazione grafica bidimensionale della riflettanza (o riflettività) del rosso e dell'infrarosso. Gli indici appartenenti alla categoria *slope-based*⁵⁷⁷ sono semplici combinazioni aritmetiche che si concentrano sul contrasto del responso spettrale nelle porzioni del rosso e del vicino infrarosso dello spettro elettromagnetico. Sono così definiti in quanto ogni coppia di valori nello spazio bidimensionale NIR/Rosso è geometricamente equivalente alla tangente (*slope*) della linea che congiunge l'origine e il particolare punto posto nel diagramma.

⁵⁷³CAMPBELL 1987, p. 551.

⁵⁷⁴Per esempio tra indici semplici, indici con soil line e indici corretti atmosfericamente.

⁵⁷⁵JACKSON-HUETE 1991, p. 187.

⁵⁷⁶Tra gli indici spettrali più ricorrenti il RED-EDGE, così definito perché misura la lunghezza d'onda intorno al punto di flesso della curva di riflettanza tra il rosso e il vicino IR.

⁵⁷⁷È possibile incontrare, nella letteratura scientifica in lingua italiana, anche la dicitura di indici intrinseci, poiché il procedimento algebrico tiene in conto solo della riflettanza.

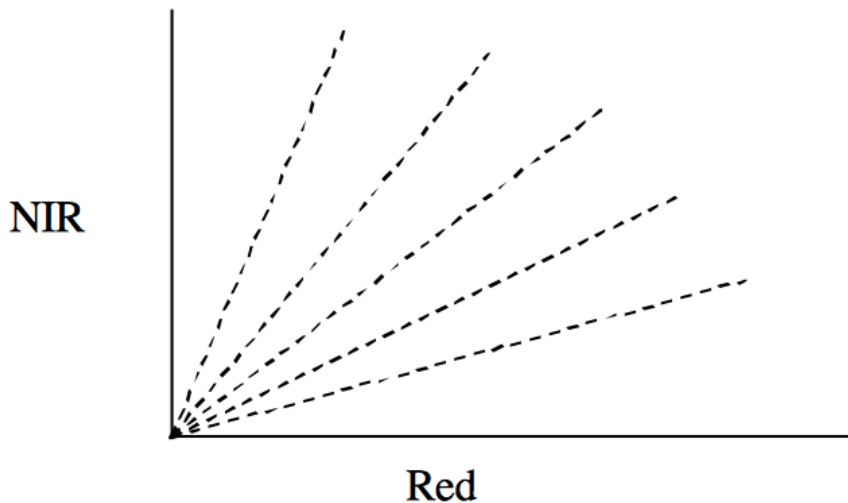


Figura 4. Rappresentazione grafica di un *slope-based index*.

Tra i più impiegati all'interno di tale categoria vi sono il *Ratio Vegetation Index* (RATIO) e soprattutto il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Il primo fu proposto da Rouse⁵⁷⁸ e nacque per separare la vegetazione verde dal suolo usando le immagini Landsat MSS. Il valore è ottenuto con una semplice divisione dei valori della riflettanza contenuti nel vicino infrarosso con quelli del rosso:

$$RATIO = \frac{NIR}{RED}$$

Il risultato esalta in maniera netta il contrasto tra rosso e vicino infrarosso, ma non ha una distribuzione normale che possa permettere di elaborare statistiche. Inoltre, l'indice non permette di eliminare gli effetti della topografia o le variazioni angolari nell'illuminazione del sole. Tra gli indici-RATIO più utilizzati in ambito archeologico ve ne sono due particolarmente importanti. Uno è il più semplice della famiglia, il *Simple Ratio Index* (SRI)

$$SRI = \frac{NIR1}{RED}$$

Esso permette di enfatizzare il contrasto tra il suolo e la vegetazione, con grande giovamento per la lettura delle possibili *features* archeologiche. L'altro è il *Modified Simple Ratio* (MSR), formulato sulla base di una valutazione di differenti indici come l'NDVI, il SRI, il SAVI e le sue varianti (SAVI 1, SAVI 2), il *Weighted Difference Vegetation Index* (WDVI), *Non Linear Index* (NLI) e il *Renormalized Difference Vegetation Index* (RDVI).

⁵⁷⁸ROUSE *et al.* 1974.

$$MSR = \frac{RED}{\left(\frac{NIR1}{RED} + 1\right)^{0.5}}$$

Il MSR è una versione migliorata proprio di quest'ultimo indice, sviluppato con l'obiettivo di linearizzare le relazioni con gli indici biofisici.

Invece, le distorsioni cui abbiamo accennato in precedenza sono assenti nel NDVI⁵⁷⁹, il più comune tra tutti gli indici di vegetazione, introdotto sempre da Rouse; si tratta di un indice multispettrale correlato strettamente al contenuto di clorofilla

$$NDVI = \frac{NIR1 - RED}{NIR1 + RED}$$

Nella formula NIR e RED sono i valori della riflettanza delle bande dell'infrarosso vicino e del rosso; il risultato oscilla tra il -1 e il +1: valori positivi indicano alti contenuti di clorofilla e quindi vegetazione crescente, valori negativi aree non vegetate. Tale indice è funzionale alla realizzazione di carte vegetazionali attraverso procedure automatizzate, con applicazioni nel settore del monitoraggio dello stato di salute delle piante arboree, oltre ad essere il più utilizzato per evidenziare possibili anomalie archeologiche.

Passiamo, adesso, agli indici *distance-based*; essi misurano i livelli di vegetazione calcolando la differenza di valori di riflettanza tra i pixel di vegetazione e quelli del suolo 'nudo'. Graficamente, la rappresentazione richiede il tracciamento di una linea del suolo (definita *soil line*) e, pertanto, il risultato finale corrisponde alla distanza perpendicolare di ogni punto dalla linea. Solitamente, i valori della nuvola di punti sulla *soil line* formano una linea di 45°. All'aumentare della copertura della vegetazione, aumenterà la distanza perpendicolare (*intercept*) dalla linea del terreno; consequenzialmente, in ambienti aridi o desertici, i valori di gran parte delle piante tenderanno, invece, a posizionarsi sulla medesima *soil line*, giungendo quasi a oscurarla. Un'altra differenza con gli *slope-based* è nell'orientamento delle linee che segnalano l'intensità della vegetazione, definite isovegetative. Negli indici *slope-based* le isolinee convergono all'origine, mentre nei *distance-based VIs* rimangono parallele alla *soil line*⁵⁸⁰.

⁵⁷⁹Vale la pena sottolineare come gli effetti atmosferici e topografici siano ridotti anche con il SRI e MSR.

⁵⁸⁰Gli indici della famiglia SAVI rientrano all'interno della tipologia *distance-based* sebbene le isolinee non siano né parallele né passino dall'origine.

Tra gli indici *slope-based* più impiegati anche in archeologia spicca il *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), proposto da Huete circa un trentennio fa⁵⁸¹. Esso è stato costruito con l'obiettivo di minimizzare la radiazione di fondo del suolo sul segnale della vegetazione; tale risultato è ottenuto incorporando una costante di *Soil-Adjustment*, il fattore L ⁵⁸², al denominatore dell'equazione.

$$SAVI = \frac{NIR1 - RED}{NIR1 + RED + L} (1 + L)$$

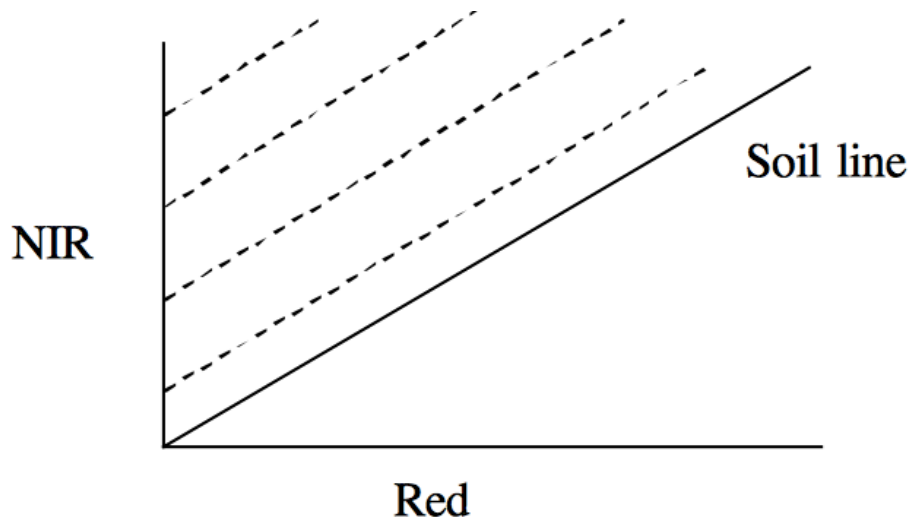


Figura 5. Rappresentazione grafica di un *distance-based index*.

Il valore di L va scelto in base alla densità della vegetazione che si desidera analizzare. L'autore suggerisce un valore di 1 per livelli di vegetazioni molto bassi, 0.5 per quelli intermedi e 0.25 per alte densità. Successivamente, Walther e Shabaani⁵⁸³ hanno suggerito che il migliore valore di L vada scelto dove la differenza tra gli indici SAVI per terreni scuri e chiari è minima.

Naturalmente, esistono, come scritto in precedenza, diverse decine di indici di vegetazione, ognuno di essi è stato sviluppato per esaltare un aspetto piuttosto che un altro. Abbiamo, pertanto, deciso di presentare esclusivamente quelli che si sono rivelati più utile nella nostra ricerca: si tratta, nello specifico, del NDVI, SAVI, SRI e MSR. L'applicazione delle formule degli indici rende possibile l'identificazione di possibili e probabili strutture archeologiche sepolte nel sottosuolo; la loro presenza è inferita in maniera indiretta in quanto possono o favorire o bloccare e inibire lo sviluppo della vegetazione che insiste nella medesima area.

Proprio in tali casi, lo strumento dell'immagine multispettrale dimostra tutta la sua potenza. Possono essere citati numerosi esempi, infatti, in cui le *features* appaiono più evidenti grazie ad uno

⁵⁸¹HUETE 1988.

⁵⁸² L varia in funzione della riflettanza di alcune caratteristiche quali il colore, la luminosità etc.

⁵⁸³WALTHER-SHABAANI 1991.

specifico canale, come il NIR, o all'applicazione di tecniche algebriche di miglioramento dell'immagine. Il confronto tra l'immagine nel visibile in RGB e quella nel NIR rappresenta la prova migliore di quanto detto (TAV. XX).

8.1.7 Tecniche di classificazione dell'immagine

Abbiamo sottolineato nei paragrafi precedenti come le immagini provenienti da telerilevamento siano contenitori di informazioni, prodotte attraverso la registrazione delle quantità di energia elettromagnetica emessa o riflessa dalle superfici degli elementi che ci circondano. La lettura delle immagini e la conseguenziale individuazione delle *features* oggetto di indagine tradizionalmente avviene mediante il lavoro di fotointerpretazione dell'operatore. Naturalmente, l'accuratezza, la precisione e la qualità dei risultati dipendono dal grado di abilità ed esperienza di chi si occupa della lettura; si tratta, pertanto, di un processo correlato a fattori fortemente soggettivi, non ripetibili e difficilmente quantificabili.

Come è giusto che fosse all'interno del nostro progetto, la prima classificazione effettuata sulle immagini multispettrali è stata di tipo manuale e volta al riconoscimento di anomalie lineari o spaziali di interesse archeologico. In un secondo momento, sono stati applicati gli algoritmi più comunemente utilizzati all'interno di processi di classificazione supervisionata.

Nella macro-area 1, in mancanza di scavi archeologici già effettuati, l'identificazione di *features* ha avuto finalità predittive. Al contrario, nella seconda area campione, la localizzazione puntuale di strutture archeologiche, note già grazie agli scavi editi, ha concesso la possibilità di applicare un'altra procedura. All'interno di una logica postdittiva e fortemente *ground-truth*, è stata verificata la bontà in campo archeologico delle tecniche di classificazione semi-automatica utilizzate nelle immagini multispettrali⁵⁸⁴.

8.1.8 Le classificazioni semi-automatiche

A partire dagli anni '80, la produzione di immagini di natura digitale e non più analogica ha permesso l'apertura di nuove strade. Infatti, le caratteristiche algebriche del pixel e le differenti risposte spettrali delle superfici permettono la creazione di nuvole di punti, definiti *cluster* o classi spettrali. Ad ogni pixel dell'immagine è associato un vettore delle misure in n componenti, una per ogni banda; sono tali valori a localizzare in maniera univoca il pixel. Le funzioni di decisione agiscono, poi, o seguendo la logica booleana (biunivocità del vero o falso) o secondo la logica

⁵⁸⁴In realtà, la ricerca di anomalie non si è limitata alle zone già note grazie agli scavi ma ha investito l'intera macro-area.

probabilistica. Sono, comunque, in aumento le classificazioni che agiscono seguendo una logica multi-valore (per esempio *fuzzy*).

La qualità di un processo di classificazione dipende, per larga parte, dalla bontà delle funzioni di decisione, definite anche come funzioni di discriminazione; grazie ad esse, il pixel è inserito in una data classe spettrale. Si tratta di un passaggio decisivo in quanto la capacità di riuscire a distinguere in maniera precisa tali classi svolge un ruolo fondamentale. La formula algebrica che definisce le funzioni di decisione è la seguente:

$$d(x) = d(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Alla luce di quanto detto, appare evidente come la nascita e lo sviluppo di sistemi di classificazione automatica costituisca una nuova via per limitare la soggettività insita nelle procedure manuali di *pattern recognition*, permettendo un notevolissimo risparmio di tempo, la creazione di un protocollo e la quantificazione degli errori.

Generalmente, un processo di classificazione si snoda in tre fasi:

1. *training* (allenamento); interessa soltanto una percentuale minima dei pixel, compresa tra l'1% e il 5% del totale, attraverso la selezione di *Region of Interest* (ROI). Si campiona, infatti, una serie di siti guida, detti anche *training site*, per una o più classi tematiche, individuando una specifica firma spettrale e specifici livelli di grigio. Tale operazione che avviene è fortemente influenzata dalla natura del progetto a cui si sta lavorando e anche dall'esperienza dell'operatore, in quanto la separazione avviene in base alla conoscenza delle proprietà fisiche, delle firme spettrali e della similarità tra i pixel⁵⁸⁵;
2. *allocation* (assegnazione automatica); ogni *feature* estratta definisce la funzione di separazione tra le classi spettrali; il *software* assegna, attraverso l'applicazione di un algoritmo, ogni pixel dell'immagine ad una delle classi spettrali, e ogni classe spettrale a una classe nello spazio geografico;
3. *validazione*; momento conclusivo in cui si passa alla verifica dell'accuratezza del dato prodotto.

⁵⁸⁵Pixel appartenenti alla stessa superficie del terreno si raggrupperanno insieme, formando le nuvole che identificano le classi spettrali. Naturalmente, il rapporto che li lega non è univoco e, pertanto, è assai comune che la stessa classe d'informazione sia rappresentata con un elevato livello di variabilità. I fattori che possono causare tale fenomeno di variazione spettrale sono tanti: condizioni di luce e ombra differenti, variabilità atmosferica, forme spettrali...

La classificazione può essere condotta tramite due approcci: guidata o non guidata (*supervised* o *unsupervised*). Nel primo caso, è l'operatore a scegliere specifiche ROI per ogni tipologia, in modo che il programma riconosca le peculiarità di ogni classe.

Nel secondo, invece, è previsto l'intervento dell'operatore soltanto a posteriori, quando sono assegnate le classi tematiche alle classi spettrali definite dalla macchina in precedenza attraverso procedure di *clustering*.



Figura 6. Le tre fasi del processo di classificazione.

Nel nostro caso specifico, l'approccio scelto è stato quello, in un primo momento, della classificazione supervisionata, con il tentativo di allenare la macchina a riconoscere murature e strutture in pietra lavica attraverso la scelta di ROI prese proprio dove si era certi della presenza di strutture murarie antiche. Successivamente, dopo aver perfezionato metodi e parametri funzionali alla classificazione supervisionata, abbiamo scelto di concentrarci sullo sviluppo di una classificazione non supervisionata (per l'area di Glatese)

A livello generale, un'ulteriore distinzione nelle procedure applicate separa l'approccio *pixel-based* da quello *object-oriented*. Il primo è, senza dubbio, il metodo più utilizzato e si fonda, ovviamente, sul pixel; l'assegnazione di valori semantici avviene, infatti, sulla base della caratterizzazione del dato radiometrico del singolo pixel, escludendo ogni connessione spaziale con tutti gli altri. Il risultato finale è un prodotto raster.

Al contrario, una classificazione *object-oriented*⁵⁸⁶, oltre a fornire prodotti vettoriali, lavora con poligoni aggregati e generati da un procedimento di segmentazione dell'immagine di partenza.

⁵⁸⁶Vedi il paragrafo finale del capitolo all'archeologia predittiva e post-dittiva per puntuali riferimenti bibliografici sulle procedure GEOBIA.

Questo è possibile in quanto non viene analizzato soltanto il dato radiometrico, ma sono valutati molti altri fattori quali la tessitura, la forma, il contesto, il rapporto dimensionale...

All'interno del nostro lavoro, abbiamo sperimentato entrambi gli approcci ma, per ragioni di tempo e opportunità, ci siamo concentrati sul più tradizionale metodo *pixel-based* all'interno di una procedura di classificazione guidata. Per tale ragione, ci sembra opportuno descrivere in maniera dettagliata l'intero procedimento seguito.

8.1.9 La classificazione supervisionata *pixel-based*

Per prima cosa, chiariamo come l'obiettivo della sperimentazione condotta all'interno del presente lavoro sia la creazione di protocolli metodologici che permettano l'estrazione semi-automatica di *features* archeologiche.

La classificazione guidata o supervisionata è la tecnica più impiegata per condurre un'analisi quantitativa con immagini multispettrali. Schematicamente, si suddivide nei seguenti momenti:

1. definizione della legenda: fase in cui va specificato l'insieme delle classi di copertura presenti nella superficie da analizzare; tale scelta è strettamente connessa con la tipologia di studio che si vuole portare avanti. Per esempio, uno studio di tipo agrario incentrato sullo sfruttamento di un'area coltivata sceglierà di evidenziare e discriminare gli appezzamenti di terreno in base al tipo di coltura;
2. scelta dei *training site*: individuazione dei pixel che serviranno da modello per le fasi successive; poiché dei pixel viene calcolata l'impronta spettrale nello spazio delle caratteristiche, il c.d. pattern, è necessario che essi siano rappresentativi della classe. Andrebbero scelti, pertanto, pixel omogenei, tentando di evitare deleterie sovrapposizioni e zone di confine;
3. scelta delle caratteristiche: selezione o delle bande o degli indici spettrali su cui impostare gli algoritmi. Durante l'intera attività di classificazione, lo spazio delle caratteristiche è composto da tutte le bande spettrali in cui è stata acquisita l'immagine originariamente⁵⁸⁷.
4. funzioni di decisione: associazione di ogni classe a regole di decisione per la suddivisione dello spazio;
5. applicazione dell'algoritmo: tutti i pixel sono classificati secondo le regole di decisione e il prodotto finale è una mappa tematica. Nella pratica del calcolatore, l'algoritmo di decisione

⁵⁸⁷L'avvento delle immagini multispettrali ha migliorato la qualità dei processi di classificazione, ma non necessariamente l'accuratezza finale delle carte tematiche. È diventato d'attualità il fenomeno di Hughes, ovvero la tendenza a crescere dell'accuratezza all'aumentare delle bande spettrali, fino a raggiungere un picco di massimo e iniziare, successivamente a decrescere.

agisce come una misura di distanze, all'interno dello spazio delle caratteristiche, dove si sono formati i *cluster* di pixel per le diverse classi tematiche. Il processo di assegnazione di un pixel ad una classe è condotto con logica booleana (classificazione di tipo Hard), o con logica probabilistica (classificazione di tipo Soft). Da due approcci diversi nascono prodotti diversi; nel caso di classificazione Hard mappa tematica in k classi, quante sono quelle in partenza, nella legenda; nel caso Soft, il prodotto che si ottiene è costituito da k mappe tematiche.

6. validazione dei risultati: confronto del risultato con una serie di pixel *ground truth*.

Dedichiamo maggiore attenzione ai principali algoritmi di decisione utilizzati durante i processi di classificazione supervisionata.

L'algoritmo Minima Distanza dalla Media (MDM) sfrutta esclusivamente il valore medio dei pixel di training per ognuna delle classi. Viene, infatti, calcolata la distanza del vettore di misura x di ogni pixel dal valore medio di ogni classe; al pixel sarà assegnata la classe per la quale la distanza sarà minore. Si noti che la funzione di distanza $d(x)$ può essere una delle tante applicate per la distribuzione delle classi, tuttavia un criterio di scelta può essere quello di valutare il grado di dispersione dei cluster e, quindi, il grado di compattezza.

Da un punto di vista matematico, il metodo è semplice e computazionalmente efficiente; il principale limite è insito nell'impossibilità di riconoscere il livello di dispersione di ogni classe nello spazio delle caratteristiche; esso, di conseguenza, non è lo strumento più adatto per tutti quei casi in cui le classi presentano livelli di differenziazione minimi.

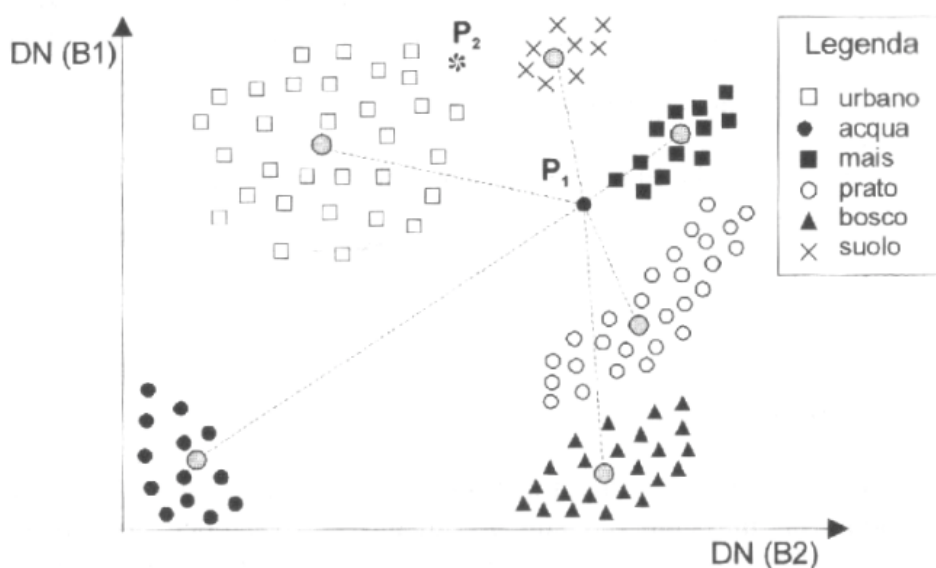


Figura 7. Algoritmo MDM in uno spazio bidimensionale.

L'algoritmo del parallelepipedo (*Box*) definisce le classi attraverso l'identificazione di limiti inferiori e superiori. Esso, infatti, calcola la dispersione nello spazio delle caratteristiche tramite l'esistenza degli intervalli; quest'ultimi sono definiti sui pixel di allenamento e sono calcolati sulla base del valore massimo e minimo delle bande spettrali. L'assegnazione di un pixel a una determinata classe avviene se il suo valore sarà all'interno del *range*. Al contrario, se non dovesse soddisfare il requisito richiesto, il pixel sarebbe assegnato alla classe *non classificato*.

Il SAM (*Spectral Angle Mapper*) costituisce l'algoritmo di riferimento per la classificazione di immagini iperspettrali. Esso confronta direttamente il pattern dei *training sites* con quello dei pixel da classificare, definito, nello spazio multispettrale, dal vettore x . Per ogni classe, inoltre, il *pattern* di riferimento per il confronto è il risultato delle media delle firme spettrali dei *training sites*. La differenza rispetto agli altri metodi consiste nel modo in cui è espressa la firma spettrale, in questo caso calcolata come distanza angolare tra i due vettori. Anche qui, qualora tale misura risulti superiore alla distanza angolare, il pixel rimarrà non classificato.

Infine, la valutazione del livello di errore e di accuratezza del prodotto finale. Il concetto di accuratezza si differenzia rispetto a quello di precisione che è legato, invece, al livello di dettaglio. L'accuratezza, infatti, è la stima del margine di errore o di coincidenza esistente tra il prodotto realizzato e il modello ritenuto corretto⁵⁸⁸. L'errore si caratterizza per frequenza, natura (in relazione alle classi), grandezza (banalità o gravità) e sorgente (l'origine dell'errore). Uno strumento fondamentale, una vera e propria scatola nera dell'errore verificatosi, è la matrice di errore, dove sono raccolti tutti i dati provenienti dal confronto tra i pixel del prodotto e quelli del modello assunto come riferimento.

Infine, alcune considerazioni sulle classificazioni supervisionate di tipo *Hard*.

L'evoluzione dei sensori ha portato ad alte risoluzioni spaziali, garantendo dimensioni dei pixel abbastanza limitate (nel nostro caso di 0,5 m). Era lecito pensare che, sulla scia di una migliore risoluzione spaziale, sarebbe divenuto possibile avere pixel con caratteristiche spettrali pure, più facilmente inseribili nelle diverse classe tematiche. In realtà, quanto auspicato non è accaduto; infatti, il miglioramento della risoluzione ha portato con sé la comparsa di nuovi dettagli, impossibili da leggere con le immagini precedenti. Non è stato, pertanto, risolto il problema della presenza di pixel misti, ovvero quei pixel che presentano caratteristiche spettrali non pure. È stato, quindi, elaborato un approccio in grado di aggirare, anche concettualmente, il problema. La classificazione di tipo *Soft* si basa sul principio chiave di appartenenza parziale alle diverse classi.

⁵⁸⁸Sulle modalità di scelta dei pixel che devono fungere da modello vedi VAN GENDEREN *et al.* 1978.

L'assegnazione del pixel non avviene attraverso una logica binaria ma associando un livello di probabilità differente per l'appartenenza a una classe. Da un punto di vista logico, si tratta della medesima procedura utilizzata per incorporare i livelli di incertezza nei modelli predittivi⁵⁸⁹. Sulla base di quanto appena detto, non deve sorprendere come l'approccio più utilizzato impieghi, anche in questo campo, la logica *fuzzy*.

8.1.10 I software utilizzati

Durante il nostro lavoro di tesi, abbiamo lavorato utilizzando software sviluppati in ambiente *open source*. Si tratta di:

PixelWrench2: il software *Tetracam PixelWrench2* è un programma di elaborazione delle immagini semplice ma allo stesso tempo efficiente, essendo dotato di un insieme di strumenti specializzati per l'elaborazione di immagini multispettrali. Il programma permette l'apertura e la modifica delle immagini multispettrali: il tono, il contrasto, la scala, la rotazione, l'affinamento, la sfocatura, ecc. Inoltre sono possibili operazioni sulle immagini quali la traslazione, la copia, la correzione delle distorsioni, ecc.

QGIS: (anche noto come *Quantum GIS*): esso non è altro che un'applicazione desktop GIS *open source*, molto simile nell'interfaccia utente e nelle funzionalità ai pacchetti GIS commerciali equivalenti. Si noti come essendo distribuito come pacchetto *Open Source*, il codice sorgente di QGIS è liberamente messo a disposizione dagli sviluppatori e può essere pertanto scaricato e modificato, consentendo, in questo modo, la sua riprogrammazione per rispondere a specifiche esigenze.

Inoltre, allo scopo di migliorarne le funzionalità e la compatibilità, possono essere compilati dei *plugin*, ovvero delle piccole estensioni caricate al momento del lancio del programma. In particolare, nell'ambito del presente lavoro di tesi è stato utilizzato il *Semi-Automatic Classification Plugin*. Si tratta di plugin *open source*, quindi gratuito, sviluppato per QGIS e che permette la classificazione supervisionata di immagini tele-rilevate utilizzando i seguenti algoritmi di classificazione: *Minimum Distance*, *Maximum Likelihood*, *Spectral Angle Mapping*. Inoltre, sono presenti molteplici strumenti assai utili per la fase di *pre-processing* delle immagini, la post-elaborazione delle classificazioni e il calcolatore raster.

Il *plugin* SCP consente inoltre:

⁵⁸⁹Vedi l'apposito paragrafo "Essere sicuri dell'incertezza".

- la creazione rapida di ROI (*Region Of Interest*) attraverso l'algoritmo *region growing*. Le ROI create vengono memorizzate in uno *shapefile*, e inoltre è possibile visualizzare la firma spettrale relativa a ciascuna ROI creata;
- la creazione dello scatterogramma;
- la selezione e il download di firme spettrali dalla libreria spettrale dell'USGS (disponibile all'indirizzo: <http://speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html>).

Per il calcolo degli indici di vegetazione si è fatto ricorso al già citato PixelWrench2, programma in grado di fornire molti strumenti assai utili.

Per accedere a queste funzioni è necessario utilizzare il menu *View* e in particolare il modulo *Index Tools*. Sono possibili, quindi, operazioni quali:

1. il calcolo di diversi indici di vegetazione da immagini multispettrali;
2. l'estrazione di informazioni relative alle bande spettrali, con la possibilità di ottenere immagini monocromatiche delle singole bande;
3. l'estrazione di mappe di segmentazione delle coperture, distinguendo la vegetazione crescente dal suolo;
4. il *processing* di colore delle immagini multispettrali utilizzando matrici di colori definite dall'utente;
5. l'elaborazione delle immagini multispettrali in gruppo.

Nella scheda *Index* del modulo *Index Tools* si seleziona l'operazione o l'indice che si vuole eseguire:

- *NDVI*: calcola l'indice di vegetazione della differenza normalizzata (*Normalized Difference Vegetation Index*) delle bande del Nir e del rosso per l'immagine multispettrale attiva.

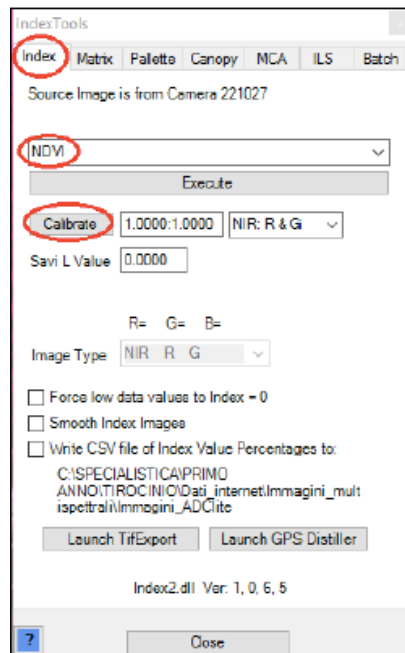


Figura 8. Calcolo NDVI nella scheda Index del modulo IndexTools.

Il software può essere calibrato per determinare qual è il bilanciamento spettrale della luce giornaliera ed affinare, in questo modo, il calcolo dell'indice selezionato. Per eseguire la calibrazione bisogna scattare, sotto le stesse condizioni di luce delle immagini, un'immagine completamente occupata della placca di calibrazione fornita con la camera; quindi bisogna visualizzarla con il software, selezionarla e premere il tasto *Calibrate*. Eseguendo il comando *Execute* viene calcolato l'indice di vegetazione NDVI per ciascun pixel e si ottiene in *output* una immagine dove ciascun pixel è colorato a seconda del valore corrispondente di NDVI.

A tal proposito, l'indice di vegetazione può essere visualizzato in scala di grigi (grigio più chiaro, valore dell'indice maggiore) oppure mediante un tavolozza di 17 colori da scegliere nella scheda *Paletta* del modulo *Index Tools*; è possibile anche rappresentare solamente un certo intervallo (scelto dall'utente) di valori di NDVI con la tavolozza di colori e inserire la legenda dei valori rappresentati. Nella figura 9, per esempio, in rosso sono indicate le aree edificate (strade e costruzioni), mentre le zone con copertura vegetativa maggiore sono visualizzate con livelli di blu via via più scuri.

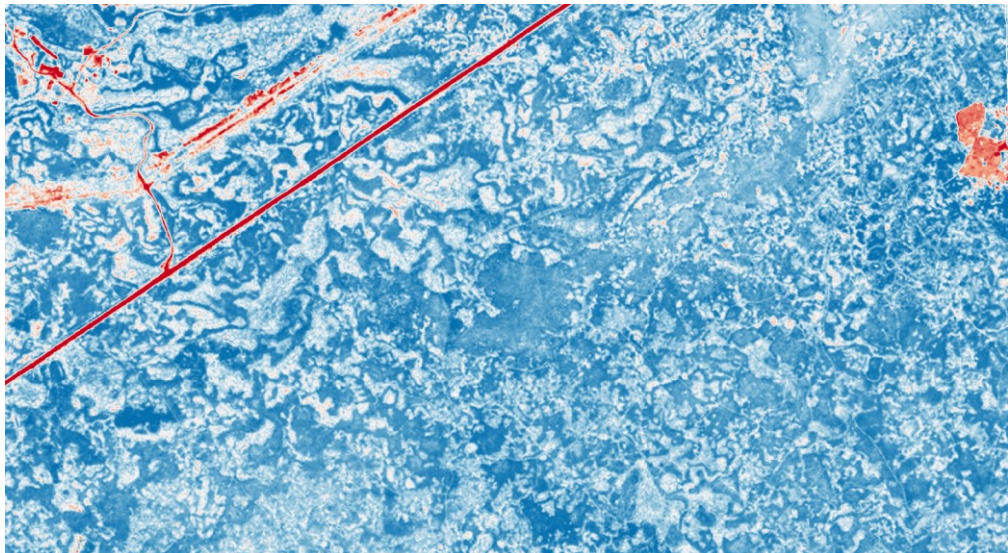


Figura 9. Visualizzazione dell'NDVI nelle contrade Santa Venera ed Edera.

Una volta eseguite le elaborazioni, il *software* consente l'esportazione delle immagini in molteplici formati, comuni ai principali programmi di *editing* delle immagini (BMP, JPG, JPEG, GIF, TIF, TIFF...).

Per la fase di elaborazione della classificazione si deve passare a QGIS, software che, come abbiamo visto, attraverso il plugin SCP (*Semi-automatic Classification Plugin*) permette l'esecuzione di classificazione supervisionate. Tale procedura richiede che sia definito a priori il numero e la natura delle classi che si intendono rappresentare nella mappa tematica scegliendo, come abbiamo visto in precedenza, *Training Areas* o *ROI*. Per la creazione di quest'ultime è necessario utilizzare il pannello SCP: *ROI creation* del plugin SCP.

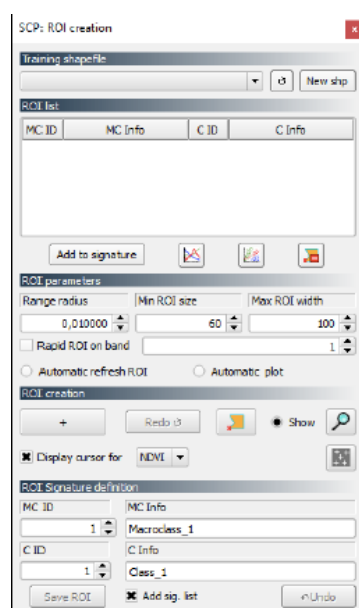


Figura 10. Pannello SCP: *ROI creation* del plugin SCP.

Le ROI sono poligoni che possono essere creati automaticamente con il comando *Activate ROI pointer* utilizzando un algoritmo di *region growing* con un click su un pixel dell'immagine (cioè il poligono della ROI è segmentata intorno ad un pixel seme); in questo modo le ROI create includono pixel spettralmente omogenei. In alternativa, le ROI possono essere create manualmente disegnando un poligono, tramite il comando *Create a ROI*.

Le ROI sono definite tramite la *Class ID*, la *Macroclass ID* ed ulteriori informazioni (*C Info* cioè una descrizione della classe). Il campo *Class ID* è un identificativo univoco per ogni classe di copertura del suolo. Una macroclasse è un gruppo di ROI aventi differenti *Class ID*, la quale è utile quando è necessario classificare materiali che hanno differenti firme spettrali all'interno della stessa macroclasse di copertura del suolo (ad esempio all'interno di un'ipotetica macroclasse vegetazione, si possono individuare le classi erba, alberi di ulivo, di mandorlo ecc.). Nel nostro processo di classificazione sono state individuate due classi principali, definibili come "capanna" e "muro"; nel caso di classificazione semi-automatica delle emergenze archeologiche affioranti, le ROI sono state prese dal muro di fortificazione di Santa Venera e da una struttura circolare probabilmente di epoca greca; nell'altro caso, invece, la coppia di ROI proviene dall'area prossima alla Strada Statale, dove sono portate alla luce le capanne bizantine con gli scavi del 2015. Ricordiamo come l'immagine WorldView selezionata sia precedente e, pertanto, gli edifici giacciono, seppur in parte, nel sottosuolo.

Relativamente alle firme spettrali, il plugin SCP di QGIS le calcola automaticamente dalle ROI una volta che queste sono aggiunte, sia in maniera automatica sia manuale, alla *Signature list*. Le firme spettrali possono, poi, essere visualizzate selezionando quelle da visualizzare e utilizzando il comando *Add highlighted signatures to spectral signature plot* nel pannello *SCP: classification* del plugin SCP.

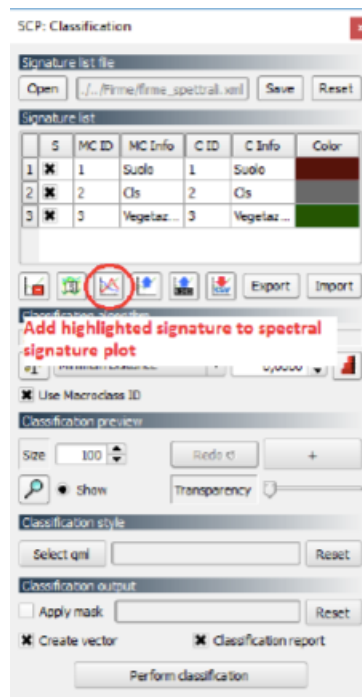


Figura 11. Comando *Add highlighted signatures to spectral signature plot* del pannello SCP: *Classification* del plugin SCP.

È anche possibile visualizzare i dettagli delle firme spettrali (*Signature details*) e anche le distanze spettrali (*Spectral distances*) tra le firme spettrali per valutare la separabilità spettrale.

Infine, definite le ROI e calcolate le rispettive firme spettrali si può passare all'esecuzione della classificazione. Come detto in precedenza, il plugin SCP implementa diversi algoritmi di classificazione, alcuni dei quali sono stati oggetto di trattazione nelle pagine precedenti. La prima scelta da effettuare è, quindi, relativa all'algoritmo che si vuole usare nel pannello SCP: *classification del plugin SCP*.

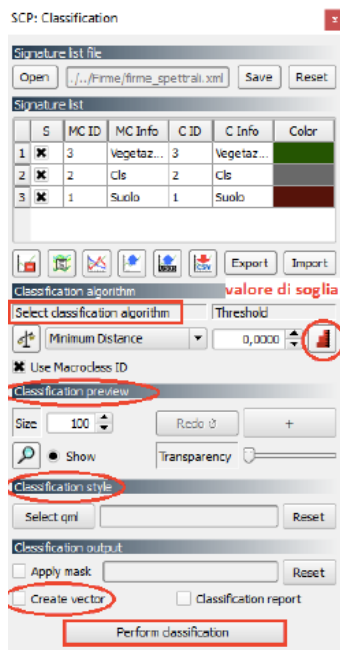


Figura 12. Comandi per eseguire la classificazione del pannello *SCP: Classification* del plugin SCP.

Come si vede dalla figura 12, è possibile visualizzare un'anteprima della classificazione e sceglierne le dimensioni, o inserire uno stile per la classificazione selezionando un file *style.qml*. La classificazione è lanciata attraverso il comando *Perform classification*; l'output principale, come abbiamo già detto, è un file raster.tif. In aggiunta al formato raster, è possibile creare lo shapefile della classificazione spuntando la *checkbox* *Create vector*, salvando così lo shapefile con lo stesso nome e nella stessa directory del file.tif.

Rimandiamo al prossimo capitolo per la presentazione dei risultati conseguiti attraverso le procedure di lettura manuale e di classificazione automatica.

CAPITOLO 9

9.1 CONTENUTO SEMANTICO DELLE IMMAGINI

Il presente capitolo è posto a conclusione del lungo processo che ha guidato la nostra indagine. Siamo passati attraverso momenti diversi quali la scelta, l'acquisizione, l'analisi e la classificazione delle immagini multispettrali e siamo giunti alla presentazione dei risultati conseguiti. Abbiamo scelto di analizzare, per la sua rilevanza generale, il rapporto tra le tracce individuate con la lettura manuale ed i canali (o gli indici di vegetazione) in cui esse sono enfatizzate, cercando di comprendere se vi sia qualche banda spettrale particolarmente favorevole per l'archeologia. Inoltre, oltre ai tentativi sperimentati di classificazione semi-automatica *pixel-based*, presentiamo specifici approfondimenti o su alcune tracce su cui abbiamo lavorato con più strumenti, o su tracce che rivestono una particolare importanza all'interno di una procedura post-dittiva.

Prima di addentrarci nella discussione, intendiamo precisare alcuni aspetti, pertinenti alla natura stessa dei risultati. Si badi bene, infatti, come al termine *risultato* non vada associato esclusivamente il mero dato archeologico conseguito, quale può essere la segnalazione di anomalie archeologiche, sicuramente individuate in alcune aree; all'interno dell'idea di risultato, rientra anche la grande esperienza fatta e il bagaglio, formato soprattutto dagli errori compiuti, che ci porteremo nelle prossime esperienze. Sarà, infatti, molto più facile grazie alle difficoltà affrontate, anche di carattere metodologico, pianificare e condurre nuove indagini in questo settore così particolare.

9.1.1 Parametri di identificazione delle anomalie

Il livello di successo della segnalazione nelle immagini⁵⁹⁰ di anomalie pertinenti a manufatti sepolti è strettamente correlato al grado di familiarità e conoscenza degli elementi da individuare; inoltre, è necessaria la comprensione delle dinamiche post-deposizionali che agiscono sulla visibilità delle tracce, archeologiche o non archeologiche che siano⁵⁹¹. La principale difficoltà riscontrata è causata dalla pressione, sempre costante, esercitata dal livello di antropizzazione nel territorio preso in esame. In particolare, i terreni di Galatese sono intensamente sfruttati per scopi agricoli, il corso dei torrenti sottoposto a numerose opere di irreggimentazione, e nuovi edifici stanno sorgendo nell'area, rischiando di obliterare per sempre l'anomalia e la possibile struttura sepolta.

Per evitare di cadere nelle c.d. false tracce, il primo approccio è consistito nel tentativo di comprendere pienamente le caratteristiche globali del paesaggio e degli elementi che rientrano nelle immagini. In questa ottica, un grande aiuto proviene dal ricorso agli strumenti cartografici di cui si dispone; il confronto, per esempio, con il tipo di vegetazione o coltivazione osservabile attraverso il

⁵⁹⁰In questo caso, importa relativamente se si tratta di foto aeree storiche, foto oblique o immagini multispettrali.

⁵⁹¹Vedi WILSON 2000, pp. 210-224.

ricorso alla funzione multi-temporale di *Google Earth* permette di notare come il cambio di coltura determini la nascita di una serie di anomalie, chiaramente visibili, ma non archeologiche. Naturalmente, con esito opposto, la mancanza di tali trasformazioni può costituire un ulteriore fattore di conferma della presenza di un manufatto archeologico sepolto nell'area.

Sempre a carattere generale, le tracce individuate possono essere distinte in contesti affioranti e contesti ipogei. Nel primo caso, siamo in presenza di strutture che, seppur in minima parte, affiorano, avendo conservato un elevato più o meno ridotto; tale tipologia può essere, quindi, osservate direttamente e le tecniche utilizzate servono a separare in maniera più chiaro il suolo o la vegetazione dalla struttura archeologica. Nel secondo caso, avremo, invece, costruzioni ipogee che non possono essere osservate direttamente, ma la cui presenza è segnalata, in maniera indiretta, da una serie di indizi: micro-rilievi, copertura vegetale, umidità. Proprio perché si tratta di una deduzione proveniente dall'analisi di altri fattori, costituisce un fattore importante la scelta del periodo migliore in cui concentrare l'individuazione di tracce. Non sempre è possibile sfruttare le migliori condizioni di visibilità possibile, soprattutto in quanto esse si limitano ad un periodo cronologicamente limitato. Riferendoci alla visibilità legata alla vegetazione, il momento più adatto sarebbe l'inverno, ma nel nostro caso, trattandosi di un contesto montano, le immagini satellitari sarebbero state coperte, con buona probabilità, dalle nuvole. Pertanto, come già spiegato, l'immagine multispettrale risale ad aprile, momento contraddistinto dal risveglio primaverile. Tale scelta ha portato a privilegiare l'applicazione degli indici di vegetazione per evidenti motivi.

Da un punto di vista ontologico, l'identificazione delle anomalie segue i tradizionali parametri propri della fotointerpretazione⁵⁹²:

- Forma; essa è definita il contorno della struttura che giace nel sottosuolo. Come vedremo, lavorando in ambiente GIS sono state distinte due grandi tipologie: anomalie lineari, come partizioni agrarie antiche o moderne, canali, possibili strade; anomalie spaziali, con superfici di forma ed estensione diversa come vani, edifici circolari, ville, muri di enclosures, pozzi⁵⁹³. Naturalmente, si tratta di uno dei parametri principali per il riconoscimento delle tracce e per la loro interpretazione funzionale e tipologica.
- Dimensione; attraverso il ricorso ai programmi GIS (QGIS nel nostro caso) è facilmente calcolabile l'estensione, nelle tre dimensioni, della superficie dell'anomalia.
- Colore; poiché il lavoro condotto corrisponde, in questo caso, a un'analisi visiva, le variazioni di colore sono la rappresentazione di modifiche della superficie che si sta osservando. Si tratta, quindi, di un fattore determinante nella lettura delle immagini multispettrali, e non a caso le

⁵⁹² Per esempio MALAGOLI 2002, pp. 35-40; PICCARRETA-CERAUDO 2000, pp. 99-128.

⁵⁹³ Un approccio simile in CAMPANA 2002, p. 182.

tecniche di miglioramento del colore (o anche indici di vegetazione) costituiscono un passaggio prodromico di grandissima importanza;

- Struttura; si tratta della possibilità di leggere l'articolazione interna dell'unità individuata. Chiaramente, la percezione della struttura consente la formulazione di ipotesi più precise e puntuali su quanto osservato, ma, purtroppo, essa è difficilmente riscontrabile;
- Tessitura; fondamentale quando si è in possesso di immagini con un livello di dettaglio scarso o molto scarso; una discontinuità nella trama regolare della vegetazione potrebbe, per esempio, indicare l'esistenza di un'anomalia altrimenti illeggibile;
- Elementi connessi; rientrano in questa ultima categoria tutti gli elementi che rientrano e si relazionano con l'immagine.

Su questi presupposti, un vero e proprio 'paradigma indiziario' citando Ginzburg⁵⁹⁴, si è proceduto utilizzando il metodo di Sherlock Holmes. Come abbiamo visto nel capitolo dedicato all'archeologia predittiva e postdittiva, in realtà, più che un metodo deduttivo quello usato dal noto *detective* è un metodo ipotetico-congetturale⁵⁹⁵. Superando la questione epistemologica, nel nostro caso la difficoltà principale risiede nella difficoltà di ricondurre gli indizi ai tipi. Nel resto d'Europa esistono dei veri e propri repertori dove sono illustrati casi-tipo e tipologie in funzione di archi cronologici e contesti ambientali differenti. Si tratta, pertanto, di atlanti, sostanzialmente simili a quelli ceramografici, che permettono di identificare capanne, strutture funerarie, edifici pubblici, villaggi ecc...partendo dai parametri prima menzionati, soprattutto tramite forma e dimensioni. Per l'Italia, l'unica opera in qualche modo paragonabile è l'Atlante dei Siti d'altura della Toscana, progetto portato avanti nel corso degli anni dall'Università di Siena, ma rimasto sostanzialmente inedito. Si tratta, naturalmente, di uno strumento calibrato per un contesto specifico e assai peculiare e che, pertanto, non può servire da supporto per la nostra ricerca.

Abbiamo concluso la nostra analisi sulle immagini multispettrali senza avere a disposizione, pertanto, un valido confronto sulle tipologie a cui ricondurre le anomalie ritenute di carattere archeologico. L'identificazione dei possibili tipi archeologici si è basata, di conseguenza, sull'intuizione dell'operatore, supportata nella maggior parte dei casi dal confronto con gli specialisti dell'ambito cronologico a cui si pensa possa risalire la struttura individuata. Si tratta, ovviamente, di un modo di procedere molto soggettivo, che risente del livello di conoscenza del singolo archeologo. Purtroppo, nelle more della creazione di procedure standardizzate, tale scelta era l'unica possibilità che si presentava.

⁵⁹⁴ Si tratta, in sostanza, di uno studio che parte dagli indizi, un approccio metodologico comune ad altre discipline come la storia dell'arte (per esempio Morelli e il suo metodo attribuzionistico nello specifico); GINZBURG 1979, pp. 57-106.

⁵⁹⁵ La celebre deduzione con cui Holmes risolve il caso più spinoso è chiamato dai filosofi della scienza abduzione (definizione di Charles Sanders Peirce).

9.1.2 Identificazione delle anomalie: tipologie e origine

Accostandoci al processo di foto-interpretazione ci siamo mossi con grande cautela, consci della ricchezza di informazioni e false tracce che ogni foto presenta. Il contesto ambientale da noi scelto, inoltre, esalta per una serie di motivi la definizione stessa di contesto ambientale di origine palinsestica. Pertanto, il primo passo è stato il tentativo di comprensione del paesaggio inteso nella sua globalità. Nessuno ha una conoscenza e un'esperienza tale da poter con certezza individuare e analizzare ogni aspetto presente in una foto, aerea o multispettrale che sia: troppo vasto è il potenziale euristico del documento. Molto saggio il monito che ricorda come «*l'archeologo foto-interprete si deve attenere al proprio campo specifico, con l'obiettivo di riconoscere e comprendere la propria gamma di elementi*⁵⁹⁶».

In un primo momento, pertanto, sono state schedate e restituite tutte le anomalie individuate; tale operazione ha comportato la creazione di un database in cui esse sono state distinte con un *id*, indicando la tipologia (lineare o spaziale) e riportando la banda (o le bande) e/o le tecniche di *enhancement* che ne favoriscono la visualizzazione. Seguendo tale procedura è stato raccolto un campione assai significativo, stimato in circa duecento anomalie, di cui soltanto una minima parte attribuibile a elementi archeologici. Numerose e assai comuni sono, infatti, le tracce geologiche o dovute a fenomeni recenti che possono manifestarsi come tradizionali *soil-mark* o *crop-mark*. Come per quelle propriamente archeologiche, non esiste un atlante che racchiuda i casi più ricorrenti di fraintendimento per l'archeologo foto-interprete. Nonostante la mancanza di uno strumento organico, la letteratura scientifica in lingua italiana offre qualche aiuto⁵⁹⁷, sicuramente da consultare sebbene sia chiaro che, a causa della ricchezza tipologica del paesaggio italiano, non è sempre facile generalizzare.

Premettiamo che nel territorio oggetto della presente tesi di dottorato, da un punto di vista topologico, si distinguono chiaramente due contesti ambientali molto diversi forieri, di conseguenza, di anomalie appartenenti a categorie differenti. Nel caso di Galatese, si tratta delle tradizionali tracce che fanno postulare l'esistenza di strutture ipogee, mentre nel caso di Santa Venera la natura vulcanica del terreno rende impossibile la formazione di *crop* o *soil-mark*; le strutture archeologiche, infatti, affiorano seppur di poco dalla superficie e, pertanto, la principale difficoltà del foto-interprete consiste nel discernere l'anomalia meramente antropica da quella propriamente archeologica. Presentiamo alcuni significativi esempi così da rendere più facile la comprensione di quanto scritto.

Nella TAV. XXI, abbiamo riportato due immagini, una con il NIR e l'altra con elaborazione RGB, dove appare molto chiaramente un'anomalia spaziale circolare individuata in contrada Galatese lungo il torrente Martello. Le dimensioni complessive e la stessa forma potrebbero far pensare a una traccia

⁵⁹⁶ MUSSON *et al.* 2005, p. 110.

⁵⁹⁷ *Ibidem*, pp. 110-114; PICCARRETA-CERAUDO 2000, pp. 124-128.

di origine archeologica, magari a un tumulo o, comunque, una struttura funeraria. L'estrema vicinanza con una grande cisterna è apparsa subito sospetta e da un rapido controllo con la CTR è stato fugato ogni dubbio; si tratta, infatti, di un'anomalia dovuta all'interramento di un sistema idrico, un grande contenitore circolare, che appare indicato nella cartografia comunale. Tale identificazione ha permesso di escludere dal rango delle anomalie archeologiche altre tracce che riproponevano la medesima articolazione.

A testimonianza della complessità delle stratificazioni diacroniche e sincroniche che si celano nel paesaggio oggetto di indagine presentiamo la TAV. XXII. In una sola schermata, in poche centinaia di metri è individuabile una ricchezza di anomalie di differente origine e forma: ritorna una traccia circolare appartenente alla tipologia già descritta, ne compaiono altre dovute a cambiamenti nella coltivazione⁵⁹⁸, altre, infine, di cui non si è in grado di dare spiegazione ma che non presentano comunque una logica archeologica.

Altrettanto numerose sono state le anomalie lineari classificate per l'area di Galatese. Anche in questo caso, l'archeologo deve stare molto attento ad alcuni particolari. In linea di massima, tale tipologia di anomalie può essere erroneamente scambiata con un asse viario antico, romano nella maggior parte dei casi italiani. Per evitare il fraintendimento è opportuno sempre controllare il rapporto che tali linee hanno con i poderi e i loro luoghi di accesso. Molto spesso, infatti, la traccia curva o cambia direzione in maniera netta in presenza di un vecchio limite di un campo. Tale è il caso che si presenta nella TAV. XXIII, dove si vede in maniera assai chiara la curva descritta dall'anomalia, apparentemente senza senso ma in realtà un indicatore dell'esistenza di precedenti limiti agrari adesso modificatisi.

Il quadro delle anomalie individuate nella seconda macro-area non rientra nelle tradizionali categorie, come già accennato. La conformazione geo-morfologica del terreno, un *plateau* basaltico risalente ad una colata di circa 25mila anni fa, non permette la distinzione tra terreni più chiari o più scuri a causa del limitato interro. Proprio quest'ultimo elemento fa sì che le murature delle strutture archeologiche affiorino dalla superficie per larghi tratti. Tale peculiare caratteristica comporta alcune insidie, superabili soltanto attraverso la necessaria azione di verifica a terra delle anomalie individuate. Distinguere, infatti, la fattura di un muro segnalato come anomalia è nella maggior parte dei casi impossibile. L'unico aiuto può venire dalla presenza di simmetrie o dalla riproposizione di schemi dimensionali ricorrenti. Per esempio, nella TAV. XXIV abbiamo individuato alcuni muri, dall'andamento curvilineo, che corrono paralleli a distanza costante; la ricorrenza di questo modello per lunghi tratti ha permesso di identificare tali anomalie come i percorsi utilizzati dagli allevatori e dai contadini per raggiungere i diversi fondi della contrada.

Come dicevamo, in mancanza di tali fattori, soltanto la verifica *de visu* delle strutture segnalate può dirimere l'attribuzione. Diciamo *può* perché, in realtà, anche la ricognizione potrebbe non essere

⁵⁹⁸ Lo sradicamento e la sostituzione di una vecchia coltivazione, come succede sempre più spesso con gli agrumeti, così diffusi nel nostro territorio, lascia degli evidenti segnali; si notano, in particolare, dei piccoli cerchi in corrispondenza dell'albero e una generale enfaticizzazione della linea su cui erano stati piantati.

dirimente: la tecnica costruttiva impiegata è rimasta immutata nei secoli e, naturalmente, lo stesso è avvenuto con il materiale usato (pietra lavica). Nel caso sia impossibile definire l'ambito cronologico dell'anomalia lineare, soltanto la possibilità di condurre accurati scavi archeologici può eliminare ogni ragionevole dubbio nella mente del foto-interprete. Riportiamo, a tal proposito, il caso della struttura muraria segnalata nella TAV. XXV. Essa è localizzata a Nord della strada statale, in contrada Balze Soprane e corre, in direzione N-S, attraversando il pianoro lavico. Non sono presenti simmetrie o altri elementi che possano spingerci verso un'interpretazione legata a strade o a elementi di raccordo tra parcelle agrarie diverse. L'unica pezza di appoggio per non naufragare in un mare di supposizioni è il possibile rapporto/allineamento con altre strutture murarie presenti in zona. Nel caso specifico, la traccia lineare sembra essere l'esatta continuazione della grande struttura muraria che attraversa contrada Santa Venera. Purtroppo la folta vegetazione non permette di riconoscere con chiarezza se il tratto individuato sia a doppio paramento o se sia formato da un unico filare.

9.1.3 Identificazione delle anomalie: casi studio

Per meglio comprendere l'apporto di ogni strumento impiegato, le tecniche e la loro integrazione nonché la molteplicità di difficoltà che ogni contesto ambientale e archeologico cela, presentiamo alcuni casi studio. Per ognuno di essi, saranno brevemente ricordate le caratteristiche topografiche dell'area su cui insistono, il contesto archeologico (qualora sia disponibile) e saranno avanzate le possibili interpretazioni delle tracce e, infine, analizzati i fraintendimenti più ricorrenti che caratterizzano la foto-interpretazione.

1. *Anomalia spaziale da Fondaco-Galatese (macroarea 1)*

Il podere si trova nella terrazza fluviale di Galatese, quasi a valle, in prossimità del letto del Saracena e a poca distanza dal piccolo nucleo abitato di Fondaco (TAV. XXVI). Il terreno è proprietà privata, recintato per la maggior parte del suo perimetro e coltivato in maniera non intensiva; per fortuna, la maggior parte dell'area non è coperta da alberi e l'abitazione è di piccole dimensioni.

Le ricognizioni dell'*Upper Simeto Valley Project* non avevano interessato questo settore della pianura, concentrandosi invece nella parte centro settentrionale di Galatese o nella vicina contrada Vaccheria-Boschetto. Nonostante ciò, era stato segnalato dal personale della Soprintendenza⁵⁹⁹ il rinvenimento, durante lavori edili, di alcuni frammenti di rara ceramica Sigillata Tardo-Italica, databile alla prima età imperiale, e di «*uno strato con strumenti di ossidiana appartenente alla preistoria*⁶⁰⁰».

L'analisi delle immagini multispettrali ha permesso di individuare una serie di anomalie di grandissimo interesse. Esse risultano visibili sia con RGB che con il Red Edge. Quest'ultimo, come

⁵⁹⁹ PRIVITERA 2009, p. 525.

⁶⁰⁰ *Ibidem.*

abbiamo avuto modo di vedere, è uno dei canali più utili per la ricerca di anomalie archeologiche grazie alla sua caratterizzazione spettrale.

La traccia più leggibile ha una forma a metà strada tra un rettangolo e un ovale, visto che curva leggermente sul lato corto posto a Ovest; inoltre, nell' 'angolo' di Sud-Est si distingue una circonferenza, leggibile quasi nella sua totale interezza. Il secondo gruppo di anomalie è attiguo al primo, ma si trova leggermente più a Est. Purtroppo, la maggiore presenza di alberi in questa porzione del terreno causa qualche difficoltà nella ricostruzione del perimetro della seconda struttura; per quanto ci è possibile vedere, essa è ovoidale e presenta almeno due ulteriori anomalie circolari assimilabili a quella posta nei pressi dell'angolo SE della struttura 1. (TAV XXVII-TAV XXVIII).

Un dato che ci sembra importante sottolineare è la mancanza di corrispondenza tra le tracce individuate e la suddivisione delle parcelle agrarie; infatti, l'anomalia lineare attraversa campi coltivati, campi arati e altri lasciati sostanzialmente incolti. Inoltre, essa non sembra essere in relazione con la presenza di alberi. Lo spazio inscritto all'interno di alcune piccole anomalie circolari è effettivamente alberato, ma sembrerebbe trattarsi di una semplice coincidenza; non tutti gli alberi, infatti, sono circondati da tracce circolari e non tutte le tracce circolari hanno alberi all'interno. Inoltre, la superficie di ognuna di esse non varia, da quanto ci è possibile vedere, al variare delle dimensioni dell'albero, ma resta sostanzialmente costante (area di 45mq e diametro di circa 7m). La visibilità dell'anomalia già con l'RGB (quindi all'interno dello spettro del visibile) indica un eventuale interro delle strutture davvero ridotto. Per quanto concerne l'analisi delle dimensioni, le due strutture occuperebbero un'area complessiva di circa mezzo ettaro; il primo 'recinto' ha dimensioni di 70x50m, il secondo lunghezza inferiore e prossima ai 50m⁶⁰¹.

Il più grande dubbio è che l'anomalia discussa possa essere una sorta di pista, continuamente percorsa da mezzi agricoli o generata da un sistema d'irrigazione (soprattutto le anomalie circolari intorno agli alberi). Le foto "storiche" rese disponibili da Google Earth evidenziano, in effetti, alla metà del decennio scorso una traccia simile, sebbene non perfettamente coincidente con la nostra, la cui origine è certamente da mettere in relazione con lo sfruttamento agricolo del podere.

Sulla base della forma così particolare, delle dimensioni dell'anomalia e di quella che sembrerebbe esserne la partizione interna avanziamo, in via ipotetica, l'idea che si possa trattare di un villaggio trincerato di età neolitica. La traccia lineare così ben visibile sarebbe da interpretare, seguendo questa ipotesi, nel muro di fortificazione (o nel fossato) che contraddistingue archeologicamente gli insediamenti di quel periodo; le anomalie circolari andrebbero identificate come alcune delle capanne che costituivano il villaggio.

A tal proposito, non serve ricordare l'importanza rivestita dall'accoppiata villaggio neolitico-fotografia aerea nella storia dell'aero-fotointerpretazione. Al di là dell'ovvio riferimento al Tavoliere e ai grandi pionieri della disciplina, la fascia pedemontana dell'Etna, in particolare la media valle del

⁶⁰¹ Il calcolo è stato effettuato sfruttando le potenzialità offerte dal lavoro in ambiente GIS.

Simeto, era densamente popolata durante la *facies* stentinelliana. Sono stati individuati numerosi villaggi nei pressi di Paternò, in località Trefontane, Poggio Rosso, Fontana di Pepe e nelle vicinanze della masseria Cafaro⁶⁰².

Inoltre, l'estensione della superficie ricadente all'interno dell'anomalia è perfettamente confrontabile con quella degli altri villaggi neolitici noti in Sicilia⁶⁰³, ad eccezione di Stentinello, di dimensioni maggiori⁶⁰⁴ come è lecito attendersi dal sito più importante dell'isola. Se la nostra lettura fosse corretta, la presenza di un doppio fossato andrebbe inquadrata all'interno del fenomeno definito in letteratura come *flat extended settlement*, ampiamente noto grazie ai numerosi contesti neolitici balcanici⁶⁰⁵.

Il posizionamento topografico, un pianoro sito nelle vicinanze di un corso d'acqua, nonché il rinvenimento effettuato dalla Soprintendenza di Catania di reperti dell'industria litica del neolitico rappresenterebbero ulteriori indizi a supporto dell'identificazione.

Naturalmente la ricerca dell'anomalia in immagini multispettrali scattate in periodi differenti o l'impiego di strumenti di verifica non invasivi come sensori termici, georadar o magnetometri potrebbe costituire la *smoking gun*, la prova decisiva in un senso o nell'altro.

2. Anomalie lineari e spaziali dall'area del c.d. foro di Galatese

Il secondo caso studio proviene sempre dalla macro area 1, in particolare da contrada Galatese. La zona è situata lungo il corso del torrente Martello, e alterna terreni coltivati (e alberati) in maniera intensiva con altri lasciati sostanzialmente incolti (Tav. XXIX). Le ricognizioni hanno qui identificato una serie di siti⁶⁰⁶, numerati in maniera differente soltanto perché insistono su proprietà diverse; la lettura avanzata dal *team* inglese è infatti unitaria e riconosce in questo spazio un settore centrale, definito foro, dell'insediamento urbano (Tissa?) identificato a Galatese. La ricognizione ha permesso, infatti, di raccogliere una grande abbondanza di manufatti, soprattutto ceramica fine da mensa di produzione orientale e africana.

Purtroppo, il terreno del sito n. 123 è un frutteto e, pertanto, le possibilità di individuazione di probabili anomalie archeologiche risulta gravemente inficiata dalle folte chiome degli alberi. In questo caso, sarebbe stato assai utile il ricorso a un sensore termico montato su un UAV. Tra l'altro, il terreno

⁶⁰² Per le stazioni di Trefontane e Poggio Rosso vedi CAFICI 1915; CAFICI 1920 per Fontana di Pepe.

⁶⁰³ Per la Sicilia Occidentale vedi l'insediamento di Piano Vento in TUSA 1999, p. 203; per il fossato di Stretto-Partanna, largo al massimo due metri ma profondo oltre dieci, TUSA 1999, p. 206. Nella Sicilia Orientale, oltre a Stentinello, sono noti, per l'area siracusana, i siti di Megara, Matrensa e Ognina; si tratta di villaggi trincerati, posti tutti lungo la costa. Per i caratteri generali insediativi vedi TUSA 1999, pp. 169-171.

⁶⁰⁴ Primi scavi in ORSI 1890 e ORSI 1910; più recenti quelli editi da TINÈ 1961.

⁶⁰⁵ «Communities on flat/extended sites in Greece have been perceived as practicing small-scale cultivation on small fields, or fields opened on newly cleared woodland», ALLEN 2017, p. 247.

⁶⁰⁶ Nello specifico si tratta dei siti n. 121 (UT 1081), 122 (UT 1084), 123 (UT 1086), 124 (UT 1088) e 125 (UT 1111).

compreso tra la strada e il sito n. 123 è stato oggetto di una restituzione fotogrammetrica seguita a un sorvolo effettuato con drone; disponiamo, già, di una griglia topografica ben calibrata in cui andrebbero inseriti solo i dati provenienti da una camera termica. In mancanza di essa, si è ritenuto insoddisfacente l'impiego delle immagini del canale termico del Landsat 6; la risoluzione spaziale di 60m non è congeniale alle nostre esigenze e la vicinanza con il bacino idrico del torrente Martello costituisce un ulteriore disagio.

Allargando il campo d'indagine, è possibile ottenere un risultato migliore. In particolare, proprio il campo sopra cui ha volato il Phantom attira la nostra attenzione per le numerose irregolarità nella tessitura della copertura vegetale, evidenti sia attraverso l'applicazione degli indici di vegetazione⁶⁰⁷ (in questo caso SAVI/MSAVI, NDVI e MSR) che nel *Red Edge* e RGB. Si tratta, in prima battuta, di anomalie lineari, di cui, purtroppo, sfuggono forma e dimensione (TAV. XXX-XXXI); nell'immagine ottenuta con l'applicazione del MSR (*Modified Simple Ratio*) e SAVI (*Soil-adjusted vegetation index*) è enfatizzata la presenza di almeno una struttura di forma circolare, posta quasi al limite dell'area. La complessa lettura delle immagini in nostro possesso nonché la mancanza di dati provenienti da sensori termici non permette, in questo momento, di essere certi dell'appartenenza della traccia individuata alla classe delle anomalie archeologiche.

3. *Anomalia spaziale da contrada Edera*

Il terzo caso-studio ci permette di assumere un approccio diverso all'analisi delle immagini multispettrali. La zona oggetto di studio rientra nella seconda macro-area, e presenta caratteri ambientali e geologici assai diversi rispetto a Galatese; come abbiamo avuto già modo di osservare⁶⁰⁸, contrada Sciare di Santa Venera e contrada Edera costituiscono un pianoro lavico omogeneo, su cui cresce vegetazione di tipo steppico. La strada statale separa i territori poc'anzi citati con Balze Soprane e Sottane, poste a Nord dell'importante arteria. Gran parte dell'area ricade all'interno del Demanio Forestale e pochi sono i terreni privati provvisti di recinzione. Gli unici edifici presenti sono le rarissime casupole ottocentesche, che fungevano da momentanei luoghi di ristoro per gli agricoltori e gli allevatori, e le due masserie, costruite dagli eredi dell'ammiraglio Nelson per gli affittuari che coltivavano i campi.

La ricerca archeologica ha individuato, a più riprese, molteplici murature antiche, pertinenti a edifici datati all'età greca (VI-IV secolo a.C) e capanne bizantine (VIII-IX secolo); gli scavi finanziati tramite il PO-FERS 2007-2015 hanno permesso una più precisa comprensione della cronologia e delle dinamiche insediative. Le immagini multispettrali che abbiamo acquistato fotografano la situazione dell'intera area in un momento anteriore (Aprile 2013) alla realizzazione degli scavi. In virtù di queste

⁶⁰⁷ Per gli indici di vegetazione vedi il paragrafo appositamente dedicato nel capitolo sul trattamento digitale delle immagini.

⁶⁰⁸ Vedi il capitolo sull'inquadramento geografico e geologico delle due aree.

premesse, il nostro lavoro è consistito nella ricerca di anomalie affioranti e non invece ipogee come a Galatese. In particolare, è stata approfondita l'analisi dell'area in cui gli scavi hanno rivelato l'esistenza di un edificio a L di epoca greca⁶⁰⁹. Tale scelta è stata effettuata per ottenere una valutazione più precisa degli strumenti da noi utilizzati; qualora lo scavo non fosse stato eseguito, la traccia sarebbe stata visibile? Se sì, quale tecnica l'avrebbe maggiormente enfatizzata? Si tratta, in sostanza, di una sperimentazione post-dittiva, molto utile per avere piena coscienza del potenziale e dei limiti delle metodologie applicate. L'obiettivo è la comprensione dell'esistenza o meno di specifici legami tra anomalie osservate tramite *remote-sensing* ed evidenze archeologiche con livello di *ground-truth* massimo in quanto già scavate.

Se questo erano le premesse metodologiche, vediamo quali sono stati i risultati.

L'edificio di cui abbiamo cercato le tracce ha dimensioni assai limitate, circa 14x7m per 98 mq, soprattutto se si rapporta tale superficie con l'estensione dell'intera contrada, grosso modo pari a 130 ettari (1300 kmq). Peggio di dover cercare il famoso ago nel pagliaio. Abbiamo lavorato utilizzando tutte le bande disponibili e applicando i principali indici di vegetazione. La struttura che stavamo cercando appare nel margine inferiore della TAV. XXXII, dove abbiamo scelto di inserire il canale che la enfatizza di più e l'indice di vegetazione più utilizzato in letteratura, l'NDVI. Il risultato è abbastanza chiaro; abbandonando il *senno del poi*, possiamo affermare che, passando al setaccio l'immagine multispettrale e utilizzando lo strumento più idoneo, l'anomalia, probabilmente sarebbe stata individuata, nonostante le ovvie difficoltà. Infatti, l'impiego degli indici di vegetazione non sembra fornire un aiuto consistente; risulta praticamente impossibile leggere nella piccola macchia di colore chiaro un'anomalia archeologica. Però, nel caso la traccia fosse stata segnalata, sarebbe stato poi difficile ignorarne la natura: le forme, le dimensioni e la partizione interna costituiscono fattori in grado di agevolare notevolmente la lettura (TAV. XXXIII). Inoltre, in questo caso, i parametri menzionati avrebbero eliminato il rischio, assai ricorrente in questo territorio, di collegare la traccia spaziale ad uno degli edifici ottocenteschi.

4. Anomalia lineare da contrada Santa Venera

L'ultimo esempio che analizziamo in dettaglio si differenzia dal caso dell'edificio n.10 principalmente perché la traccia analizzata è lineare e non spaziale. L'oggetto della ricerca post-dittiva è stato il lungo muro di *enclosure*, di datazione incerta, che corre per circa due chilometri tra contrada Santa Venera (per lo più) e Balze Soprane. La struttura, a doppio paramento, in alcuni tratti presenta un alzata superiore al mezzo metro (TAV. XXXIV), mentre in altri le manomissioni agricole ne fanno quasi perdere ogni traccia.

⁶⁰⁹ Definito edificio n. 10 dagli scavatori, e ritenuto una fattoria datata al VI-V secolo a.C. Per maggiori dettagli vedi il paragrafo dedicato alla storia della ricerca archeologica.

Il risultato ottenuto dall'analisi dell'immagine multispettrale è molto simile al caso precedente (TAV. XXXV). L'anomalia è chiaramente leggibile, come traccia da micro-rilievo, soprattutto con il NIR (TAV. XXXVI). Vale la pena notare come applicando l'NDVI l'andamento del muro sia tutto sommato distinguibile, ma esso scompare del tutto in presenza delle aree con valori dell'indice di vegetazione più alti (nell'immagine le zone con colori più chiari).

Le principali difficoltà che sarebbero emerse una volta segnalata l'anomalia avrebbero avuto a che fare con l'interpretazione complessiva della traccia. Infatti, il paesaggio oggetto d'indagine è un vero e proprio palinsesto stratificato, un'intricata sovrapposizione di segni e tracce diacroniche, dove non è sempre facile distinguere gli allineamenti casuali da quelli antropici, e quelli genericamente antropici da quelli archeologici. Sono ben visibili, infatti, una buona quantità di anomalie lineari attribuibili, in larga maggioranza, alle partizioni agrarie dei campi (TAV. XXXVII). Bisogna ricordare, infatti, come le proprietà della Ducea di Nelson si estendessero ben oltre le contrade Santa Venera o Edera (dove sono presenti, infatti, delle masserie) e, a seguito delle riforme agrarie che si succedettero a partire dagli anni Cinquanta, i terreni furono parcellizzati e messi in vendita.

9.1.4 Tentativi di classificazione

Presentiamo adesso i risultati preliminari di una classificazione *pixel-based*⁶¹⁰ elaborata nella fase conclusiva del triennio.

In generale, la produzione di carte tematiche costituisce uno degli obiettivi più importanti nelle applicazioni del Telerilevamento. Come abbiamo visto nel capitolo precedente, esistono due metodi di classificazione: supervisionata e non supervisionata. La differenza principale è insita nel soggetto che opera la scelta delle categorie (e dei *Training pixels*): nel primo caso è l'operatore, nel secondo è il *software* stesso che, attraverso il procedimento chiamato *clustering*, suddivide autonomamente i pixel. La classificazione che presentiamo inizialmente è del primo tipo, pertanto l'operatore ha esercitato un controllo diretto e costante sull'intera procedura. Nonostante tale tecnica abbia trovato, almeno fino ad adesso, uno spazio limitato in ambito archeologico, abbiamo deciso di testarne l'approccio nella speranza di accorciare enormemente il costo, inteso come tempo ed energia, richiesto da ogni lettura manuale di immagini tele-rilevate ottenendo, naturalmente, dei risultati finali migliori o almeno comparabili.

Ci siamo già ampiamente soffermati sui programmi utilizzati, tutti *open-source*, nonché sugli specifici passaggi tecnici, pertanto rimandiamo alle pagine precedenti per i dettagli. L'area oggetto di classificazione supervisionata è la macro-area numero due, dove sono note e ben localizzate diversi contesti archeologici. La presenza di strutture antiche riveste una particolare importanza per un

⁶¹⁰ Com'è noto, esiste anche l'approccio *object-based*, fondato su principi completamente diversi e assai innovativi. Le applicazioni in ambito archeologico sono state già discusse all'interno del capitolo sull'archeologia predittiva e post-dittiva.

duplice aspetto. Per prima cosa, le murature che affiorano dalla superficie sono state utilizzate per la scelta delle due ROI e quindi delle due classi alla base della classificazione; inoltre, esse costituiscono i punti *ground-truth* con i quali stimare il margine di errore della classificazione.

Tornando alle ROI nello specifico, i pixel dei *training sites* sono quelli che insistono nell'area delle capanne bizantine⁶¹¹ (classe definita come '*capanna affiorante*') e del muro di *enclosure* (classe definita '*muro affiorante*'), nel tratto in cui esso è tagliato dalla strada. Definite le ROI, abbiamo applicato il *Minimum Distance*, ovvero l'algoritmo di classificazione parametrica, che ha calcolato la media dei *Digital Number* di ogni pixel di ogni *signature* (firma). Il prodotto finale è quello presentato nelle due immagini della TAV. XXXVII. Il risultato ideale avrebbe dovuto enfatizzare la lettura delle anomalie antropiche, archeologiche o moderne che fossero. Si sperava, cioè, che la firma spettrale del materiale con cui sono state costruite le strutture antiche potesse permetterne il rapido riconoscimento attraverso il raggruppamento dei pixel nelle due classi già definite. Com'era lecito attendersi, la difficoltà principale si trova nel momento di definizione delle ROI. Infatti, in condizioni ottimali, dovrebbe sussistere un'identificazione univoca dello specifico valore della firma spettrale. Nel nostro caso, però, tale caratterizzazione è assai difficile da ottenere, in quanto il valore preso come modello identifica in generale la pietra lavica e non, ovviamente, solo quella lavorata. Poiché ci troviamo in un pianoro vulcanico ecco che all'interno della classificazione entrano anche pixel che non dovrebbero essere visualizzati, come per esempio quelli di qualche cresta rocciosa affiorante. È chiaro, pertanto, che qualora le murature antiche fossero state in marmo (*sic*) o in opera laterizia o comunque in un qualsiasi materiale completamente diverso rispetto a quello presente nell'ambiente il risultato sarebbe stato notevolmente migliore. Avendo chiarito gli evidenti limiti dell'approccio e la necessità (e la voglia) di affinare meglio la procedura⁶¹², passiamo alle note positive presenti. Considerando la natura più che sperimentale della procedura⁶¹³, i risultati non sono così negativi come l'impatto iniziale con la classificazione potrebbe far pensare. Il margine di errore è sotto media (di solito superiore all'80%), ma lavorando meglio con i punti a terra più sicuri il livello è destinato ad alzarsi. Nella carta tematica prodotta (un raster ricordiamo) sono presenti ammassi di punti che rappresentano, in realtà, proprio una delle anomalie discusse in precedenza: il muro di *enclosure*. Il suo andamento è leggibile per la maggior parte dell'estensione, e, con tutta probabilità, alcuni aspetti del suo tracciato visibili nella

⁶¹¹ Le capanne non erano scavate nel 2015, anno a cui risalgono le immagini satellitari. Nonostante ciò, affioravano dal terreno diversi blocchi che si sono rivelati essere, poi, parte delle murature degli edifici.

⁶¹² Purtroppo, a causa di un malfunzionamento del computer, non siamo stati in grado di portare a termine la seconda classificazione, operata invece nell'area di Galatese. La ROI che avevamo già scelto proviene dal terreno dove abbiamo riconosciuto la traccia di un più che probabilissimo villaggio trincerato neolitico. Supponendo che le murature delle capanne siano ancora una volta in pietra lavica, la configurazione geologica diversa per l'area di Galatese, dove non si trovano naturalmente sciere di pietra lavica, dovrebbe portare a un risultato migliore.

⁶¹³ Applicazioni di procedure di classificazione automatica in archeologia sono ancora assai rare. Il principale filone è quello della *cluster analysis*, utilizzato soprattutto nelle analisi chimiche dei manufatti ceramici (per esempio CUOMO DI CAPRIO 2007, pp. 655-656.) Qualche rara sperimentazione di classificazione automatica supervisionata e non-supervisionata è stata condotta nel campo del rilievo fotogrammetrico, vedi per esempio CAVALIERI *et al.* 2009. In generale sulle più recenti tecniche di rilievo tridimensionale vedi RUSSO *et al.* 2011. Un tentativo di classificazione automatica su reperti archeologici da semplici foto in RGB in MARTELLI 2009.

classificazione avrebbero portato l'archeologo foto-interprete ad approfondire l'analisi (TAV. XXXVIII). Naturalmente, nella valutazione sul tipo di lettura che si potrebbe avanzare, avendo a disposizione questo prodotto e questa qualità, un ruolo determinante è giocato dal livello di scala e di dettaglio che si sceglie di utilizzare. Se la ricerca è finalizzata al rinvenimento di superfici di qualche centinaio di metri quadrati il risultato continuerà a essere insoddisfacente per un lungo periodo. Ma se si aumenta la scala e l'oggetto della ricerca diventa la comprensione dei processi di centuriazione dell'agro romano, il riconoscimento delle piste carovaniere e, in generale, fenomeni di ampio raggio, la valutazione finale del risultato ottenuto dalla classificazione proposta muta. Come dimostra l'immagine della TAV. XXXIX, la parcellizzazione dei terreni di contrada Santa Venera risulta facilmente distinguibile e, anzi, enfatizzata dall'assenza della fitta vegetazione che in molti tratti cela l'esistenza dei muri divisorii.

Infine, pochi mesi prima della conclusione del triennio si è scelto di sperimentare le possibilità offerte dalla classificazione non supervisionata, scegliendo come area di studio contrada Galatese. Per tale ragione, presentiamo, seppur brevemente, i principali passaggi realizzati e l'output finale, ottenuto utilizzando l'algoritmo ISODATA.

Per prima cosa, occorre selezionare il comando *Geoprocessing* → *Imagery* → *Classification* → *Unsupervised* → *ISODATA Clustering for Grids* il quale consente di accedere alla seguente finestra di dialogo.

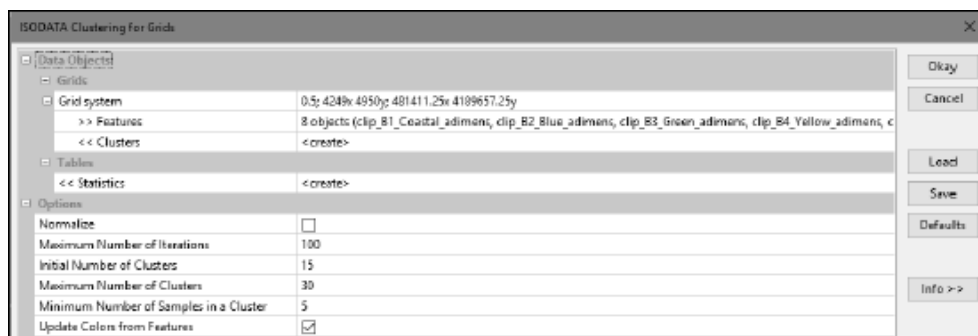


Figura 2. Finestra di dialogo per il setting dell'algoritmo classificatore ISODATA.

Come si vede dalla figura 2., alla voce *Grid system* → *Features* occorre selezionare tutti e soli raster da sottoporre a classificazione. Inoltre, in *Options* è possibile settare i parametri dell'algoritmo classificatore, ovvero: il numero massimo di iterazioni da realizzare, il numero iniziale di cluster e il massimo di cluster. Infine, chiudendo la finestra di dialogo cliccando su *Okay*, viene eseguito il tool. Alla fine dell'esecuzione di tale tool, la clusterizzazione ottenuta viene caricata nella sezione *Tree*. Pertanto, con un doppio click in tale raster, esso verrà visualizzato a video nell'area di lavoro principale del software.

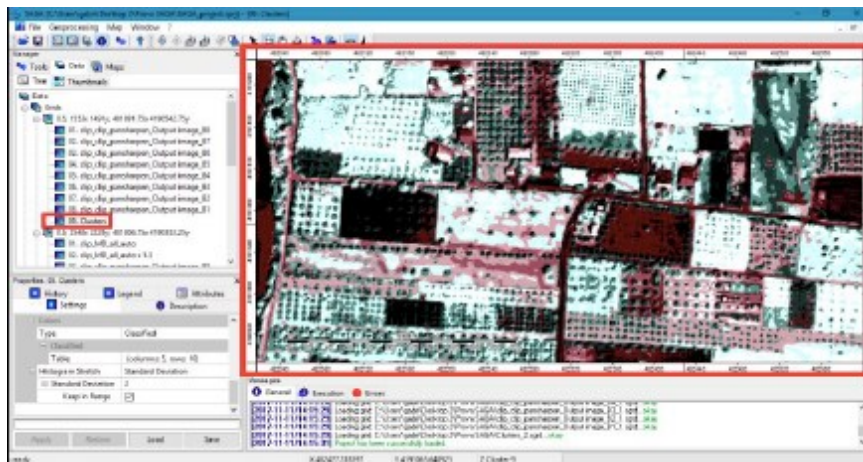


Figura 3. Stralcio della classificazione unsupervised (ISODATA) della scena in esame.

Oltre alla mappa tematica di classificazione, viene anche creata una tabella, denominata *ISODATA Cluster Statistics*, all'interno della quale sono riportate le caratteristiche associate ad ogni cluster individuato in fase di classificazione. In particolare, per un dato cluster, è riportato il numero di elementi (pixel) presenti, oltre alla media e alla deviazione standard relativa a ciascun canale.

Nella presente elaborazione sono state effettuate diverse prove di classificazione allo scopo di individuare, in una data area in esame, il numero di cluster (iniziali e massimo) di iterazioni più idonei a discriminare i mark archeologici presenti. Inoltre, alla luce delle prove effettuate si è scelto un numero iniziale di cluster pari a 5, massimo pari a 16 e un numero massimo di iterazioni pari a 20. Questo ha consentito di ottenere una mappa tematica di classificazione caratterizzata dalla presenza di 9 cluster.

Per consentire al lettore di poter apprezzare la differenza tra quanto ottenuto con la classificazione supervisionata e non, si riporta la figura seguente.

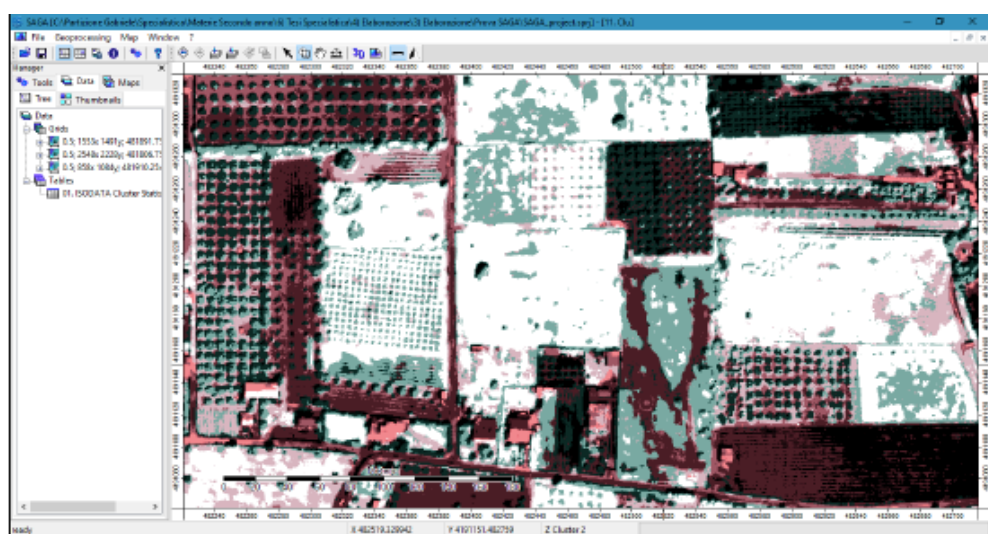


Figura 4.

Stralcio classificazione unsupervised

A conclusione di tale paragrafo dedicato alla classificazione, ribadiamo come, nel caso in esame in cui l'obiettivo è l'identificazione di elementi antropici sepolti, la classificazione pixel-based unsupervised sembra essere la scelta migliore in quanto non richiede la conoscenza e la definizione a priori delle classi e, pertanto, possono essere individuate/scoperte classi sconosciute.

CONCLUSIONI

All'inizio del triennio, come riportato nell'Introduzione, avevamo formulato alcuni interrogativi sui quali speravamo di fornire una prima risposta grazie al lavoro. Come è naturale che sia, al termine della nostra ricerca possiamo rispondere e soffermarci in maniera precisa su alcuni punti, mentre per altri necessitiamo ancora di più tempo ed *evidence*.

C'eravamo chiesti, *in primis*, se la fotointerpretazione del territorio etneo, così peculiare a causa della sua origine geologica, potesse rivelarsi uno strumento adatto e adeguato all'interpretazione archeologica. Abbiamo, pertanto, testato le immagini WorldView-2 e la loro lettura e interpretazione ha dato esiti differenti in relazione allo specifico contesto ambientale. L'originale alluvionale della pianura di Galatese permette la formazione e l'identificazione delle tradizionali categorie di anomalie archeologiche; nello specifico, è stato possibile notare un gruppo di anomalie spaziali e lineari interpretate per le quali è stata avanzata l'ipotesi che si tratti un insediamento neolitico fortificato, databile alla cultura di Stentinello, di cui è leggibile anche la partizione interna. La presenza di anomalie simili ma non esattamente corrispondenti nell'archivio storico di Google Earth costituisce una prova contraria alla lettura proposta. Pertanto, solo un'indagine geoarcheologica, utilizzando strumenti quali georadar o camere termiche, potrà risolvere la questione.

Purtroppo, la presenza di terreni coltivati e fittamente alberati non ha agevolato la segnalazione di anomalie archeologiche certe, soprattutto nei contesti 'speciali' indicati dal lavoro di *survey* dell'*Upper Simeto Valley Project*. A breve saranno organizzati dei sopralluoghi per pianificare l'impiego supplementare di strumenti non invasivi, in grado di fornire risposte attendibili anche per aree alberate.

La seconda area campione si estende, invece, su un *plateau* basaltico, creatosi a seguito di un'eruzione databile intorno a 25mila anni fa; naturalmente, l'interro assai ridotto se da un lato non consente il verificarsi dei fenomeni che danno origine ai *crop/soil mark*, dall'altro permette l'affioramento delle strutture murarie. In tale contesto, abbiamo visto come la difficoltà principale consista nella distinzione assai complessa da fare tra una possibile struttura muraria archeologica e una muratura antropica risalente a cento anni fa. La ricchezza di tracce e segni che il palinsesto territoriale cela non aiuta, sicuramente, il lavoro dell'archeologo.

Altra questione principale è stata l'individuazione di un canale dove le tracce archeologiche risultino più facilmente distinguibili rispetto alle altre bande. I risultati che sono emersi sono abbastanza chiari e in linea con i più recenti contributi apparsi in letteratura⁶¹⁴. Seguedo i dati in nostro possesso emerge che il NIR è il canale che favorisce l'individuazione delle anomalie, soprattutto quelle riconosciute tramite *crop-mark*. Il dato non è frutto del caso ma ha una sua spiegazione scientifica,

⁶¹⁴ VERHOEVEN 2012.

inerente lo specifico comportamento spettrale della clorofilla. Infatti, fino al Rosso e al Blu la maggior parte della radiazione incidente è assorbita dalla struttura interna dei pigmenti della pianta, ma tra i 700 e i 750 nm, nell'intervallo del c.d. *Red Edge*, si verifica un incredibile aumento della riflettanza a causa del valore estremamente basso dell'assorbimento di energia ad opera della clorofilla.

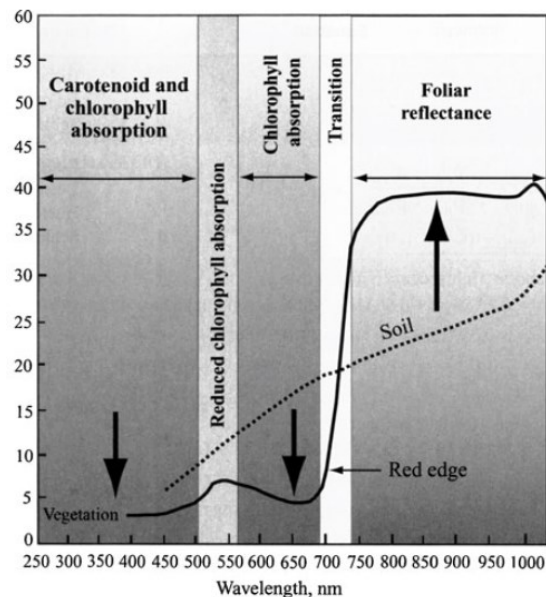


Figura 1. Caratteristiche spettrali della riflettanza (da Jensen 2007, fig 11.).

Per tale motivo l'impiego singolo del NIR o la sua combinazione con altri canali o con indici (per esempio il SR) calcolati su di esso offre una serie di opportunità per visualizzare meglio anomalie archeologiche già individuate o per scoprirne di nuove.

Una parte centrale del nostro lavoro è stata finalizzata all'applicazione di procedure postdittive nell'analisi delle immagini multispettrali. In questo caso abbiamo lavorato *au contraire*, invertendo il tradizionale *work flow*. Conoscendo già l'esatta locazione dell'evidenza archeologica, abbiamo verificato, in prima battuta, se esistesse l'anomalia. Purtroppo l'esperimento è stato condotto solo per la seconda macro-area perché nell'area di Galatese non sono note in letteratura strutture archeologiche. È stato osservato come la presenza di un interro assai ridotto non abbia permesso la formazione di una traccia vegetale evidente per le capanne bizantine, che sarebbero rimaste difficilmente leggibili attraverso l'applicazione degli indici di vegetazione. Molto più utili si sono rivelate a tal proposito le immagini RGB, soprattutto perché enfatizzano le murature affioranti a scapito della vegetazione. Ulteriore difficoltà nell'individuazione delle tracce, pur conoscendone la localizzazione, è rappresentata dalla scala su cui si lavora. Complicato, infatti, distinguere chiaramente strutture le cui murature hanno dimensioni che raramente superano i dieci metri.

L'altro problema su cui si è lavorato, e si dovrà ancora lavorare, è l'identificazione di una ROI univoca in grado di caratterizzare da un punto di vista spettrale gli edifici archeologici. I tentativi sono

stati effettuati scegliendo i *Training pixel* dall'area delle capanne bizantine⁶¹⁵ e da un tratto della grande struttura in blocchi di pietra lavica che attraversa contrada Santa Venera. Sulla base dell'elaborazione, grazie ad un algoritmo, della media dei valori contenuti dai medesimi pixel è stata tentata una classificazione supervisionata del tipo *pixel-based*. Il prodotto finale necessita, ancora, di ulteriori miglioramenti. L'ostacolo principale è rappresentato dalla grandissima difficoltà, nel nostro caso, di discriminare meglio le ROI. La firma spettrale presa della muratura in pietra lavica è, semplificando e come era lecito attendersi, la stessa o quasi della pietra lavica che affiora nella vasto pianoro basaltico. Se, ipoteticamente, il muro fosse stato costruito in calcarenite ecco che sarebbe risultato molto più facile enfatizzare le strutture. Nonostante i limiti e le problematiche presentate, considerando che si tratta di una procedura praticamente inedita, riteniamo i risultati incoraggianti. Infatti, la classificazione effettuata permette di leggere abbastanza bene lo schema della partizione agraria databile alla seconda età del Novecento, quando furono messi in vendita i terreni che costituivano il latifondo della Ducea di Nelson. Ancora una volta ritorna la questione dell'importanza della scala scelta per condurre le indagini e del tipo di risultati che si spera di ottenere.

Oltre al miglioramento della classificazione *pixel-based*, il nostro obiettivo futuro è testarne una *object-oriented*, in modo da superare il problema relativo all'identificazione delle ROI. Attraverso tale approccio, fortemente innovativo, il programma non lavora più esclusivamente sui pixel ma viene allenato a riconoscere le forme spaziali. Il limite principale di tale approccio, al momento, è costituito dalla necessità di lavorare con un programma assai costoso come eCognition; nell'ultimo anno e mezzo sono stati sviluppati alcuni *plugin open source* e, pertanto, ci auguriamo che si sia aperta una strada nuova.

Infine, il lavoro archeologico tradizionale. Basandoci sui dati ancora inediti del *survey* abbiamo provato a fornire una lettura sincronica e diacronica delle dinamiche insediative per le due macro-aree. La maggiore intensità con cui era stata condotta la ricognizione a Galatese ha portato, nella fase di sintesi, a uno sbilanciamento di conoscenza verso la macro-area numero uno. Sono stati individuati poco meno di venti siti in circa sessantacinque ettari, e, anche sulla base del riesame operato da chi scrive sul materiale raccolto (ceramico e non), sono state avanzate alcuni distinzioni diacroniche e funzionali, con l'individuazione di specifiche aree produttive, cultuali e funerarie. Inoltre, l'attribuzione di una moneta (inedita) all'imperatore Costantino V (751-775 d.C.) permette di riconoscere almeno una fase di frequentazione databile all'VIII secolo d.C., arco cronologico per il quale non esisteva alcuna evidenza neanche nel villaggio scoperto e scavato pochissimi anni or sono. Restano, ovviamente, ancora da mettere a fuoco diversi punti, tra cui l'estensione del centro identificato a Galatese, il suo rapporto con quello di Sciare di Santa Venera, le modalità e i tempi di abbandono dell'intera area.

La speranza per il futuro è di poter giungere, finalmente, dopo oltre un decennio, all'edizione

⁶¹⁵ Ricordiamo come tali strutture non fossero state ancora scavate quando il satellite scattò le foto da noi acquistate.

completa delle due campagne di ricognizione condotte dall' *Upper Simeto Valley Project*.

Bibliografia

- AA. VV. 1981 = *Enciclopedia dell'arte antica, classica e orientale. Atlante delle forme ceramiche*, Istituto delle Enciclopedie Italiane, Roma 1981-.
- ABDELASALAM *et al.* 2000 = M. ABDELASALAM, C. ROBINSON, F. EL-BAZ, R. STERN, *Applications of orbital imaging radar for geologic studies in arid regions: the sharan testimony*, in *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 66, N. 6 (2000), pp. 717-726.
- ADAMESTEANU 1964 = D. ADAMESTEANU, *Contributo dell'Aerofototeca archeologica del Ministero P.I. alla soluzione dei problemi di Topografia Antica in Italia*, in *Atti del X Congresso Internazionale di fotogrammetria*, Lisbona 1964, pp. 1-76.
- ADAMS *et al.* 1981 = E. E. W. ADAMS, W. E. BROWN, T. P. CULBERT, *Radar Mapping, archaeology and ancient Maya land use*, in *Science*, Vol. 213 (1981), pp. 1457-1463.
- AGAPIOU *et al.* 2012 = A. AGAPIOU, D. G. HADJIMITSIS, D. D. ALEXIS, *Evaluation of Broadband and Narrowband Vegetation Indices for the Identification of Archaeological Crop Marks*, in *Remote Sensing*, Vol. 4 (2012), pp. 3892-3919. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.mdpi.com/2072-4292/4/12/3892/htm>
- ALBANESE PROCELLI 1996 = R. M. ALBANESE PROCELLI, *Randazzo*, in G. NENCI, G. VALLET (a cura di), *Bibliografia Topografica della Magna Grecia e delle Isole tirreniche*, Vol. XIV, Pisa-Roma-Napoli 1996, p. 555.
- ALDENDERFER - MAESCHNER 1996 = M. S. ALDENDERFER, H. D. G. MAESCHNER, *Antropology, Space, and Geographic Information Systems. Spatial Information Systems*, The University Press, New York-Oxford 1996.
- AL-IDRISI 1883 = M. AL-IDRISI, *Min Kitāb Nuzhat al-mushtāq fī ikhtirāq al-āfāq*, M. AMARI - C. SCHIAPPARELLI (a cura di), Salviucci, Roma 1883.
- ALLEN 2017 = S. E. ALLEN, *Cultivating identities: landscape production among early farmers in the Southern Balkans*, in M. GORI - M. IVANOVA (a cura di), *Balkan dialogues. Negotiating identity between Prehistory and the Present*, Routledge, London New York 2017, pp. 213-229.
- ALLISON 2007 = D. ALLISON, *Evaluation of aerial thermography to discriminate loft insulation in residential housing*, PhD thesis, University of Nottingham.
- ALMAGRO BASCH 1943 = M. ALMAGRO BASCH, *La colaboración de la aviación española en el campo de la Arqueología*, in *Ampurias*, Vol. 5, pp. 247 sgg.
- ALTSCHUL *et al.* 2004 = J. H. ALTSCHUL, L. SEBASTIAN, K. HEIDELBERG, *Predictive modeling in the military. Similar goals, divergent paths*, SRI Foundation, Rio Rancho 2004.

- ALVISI 1989 = G. ALVISI, *La fotografia aerea nell'indagine archeologica*, Studi NIS, Roma, 1989, pp. 18-31.
- AMADIO 2012 = G. AMADIO, *Introduzione alla Geomatica*, Flaccovio Editore, Palermo 2012.
- AMARI 1868 = M. AMARI, *Storia dei musulmani in Sicilia, Vol. III*, Le Monnier, Firenze 1868.
- AMARI 1872 = M. AMARI, *Biblioteca arabo-sicula, 2 volumi*, Loescher, Torino- Roma, pp. 31-133.
- AMARI 1982 = M. AMARI, *Biblioteca Arabo-Sicula, Vol. I*, Edizioni Dafni, Siracusa 1982.
- AMARI - SCHIAPPARELLI 1876-1877 = M. AMARI, C. SCHIAPPARELLI, *L'Italia descritta nel "Libro del Re Ruggero". Compilato da Edrisi. Testo arabo pubblicato con versione e note* (memoria letta nella seduta del 17 Dicembre 1876), in *Atti della Reale Accademia dei Lincei, serie II, Vol. 8 (1876-1877)*.
- AMENDOLEA 1999 = B. AMENDOLEA (a cura di), *Carta Archeologica e Pianificazione Territoriale: un Problema Politico e Metodologico. Primo incontro di Studi, Roma 1997*, Palombi Editore, Roma 1999.
- ANICHINI 2013 = F. ANICHINI, *MAPPA Survey: gli Open Data nell'archeologia italiana*, in F. ANICHINI, N. DUBBINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, M. L. GUALANDI, *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico, Vol. 2*, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2013, pp. 121-132.
- ANICHINI - GATTIGLIA 2015 = F. ANICHINI, G. GATTIGLIA, *Verso la rivoluzione. Dall'Open Access all'Open Data: la pubblicazione aperta in archeologia*, in *European Journal of Post-Classical Archaeologies, Vol. 5 (2015)*, pp. 298-326.
- ANICHINI et al. 2012 = F. ANICHINI, M. BINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, S. GIACOMELLI, M. L. GUALANDI, M. PAPPALARDO, G. SARTI, *Definizione dei parametri del potenziale archeologico di un'area urbana*, in AA.VV, *MapPapers, 2-I*, pp. 44-46.
- ANICHINI et al. 2013a = F. ANICHINI, G. GATTIGLIA, M. L. GUALANDI, V. NOTI 2013, *MOD (MAPPA Open Data). Conservare, disseminare, collaborare: un archivio open data per l'archeologia italiana*, in *Archeologia e Calcolatori, Supplemento 4 (2013)*, pp. 45-52.
- ANICHINI et al. 2013b = F. ANICHINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, F. GHIZZANI MARCIA, *Questione di pesi: valori, parametri, relazioni per il calcolo del potenziale archeologico*, in F. ANICHINI, N. DUBBINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, M. L. GUALANDI, *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico*, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2013, pp. 89-99.

- ANICHINI *et al.* 2015 = F. ANICHINI, N. DUBBINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, M. L. GUALANDI, *Dall'Open Data alla predittività. Nuovi modi di far crescere l'archeologia italiana*, in *Archeologia e Calcolatori, Supplemento 7 (2015)*, pp. 141-154.
- ANKUM - GROENEWOUDT 1990 = A. ANKUM, B. GROENEWOUDT, *De situering van archeologische vindplaatsen*, in *RAAP-rapport, Vol. 42 (1990)*, Stichting RAAP, Amsterdam 1990.
- ANON 1995 = A. E. ANON, *Angkor by satellite*, in *Athena Review, Vol. 1, N. 1 (1995)*, pp. 12-13.
- ARCIFA 2010 = L. ARCIFA, *Indicatori archeologici per l'alto Medioevo nella Sicilia orientale*, in P. PENSABENE (a cura di), *Piazza Armerina. Villa del Casale e la Sicilia tra Tardoantico e Medioevo*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2010, pp. 105-128.
- ARCIFA 2011 = L. ARCIFA, *La ricognizione del dromos in Sicilia nel corso dell'età bizantina: le vie regie sui Nebrodi*, in C. VARALDO (a cura di), *Ai confini dell'impero. Insediamenti e fortificazioni bizantine nel Mediterraneo occidentale (VI-VIII secolo d.C.). Atti del convegno di studio, Genova-Bordighera, 14-17 Marzo 2002*, Bordighera 2011, pp. 731-748.
- ARCIFA 2015 = L. ARCIFA, *La Sicilia bizantina agli inizi del IX secolo: nuovi dati e spunti di ricerca Contrada Edera di Bronte (CT)*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera, Parco dell'Etna*, Nicolosi 2015, pp. 143-155.
- ARCIFA - LONGO 2015 = L. ARCIFA, R. LONGO, *Processi di diversificazione territoriale nella Sicilia di inizi IX secolo. Il contesto di Rocchicella-Mineo (CT)*, in P. ARTHUR, M. L. IMPERIALE (a cura di), *Atti del VII Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, Lecce, 9-12 Settembre 2015*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2015, pp. 361-366.
- ARGYRIDIS - ARGIALAS 2015 = A. ARGYRIDIS, D. ARGIALAS, *A Fuzzy Spatial Reasoner for Multi-Scale GEOBIA Ontologies*, in *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 81, N. 6 (2015)*, pp. 491-498.
- ATKINSON 196 = R. J. C. ATKINSON, *Field Archaeology*, Methuen & Co., London 1946.
- AURELI 2011 = A. AURELI (a cura di), *Note illustrative della Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 624, Monte Etna*, ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Disponibile online all'indirizzo: http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/tematici/624_Monte_Etna_geomorfologica.pdf
- AYALA - FRENCH 2003 = G. AYALA, C. FRENCH, *Holocene landscape dynamics in a Sicilian upland river valley*, in A. J. HOWARD, M. G. MACKLIN, D. G. PASSMORE (a cura di), *Alluvial Archaeology in Europe*, Swets & Zeitlinger, Lisse 2003, pp. 229-235.
- AYALA - FRENCH 2005 = G. AYALA, C. FRENCH, *Erosion modeling of past land-use practices in the Fiume di Sotto di Troina River Valley, North-central Sicily*, in *Geoarchaeology, Vol. 20, N. 2*, pp. 149-167.
- AZZENA 2001 = G. AZZENA, *L'Indagine Topografica e la Cartografia Archeologica*, in *Il Mondo dell'Archeologia*, Istituto della Enciclopedia Italiana, Treccani 2000, Roma, pp. 149-152.

- AZZENA - TASCIO 1996 = G. AZZENA, M. TASCIO, *Il sistema informativo territoriale per la Carta Archeologica d'Italia*, in M. L. MARCHI, G. SABBATINI (a cura di), *Venusia (Forma Italiae, 37)*, Olschki, Firenze 1996, pp. 281-297.
- BAATZ *et al.* 2008 = M. BAATZ, C. HOFFMANN, G. WILLHAUCK, *Progressing from Object-Based to Object-Oriented Image Analysis*, in T. BLASCHKE, S. LANG, G. J. HAY (a cura di), *Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Springer, Berlin 2008, pp. 29-42.
- BAGGIO *et al.* 1998 = P. BAGGIO, C. A. BIROCCO, F. COLSI, S. PIRO, L. VERSINO, C. ZAMBONI, *Telerilevamento, ricognizioni archeologiche e prospezioni geofisiche sulla collina orientale di Selinunte*, in *I International Congress on "Science and technology for the safeguard of cultural heritage in the Mediterranean basin"*, Vol. 1, Catania-Siracusa, November-December 1995, pp. 325-332.
- BALDI 2010 = J. S. BALDI, *La carta d'identità di chi non conobbi mai. Note antropologiche sull'ossessione per l'identità nell'archeologia pre- e protostorica*, in *Achab Rivista di Antropologia*, Vol. 15, pp. 37-46.
- BALLA *et al.* 2014 = A. BALLA, G. PAVLOGEORGATOS, D. TSIAFAKIS, G. PAVLIDIS, *Efficient predictive modelling for archaeological research*, in *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 14, N. 1 (2014), pp. 119-129.
- BANNARI *et al.* 1995 = A. BANNARI, D. MORIN, F. BONN, A. R. HUETE, *A review of vegetation indices*, in *Remote Sensing Reviews*, Vol. 13, N. 1-2 (1995), pp. 95-120.
- BARBERA *et al.* 2014 = G. BARBERA, R. BLASI, D. MARINO (a cura di), *I paesaggi agrari tradizionali. Un percorso per la conoscenza*, Franco Angeli, Milano.
- BARCELÒ 2002 = J. A. BARCELÒ, *Archaeological thinking: between space and time*, in F. DJINDJIAN, P. MOSCATI (a cura di), *XIV UISPP Congress (Liège - Belgium 2001). Proceedings of Commission IV Symposia. Data Management and Mathematical Methods in Archaeology, Archeologia e Calcolatori*, Vol. 13 (2002), pp. 237-257. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF13/17Barcelo.pdf>
- BASILE 2009 = B. BASILE, *Siracusa: indagini archeologiche nel biennio 2000/2001*, in *Kokalos*, Vol. XLVII-XLVIII, Tomo II, pp. 729-782.
- BASSANI *et al.* 2006 = C. BASSANI, R. M. CAVALLI, F. MADONNA, A. PALOMBO, S. PIGNATTI, *Laboratory Activity for a new procedure of MIVIS calibration and relative validation with test data*, in *Annals of Geophysics*, Vol. 49, N. 1 (2006), pp. 45-56.
- BAYLISS 2015 = A. BAYLISS, *Quality in Bayesian chronological models in archaeology*, in *World Archaeology*, Vol. 47, N. 4 (2015), pp. 677-700.
- BECK 2006 = L. R. BECK, *Google Earth and World Wind: remote sensing for the masses?*, in *Antiquity*, Vol. 80, N. 308 (2006). Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.antiquity.ac.uk/projgall/beck308/>

- BECK *et al.* 2000 = L. R. BECK, B. M. LOBITZ, B. L. WOOD, *Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities*, in *Emerging Infectious Diseases*, Vol. 6, N. 3 (2000), pp. 217-227.
- BELL *et al.* 2008 = R. BELL, Y. KOREN, C. VOLINSKY, *The BellKor 2008. Solution to the Netflix Prize*. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.netflixprize.com/assets/ProgressPrize2008_BellKor.pdf
- BELVEDERE *et al.* 2001 = O. BELVEDERE, A. BURGIO, G. CIRAOLO, G. LA LOGGIA, A. MALTESE, *Hyperspectral MIVIS data analysis for archaeological applications*, in *Proceedings of Fifth International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, San Francisco (CD-ROM).
- BELVEDERE *et al.* 2002 = O. BELVEDERE, A. BERTINI, G. BOSCHIAN, A. BURGIO, A. CONTINO, R. M. CUCCO, D. LAURO, *Himera III.2: Prospezione archeologica nel territorio*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2002.
- BELVEDERE *et al.* 2004 = O. BELVEDERE, A. BURGIO, G. CIRAOLO, G. LA LOGGIA, A. MALTESE, D. RAMETTA, *Telerilevamento di aree archeologiche mediante dati iperspettrali MIVIS*, in *Agri Centuriati*, Vol. 1 (2004), pp. 199-215.
- BERNARDINI *et al.* 2000 = S. BERNARDINI, F. CAMBI, A. MOLINARI, I. NERI, *Il territorio di Segesta tra l'età arcaica e il Medioevo. Nuovi dati dalla carta archeologica di Calatafimi*, in A. CORRETTI (a cura di), *Terze Giornate Internazionali di Studi sull'area elima, Atti, Vol. I, Gibellina-Erice-Contessa Entellina, 23-26 Ottobre 1997*, Scuola Normale Superiore, Pisa-Gibellina 2000, pp. 91-139.
- BERNARDO - SMITH 1994 = J. M. BERNARDO, A. F. M. SMITH, *Bayesian Theory*, Wiley, Chichester 1994.
- BERTOLDI *et al.* 2015 = S. BERTOLDI, V. FRONZA, M. VALENTI, *Sistemi Digitali di Documentazione e Analisi Archeologica. Verso Quale Direzione?*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 26 (2015), pp. 233-243.
- BEVILACQUA – DE ROMANIS 2003 = G. BEVILACQUA, F. DE ROMANIS, *Nuova iscrizione esorcistica da Comiso*, in *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei (RAL) s. IX, Vol. 14 (2003)*, pp. 389-402.
- BEVILACQUA - GIANNOBILE 2000 = G. BEVILACQUA, S. GIANNOBILE, *Magia rurale siciliana: iscrizioni di Noto e Modica*, in *Zeitschrift für Papyrologie und Epigraphik*, Vol. 133 (2000), pp. 135-146.
- BIANCHI *et al.* 1994 = R. BIANCHI, C. M. MARINO, S. PIGNATTI, “*Airborne Hyperspectral remote sensing in Italy*”, in *Proceedings EUROPTO Series Recent Advances in Remote Sensing and Hyperspectral Remote Sensing, Roma, 27-29 Settembre 1994, SPIE Vol.*

2318, pp. 29-37.

- BIANCHI *et al.* 1996a = R. BIANCHI, R. M. CAVALLI, L. FIUMI, C. M. MARINO, S. PIGNATTI, G. PIZZAFERRI, *1994-1995 CNR LARA Project airborne hyperspectral campaigns*, in *Proceedings of the Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Vol. 2 (1996)*, pp. 301-310.
- BIANCHI *et al.* 1996b = R. BIANCHI, R. M. CAVALLI, L. FIUMI, C. M. MARINO, S. PIGNATTI, *Airborne imaging spectrometry: a new approach to environmental problems*, in *Proceedings of the XVIII ISPRS Congress, Vol. 1, Vienna, 9-19 Luglio 1996*, pp. 128-132.
- BIANCHI *et al.* 1997a = R. BIANCHI, M. P. BOGLIOLO, F. BUONGIORNO, R. M. CAVALLI, C. M. MARINO, S. PIGNATTI, S. SALVI, *MIVIS per la Sicilia*, in *Rivista Internazionale di Telerilevamento Sistema Terra, Anno 6, N. 1-3 (1997)*, pp. 24-27.
- BIANCHI *et al.* 1997b = R. BIANCHI, R. M. CAVALLI, F. COLOSI, C. M. MARINO, S. PIGNATTI, M. POSCOLIERI, *Airborne hyperspectral MIVIS data over Selinunte ancient town area (Sicily, Italy) as a support to classical archaeological investigation*, in *Proceedings of the Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition Development, Integration, Application & Operations, Vol. 2, Copenhagen, 7-10 Luglio 1997*, ERIN, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor 1997, pp. 761-768.
- BIANCHI *et al.* 2000 = R. BIANCHI, R. M. CAVALLI, C. CORSI, C. M. MARINO, S. PIGNATTI, *Ricerche topografiche in Sicilia: integrazione tra metodi tradizionali e dati iperspettrali da piattaforma aerea*, in *Proceedings of the XVth International Congress of Classical Archaeology, Amsterdam 1998*, pp. 15-16.
- BIGLIARDI 2009 = G. BIGLIARDI, *Sistema Informativo Territoriale Archeologico e Carta della Potenzialità Archeologica del Comune di Parma*, in *Archeologia e Calcolatori, Vol. 20 (2009)*, pp. 331-350.
- BINFORD 1962 = L. BINFORD, 'Archaeology as anthropology', in *American Antiquity, Vol. 28 (1962)*, pp. 217-225.
- BINFORD 1983 = L. BINFORD, *Working at Archaeology*, Academic Press, London 1983.
- BLASCHKE 2010 = T. BLASCHKE, *Object Based Image Analysis for Remote Sensing*, in *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 65, N. 1 (2010)*, pp. 2-16.
- BLASCHKE 2013 = T. BLASCHKE, *Object Based Image Analysis: A New Paradigm in Remote Sensing?*, Conference paper, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Annual Conference, ASPRS, Baltimore, March 24-28 2013*. Disponibile online all'indirizzo:
https://www.researchgate.net/publication/263917552_Object_based_image_analysis_A_new_paradigm_in_remote_sensing

- BLASCHKE - STROBL 2001 = T. BLASCHKE, J. STROBL, *What's wrong with pixels? Some recent development interfacing remote sensing and GIS*, in *GIS-Zeitschrift für Geoinformationssysteme*, Vol. 14, N. 6 (2001), pp. 12-17.
- BLASCHKE *et al.* 2008 = T. BLASCHKE, S. LANG, G. J. HAY (a cura di), *Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Springer, Berlin 2008.
- BLASCHKE *et al.* 2014 = T. BLASCHKE, G. J. HAY, M. KELLY, S. LANG, P. HOFMANN, E. ADDINK, R. QUEIROZ FEITOSA, F. VAN DER MEER, H. VAN DER WERFF, F. VAN COILLIE, D. TIEDE, *Geographic Object-Based Image Analysis - Towards a new paradigm*, in ISPRS, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 87 (2014), pp. 180–191.
- BLASCHKE *et al.* 2016 = T. BLASCHKE, S. LANG, D. TIEDE, M. PAPADAKIS, A. GYORI, *Object-Based Image Analysis Beyond Remote Sensing-The Human Perspective*, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 41-B7, XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, 2016 pp. 879-882.
- BLOM *et al.* 1997 = R. BLOM, N. CLAPP, J. ZARINS, G. HEDGES, *Space Technology and the discovery of the lost city of Ubar*. Intervento letto al *IEEE Aerospace Conference*, 1-8 Febbraio 1997.
- BLOM *et al.* 2007 = R. G. BLOM, R. CRIPPEN, C. ELACH, N. CLAPP, G. R. HEDGES, J. ZARINS, *Southern Arabian Desert Trade Routes, Frankincense, Myrrh, and the Ubar Legend*, in J. WISEMAN, F. EL-BAZ (a cura di), *Remote Sensing in Archaeology*, Springer, New York 2007, pp. 71-87.
- BOARDMAN 1979 = J. BOARDMAN, *The Athenian Pottery Trade. The Classical Period*, in *Expedition Magazine (1979)*, University of Pennsylvania Museum of Archaeology and Anthropology, pp. 33-39. Disponibile online all'indirizzo:
<https://www.penn.museum/documents/publications/expedition/PDFs/21-4/The%20Athenian.pdf>
- BONIFAY 2004 = M. BONIFAY, *Etudes sur la céramique romaine tardive d'Afrique*, BAR International Series 1301, Archaeopress, Oxford 2004.
- BONIFAY - MALFITANA 2016 = M. BONIFAY, D. MALFITANA (a cura di), *La ceramica africana nella Sicilia romana / La céramique africaine dans la Sicile romaine, Tomo I / Tome I*, Monografie dell'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali, Vol. 12, CNR, Catania 2016.
- BOUSMAN 2006 = B. C. BOUSMAN, *Satellite Archaeology for everyone*, in *THE SAA Archaeological Record*, Vol. 6, N. 3 (2006), pp. 32-34.
- BRADFORD 1949 = J. BRADFORD, *Buried landscapes in southern Italy*, in *Antiquity Vol. 23, N. 89 (1949)*, pp. 58-72.
- BRADFORD 1950 = J. BRADFORD, *The Apulia expedition: an interim report*, in *Antiquity*, Vol. 24, N. 93 (1950), pp. 84-95.

- BRANCA *et al.* 2015 = S. BRANCA, M. COLTELLI, G. GROPELLI (a cura di), *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol. 98. Carta geologica del vulcano Etna 1:50.000*, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia.
- BRANDT *et al.* 1992 = R. BRANDT, B. GROENEWOUDT, K. KVAMME, *An experiment in archaeological site location: modeling in the Netherlands using GIS Techniques*, in *World Archaeology, Vol. 24, N. 2 (1992)*, pp. 268-282.
- BRAUDEL 1972 = F. BRAUDEL, *The Mediterranean and the Mediterranean World in the Age of Philip II, Vol. 1*, Harper and Row, II Edition, New York 1972.
- BRIGAND 2015 = R. BRIGAND, *Using WorldView-2 & Quickbird-2 imagery to support archaeological surveying. A case study from the Moldavian Eneolithic (Romania)*, in *Digital Globe (November 9, 2015)*. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.digitalglobefoundation.org/sites/default/files/Robin_Brigand_Report%20Digital%20Globe_20151109.pdf
- BRIVIO - ZANI 1995 = P. A. BRIVIO, G. ZANI, *Glossario Trilingue di Telerilevamento*, Edizioni AIT, Firenze 1995. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.irea.cnr.it/glossario/glossario.htm>
- BROGIOLO 2000 = G. P. BROGIOLO, *Urbana, archeologia*, in R. FRANCOVICH, D. MANACORDA (a cura di), *"Dizionario di archeologia. Temi, concetti e metodi"*, Laterza, Roma-Bari 2000, pp. 350-355.
- BROGIOLO *et al.* 2012 = G. P. BROGIOLO, A. DE GUIO, E. FASSON, A. BETTO, M. NEBBIA, *Cartografia storica e remote sensing (LIDAR) nello studio dei paesaggi di Montegrotto Terme*, in F. GHEDINI, M. BASSANI, M. BRESSAN (a cura di), *Aquae Patavine. Montegrotto Terme e il termalismo in Italia. Aggiornamenti e nuove prospettive di valorizzazione. Atti del II Convegno Nazionale*, Padova University Press, Padova 2012 pp. 15-53.
- BROUWER BURG *et al.* 2016 = M. BROUWER BURG, H. PEETERS, W. A. LOVIS (a cura di), *Uncertainty and Sensitivity Analysis in Archaeological Computational Modeling*, Springer, Switzerland 2016.
- BUCK 1999 = C. E. BUCK, *Bayesian statistics for archaeology*, in W. GAUL, H. LOCAREK-JUNGE, *Classification in the Information Age. Proceedings of the 22nd Annual GfKI Conference, University of Dresden, 4-6 March 1998*, Springer-Verlag, Berlino-Heidelberg 1999, pp. 547-554.
- BUCK *et al.* 1996 = C. E. BUCK, W. G. CAVANAGH, C. D. LITTON, *Bayesian approach to interpreting archaeological data*, John Wiley & Sons, Chichester 1996.

- BURNARD 2001 = L. BURNARD, *Dalle «due culture» alla cultura digitale: la nascita del demotico digitale*, in *Bollettino '900 - Electronic Newsletter of '900 Italian Literature*, N. 1 (2001). Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.boll900.it/numeri/2001-i/W-bol/Burnard/Burnardtesto.html>
- BURDICK *et al.* 2012 = A. BURDICK, J. DRUCKER, P. LUNENFELD, T. PRESNER, J. SCHNAPP (a cura di), *Digital Humanities*, The MIT Press, Cambridge, MA 2012. Disponibile online all'indirizzo:
https://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/9780262018470_Open_Access_Edition.pdf
- BUSCEMI *et al.* 2014 = F. BUSCEMI, P. MILITELLO, G. D'AGOSTINO, A. M. SAMMITO, *Tecniche di fotomodellazione per la documentazione e la comunicazione in archeologia. Il sito di Calicantone (RG)*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 25 (2014), pp. 131-156. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF25/07_Buscemi_et_al.pdf
- BUZZETTI 2014 = D. BUZZETTI, *Digital humanities: Difficoltà istituzionali e risposte infrastrutturali*, in M. AGOSTI, F. TOMASI (a cura di), *Collaborative Research Practices and Shared Infrastructures for Humanities Computing, 2nd Aiucd Annual Conference, Aiucd 2013, Padua, 11-12 Dicembre 2013*, CLEUP, Padova 2014, pp. 81-87.
- CAFFO 2015 = S. CAFFO, *Le Sciare di Santa Venera*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurrada e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 35-38.
- CAFICI 1915 = C. CAFICI, *Stazioni preistoriche di Trefontane e Poggio Rosso in territorio di Paternò (CT)*, *M.A.L.*, Vol. 23 (1915), pp. 485-541.
- CAFICI 1920 = C. CAFICI, *La stazione neolitica di Fontana di Pepe (Belpasso) e la civiltà neolitica di Stentinello*, in *Atti Reale Accademia di Scienze, Lettere e Belle Arti di Palermo*, Vol. 12 (1920), pp. 1-50.
- CALAON - PIZZINATO 2011 = D. CALAON, C. PIZZINATO, *L'analisi archeologica nei processi di valutazione ambientale. Proposta metodologica in ambiente GIS*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 22 (2011), pp. 413-439. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF22/AC_22_Calaon_Pizzinato.pdf
- CALAON - PIZZINATO 2013 = D. CALAON, C. PIZZINATO, *Dalla Teoria alla Pratica: verso una Valutazione di Impatto Archeologico Obiettiva e Sostenibile*, in M. GUALANDI (a cura di), *Opening the past 2013. Archaeology of the Future, Pisa, 13-14-15 Giugno 2013*, MapPapers 1-III, 2013, pp. 1-86.
- CALETTI 2015 = C. CALETTI, *ÇATALHÖYÜK: La frontiera dell'approccio riflessivo di Ian Hodder*, in *ACME. Annuali della Facoltà di Studi Umanistici dell'Università degli Studi di Milano*, Vol. 68, N. 2 (2005), pp. 137-157.
- CALIANO 2008 = C. CALIANO, *I Modelli VAS come Rinnovato Approccio alla Pianificazione e alla Gestione del Territorio*, in L. COLOMBO, S. LOSCO, C. PACELLA (a cura di), *La Valutazione Ambientale nei Piani e nei Progetti*, Edizioni Le Pensur, Brienza 2008, pp. 191-200.
- CALIANO 2010 = C. CALIANO, *La Componente Archeologica nelle Metodologie di Valutazione Ambientale dei Piani*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile per l'Ambiente ed il Territorio, IX Ciclo, Università di Salerno 2010.

- CALIANO 2011 = E. CALIANO, *La componente archeologica nelle metodologie di valutazione ambientale dei piani*, Tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria civile per l'ambiente ed il territorio - IX ciclo - Nuova Serie (2007-2010), Università degli Studi di Salerno, p. 52.
- CALIANO *et al.* 2010 = E. CALIANO, R. GERUNDO, R. M. A. NAPOLI 2010, *Il Potenziale Archeologico nell'Ambito della Valutazione Ambientale*, in G. LAS CASAS, P. PONTRANDOLFI, B. MURGANTE (a cura di), *Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale. Atti della Sesta Conferenza Nazionale INPUT 2010, Vol. 3*, Libria, Melfi 2010, pp. 73-85.
- CALVO 2016 = K. CALVO, *So You Want to Create Maps Using Drones? Photogrammetry Field Guide for Photographers, Researchers and Conservationists*, Blurb, New York 2016.
- CAMBI - TERRENATO 1994 = F. CAMBI, N. TERRENATO, *Introduzione all'archeologia dei paesaggi*, Carocci Editore, Urbino 1994.
- CAMERON - KENDERDINE 2007 = F. CAMERON, S. KENDERDINE (a cura di), *Theorizing Digital Cultural Heritage: A Critical Discourse*, The MIT Press, Cambridge, MA 2007.
- CAMPANA 2002 = S. CAMPANA, *Remote Sensing, GIS, GPS e tecniche tradizionali. Evoluzione di percorsi integrati per lo studio dei paesaggi archeologici: Murlo-Montalcino e bassa Val di Cornia*, Tesi di dottorato di ricerca in Archeologia Medievale - XV Ciclo, Università di Siena, A.A. 2001-2002.
- CAMPANA 2003 = S. CAMPANA, *Ikonos-2 Multispectral satellite imagery to the study of archaeological landscapes: an integrated multi-sensor approach in combination with "traditional" methods*, in M. DOERR, A. SARRIS (a cura di), *The digital heritage of archaeology, CAA 2002. Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 30th Conference, 2-6 Aprile, Heraklion, Crete 2002*, Archive of Monuments and Publication – Hellenic Ministry of Culture, pp. 219-225.
- CAMPANA 2004 = S. CAMPANA, *Le immagini da satellite nell'indagine archeologica: stato dell'arte, casi di studio, prospettive*, in *Archeologia Area. Studi di Aerotopografia Archeologica, Vol. 1 (2004)*, pp. 279-299.
- CAMPANA 2009a = S. CAMPANA, *Archeologia dei paesaggi e Remote sensing*, in E. GIORGI (a cura di), *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, BraDypUS, Bologna 2009, pp.139-157.
- CAMPANA 2009b = S. CAMPANA, *Archaeological site detection and mapping: Some thoughts on differing scales of detail and archaeological 'non-visibility'*, in S. CAMPANA, S. PIRO (a cura di), *SEEING THE UNSEEN. Geophysics and Landscape Archaeology*, CRC Press, Leiden 2009, pp. 5-26.
- CAMPANA 2017 = S. CAMPANA, *Drones in Archaeology. State-of-the-Art and Future Perspectives*, in *Journal of Archaeological Prospection*, 9999 (2017), Wiley Online Library, pp. 1-22.

- CAMPANA - PIRO 2009 = S. CAMPANA, S. PIRO, *Seeing the Unseen. Geophysics and Landscape Archaeology*, Taylor & Francis, London 2009.
- CAMPANA - PRANZINI 2001 = S. CAMPANA, E. PRANZINI, *Il telerilevamento in archeologia*, in S. CAMPANA, M. FORTE (a cura di), *Remote Sensing in Archaeology: XI ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia, Certosa di Pontignano (Siena), 6-11 Dicembre 1999*, Firenze 2001, pp. 17-62.
- CAMPANA *et al.* 2006 = S. CAMPANA, R. FRANCOVICH, L. MARASCO, *Remote Sensing and Ground-Truthing of a Medieval Mound (Tuscany-Italy)*, in S. CAMPANA, M. FORTE (a cura di) *From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. Proceedings of the 2nd international workshop, CNR, Rome, Italy, December 4-7*, BAR International Series 1568, Cambridge 2006, pp. 491-496.
- CAMPANA *et al.* 2016 = S. CAMPANA, R. SCOPIGNO, G. CARPENTIERO, M. CIRILLO (a cura di), *Keep the Revolution Going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Università di Siena, Archaeopress, Oxford 2016.
- CAMPBELL 1987 = J. B. CAMPBELL 1987, *Introduction to Remote Sensing*, The Guilford Press, New York 1987.
- CAMPBELL - WYNNE 2011 = J. CAMPBELL, R. H. WYNNE, *Introduction to remote sensing*, The Guilford Press, V Edizione, New York 2011.
- CAMPEOL – PIZZINATO 2007 = G. CAMPEOL, C. PIZZINATO, *Metodologia per la valutazione dell'impatto archeologico*, in *Archeologia e Calcolatori, Vol. 18 (2007)*, pp. 273-292.
- CAMPEOL - PIZZINATO 2011 = G. CAMPEOL, C. PIZZINATO, *L'analisi Archeologica nei Processi di Valutazione Ambientale. Proposta Metodologica in Ambiente GIS*, in *Archeologia e Calcolatori, Vol. 18 (2011)*, pp. 273-292.
- CANNING 2005 = S. CANNING, *'Belief' in the Past: Dempster-Shafer Theory, GIS and Archaeological Predictive Modelling*, in *Australian Archaeology, Vol. 60 (2005)*, pp. 6-15.
- CANTONE - NICCOLUCCI 2001 = F. CANTONE, F. NICCOLUCCI, *New tools for Virtual Archaeology*, in *7th Annual Meeting European Association of Archaeologists, Esslingen am Neckar 2001*, cds.
- CAPPER 1907 = J. CAPPER, *Photographs of Stonehenge as seen from a war balloon*, in *Archeologia, Vol. 60 (1907)*, p. 571, Tav. 69-70.
- CARBONE - LENTINI 2015 = S. CARBONE, F. LENTINI, *Inquadramento geologico-regionale e substrato dell'Etna*, in S. BRANCA, M. COLTELLI, G. GROPELLI (a cura di), *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol. 98. Carta geologica del vulcano Etna 1:50.000*, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, pp. 9-28. Disponibile online all'indirizzo: http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/memorie-descrittive-della-carta-geologica-ditalia/memoriexcVIII/memdes_98_cap1.pdf

- CARMOSINO 2013 = C. CARMOSINO, *La Convenzione Quadro del Consiglio d'Europa sul Valore del Patrimonio Culturale per la Società*, in *Aedon. Rivista di arti e diritto online*, Vol. 1 (2013). Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.aedon.mulino.it/archivio/2013/1/carmosino.htm>
- CARR 1985 = C. CARR, *Introductory remarks on regional analysis*, in C. CARR (a cura di), *For Concordance in Archaeological Analysis: Bridging Data Structure, Quantitative Technique, and Theory*, Westport Publishers, Kansas 1985.
- CARUSO - NOBILI 2001 = E. CARUSO, A. NOBILI (a cura di), *Le mappe del catasto borbonico di Sicilia: territori comunali e centri urbani nell'archivio cartografico Mortillaro di Villarena: 1837-1853*, Regione Siciliana, Assessorato dei Beni Culturali ed Ambientali e della Pubblica Istruzione, Palermo 2001.
- CASANA 2007 = J. CASANA, *Structural transformations in settlement systems of the northern Levant*, in *American journal of Archaeology*, Vol. 112 (2007), pp. 195-221.
- CASANA 2015 = J. CASANA, *Satellite Imagery-Based Analysis of Archaeological Looting in Syria*, in *Near Eastern Archaeology*, Vol. 78, N. 3 (2015), Numero speciale: *The Cultural Heritage Crisis in the Middle East*, pp. 142-152.
- CASANA - COTHREN 2008 = J. CASANA, J. COTHREN, *Stereo analysis, DEM extraction and orthorectification of CORONA satellite imagery: archaeological applications from the Near East*, in *Antiquity*, Vol. 82 (2008), pp. 732-749.
- CASANA - PANAHIPOUR 2014 = J. CASANA, M. PANAHIPOUR, *Satellite-Based Monitoring of Looting and Damage to Archaeological Sites in Syria*, in *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*, Vol. 2, N. 2 (2014), pp. 128-151.
- CASANA *et al.* 2014 = J. CASANA, J. KANTNER, A. WIEWEL, J. COTHREN, *Archaeological aerial thermography: a case study at the Chaco-era Blu J community, New Mexico*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 45 (2014), pp. 207-219.
- CASAROTTO 2015 = A. CASAROTTO, *Location Preference Modelling Alias Predictive Modelling for the Study of Archaeological Contexts*, in G. PIZZILO, L. SARTI (a cura di), *Predicting Prehistory. Predictive Models and Field Research Methods for Detecting Prehistoric Contexts, Proceedings of the International Workshop Grosseto (Italy), September 19-20, 2013*, Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria "Paolo Graziosi", Firenze 2015, pp. 35-48.
- CASAROTTO - KAMERMANS 2013 = A. CASAROTTO, H. KAMERMANS, *Archaeological Predictive Modelling: a Proposal for the CRM of the Veneto Region*, abstract in *Opening the Past 2013. Archaeology of the Future, Pisa, 13-14-15 Giugno 2013*, pp. 10-11.
- CASAROTTO *et al.* 2009 = A. CASAROTTO, A. DE GUIO, F. FERRARESE, *ACTION GIS: Un Modello Predittivo del Movimento Antropico in un Paesaggio Antico. Il Caso di Studio Archeologico della Val d'Alpone (VR)*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 20 (2009), pp. 291-307.
- CASAROTTO *et al.* 2011 = A. CASAROTTO, A. DE GUIO, F. FERRARESE, G.

LEONARDI, *A GIS-Based Archaeological Predictive Model for the Study of Protohistorical Location-Allocation Strategies (Eastern Lessinia, VR/VI)*, in *IpoTESI di Preistoria*, Vol. 4, N. 2 (2011), pp. 1-24.

- CASTAGNOLI 1969 = F. CASTAGNOLI, *La Prospezione aerea negli studi di topografia antica*, in *Quaderni de "La Ricerca Scientifica"*, Vol. 60 (1969), pp. 7 sgg.
- CASTRORAO BARBA *et al.* 2016a = A. CASTRORAO BARBA, P. MARINO, G. BAZAN, S. VASSALLO, *LiDAR-derived DTM for historical landscape evaluation: the case study of the "Harvesting Memories" project (Castro Valley and Mt. Barraù, Corleone-Palermo)*, poster presentato a le *Journées de travail internationales TRAIL 2016 (Training and Research on the Archaeological Interpretation of LiDAR)*, *Domaine national de Chambord, France*, 17-20 May 2016.
- CASTRORAO BARBA *et al.* 2016b = A. CASTRORAO BARBA, A. ROTOLO, P. MARINO, S. VASSALLO, G. BAZAN, *Harvesting Memories Project: ricognizioni archeologiche nelle contrade Castro e Giardinello e nell'area di Monte Barraù (Corleone, Palermo)*, in *Notiziario Archeologico della Soprintendenza di Palermo*, Vol. 13, pp. 1-36.
- CASTRORAO BARBA *et al.* cds = A. CASTRORAO BARBA, G. BAZAN, A. ROTOLO, P. MARINO, *"Harvesting memories": Integrated approaches of human ecology and landscape archaeology in rural Sicily, the case of Castro Valley and Mt. Barraù (Corleone, PA)*, poster presentato a *LAC 2016. The 4th International Landscape Archaeology Conference, Uppsala*, 23-25 August 2016.
- CAVALIERI *et al.* 2009 = M. CAVALIERI, G. MAINARDI VALCARENGHI, A. NOVELLINI, *Il rilievo fotogrammetrico: un metodo alternativo di documentazione dello scavo archeologico. Casi applicativi presso la villa romana di Aiano-Torraccia di Chiusi (SI)*, in *The Journal of Fasti Online*. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2009-147.pdf>
- CAVALLI - PIGNATTI 2009 = R. M. CAVALLI, S. PIGNATTI, *Telerilevamento iperspettrale per rilievi archeologici*, in E. GIORGI (a cura di), *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, BraDypUS, Bologna 2009, pp. 159-169.
- CAVALLI *et al.* 1998 = R.M. CAVALLI, F. COLOSI, S. PIGNATTI, M. POSCOLIERI, *Il Telerilevamento aereo per lo studio dei beni archeologici. Applicazione dei dati iperspettrali sul Parco Archeologico di Selinunte*, Bulzoni, Roma 1998, pp. 339-361.
- CAVALLI *et al.* 2005 = R. M. CAVALLI, P. MEROLA, S. PIGNATTI, M. POSCOLIERI, *Telerilevamento iperspettrale MIVIS per lo studio delle testimonianze antropiche nell'area archeologica di Arpi (FG) Italia*, in *Rivista Italiana di Telerilevamento*, Vol. 33-34 (2005), pp. 109-117.
- CAVALLI *et al.* 2007 = R. M. CAVALLI, F. COLOSI, A. PALOMBO, S. PIGNATTI, M. POSCOLIERI, *Remote hyperspectral imagery as a support to archaeological prospection*, in

Journal of Cultural Heritage, Vol. 8 (2007), pp. 272-283.

- CERAUDO 2004 = G. CERAUDO, *Un secolo e un lustro di fotografia aerea archeologica in Italia (1899-2004)*, in *Archeologia Aerea. Studi di Aerotopografia Archeologica, Vol. 1 (2004)*, pp. 47-68.
- CERAUDO - PICCARRETA 2004 = G. CERAUDO, F. PICCARRETA (a cura di), *Archeologia aerea: studi di Aerofotografia Archeologica*, Libreria dello Stato, Roma 2004.
- CHADWICK 1978a = A. J. CHADWICK, *A computer simulation of Mycenaean settlement*, in I. HODDER (a cura di), *Simulation Studies in Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge 1978, pp. 47-57.
- CHADWICK 1978b = A. J. CHADWICK 1978, *Settlement simulation*, in C. RENFREW, D. COOKE (a cura di), *Transformations: mathematical approaches to cultural change*, Academic Press, New York 1978, pp. 237-55.
- CHASE *et al.* 2017 = A. S. Z. CHASE, D. Z. CHASE, A. F. CHASE, *LiDAR for Archaeological Research and the Study of Historical Landscape*, in N. MASINI, F. SOLDOVIERI (a cura di), *Sensing the past. From artifact to historical site*, Springer International Publishing, New York 2017, pp. 89-100.
- CHEN *et al.* 2015 = F. CHEN, N. MASINI, R. YANG, P. MILILLO, D. FENG, R. LASAPONARA, *A space view of Radar Archaeological marks: first applications of COSMO-SkyMed X-Band data*, in *Remote Sensing, Vol. 7 (2015)*, pp. 24-50.
- CHISHOLM 1962 = M. CHISHOLM, *Rural settlement and land use: an essay in location*, Hutchinson University Library, London 1962.
- CHOI 2003 = D. Y. CHOI, *Enhancing the power of Web search engines by means of fuzzy query*, in *Journal Decision Support Systems – Web retrieval and mining, Vol. 35 N. 1 (2003)*, pp. 31-44.
- CHYRSANTHI *et al.* 2012 = A. CHYRSANTHI, P. MURRIETA FLORES, K. PAPADOPOULOS, *Thinking beyond the tool. Archaeological computing and interpretative process*, in *BAR International Series 2344*, Archaeopress, Oxford 2012, pp. 7-214.
- CIANCIOLO COSENTINO 2012 = G. CIANCIOLO COSENTINO, *L'architetto e l'arabista. Un carteggio inedito: Lettere di Francesco Saverio Cavallari a Michele Amari (1843-1889)*, Assessorato dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana, Dipartimento dei Beni Culturali e dell'Identità Siciliana, Sicilia/Biblioteche on line 2, Palermo 2012.
- CIGLIOZZI 1997 = G. CIGLIOZZI, *Il testo e il computer*, Bruno Mondadori, Milano 1997.
- CIRNIGLIARO - FEDERICO 2015 = E. CIRNIGLIARO, A. FEDERICO, *Natura e Paesaggio*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurruda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 41-49.
- CITTER 2007a = C. CITTER, *Archeologia Urbana a Grosseto. Origine e sviluppo di una città medievale nella "Toscana delle città deboli". Le ricerche 1997-2005. Tomo II. Edizione degli*

scavi urbani 1998-2005, All'Insegna del Giglio, Firenze 2007.

- CITTER 2007b = C. CITTER, *La città di Grosseto nel quadro della viabilità romana e medievale della bassa valle dell'Ombrone*, in C. CITTER, A. ARNOLDUS-HUYZENDVELD (a cura di), *Archeologia urbana a Grosseto. Origine e sviluppo di una città medievale nella "Toscana delle città deboli". Le ricerche 1997-2005. Tomo I: la città nel contesto geografico della basse valle dell'Ombrone*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2007, pp. 98-116.
- CITTER 2012 = C. CITTER, *Modelli predittivi e archeologia postclassica: vecchi strumenti e nuove prospettive*, in F. REDDI, A. FORGIONE (a cura di), *Atti del VI Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, L'Aquila, 12-15 Settembre 2012*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2012, pp. 12-15.
- CITTER - ARNOLDUS HUYZENDVELD 2012 = CITTER, A. ARNOLDUS-HUYZENDVELD, *New Approaches to Old Issue: the Application of Predictive Maps in Archaeology. A Case Study: Modelling the Location of Grosseto's Salt Works from 700 BC to AD 12000*, in *Medieval Settlement Research, Vol. 27 (2012)*, 1-11.
- CITTER - ARNOLDUS HUYZENDVELD 2014 = C. CITTER, A. ARNOLDUS-HUYZENDVELD, *Site Location and Resources Exploitation: Predictive Models for the Plain of Grosseto*, in *Archeologia Medievale, Vol. 41 (2014)*, pp. 65-78.
- CITTER - PATACCHINI (cds) = C. CITTER, A. PATACCHINI, *Postdittività e viabilità: il caso della direttrice tirrenica*, in C. CITTER, S. NARDI COMBESCURE, F. R. STASOLLA (a cura di), *Tra la terra e il mare. La via Aurelia e il litorale tra il Lazio e la Toscana. Atti del Convegno Internazionale, Parigi, 6-7 Giugno 2014*, Spoleto cds.
- CITTER *et al.* 2013 = C. CITTER, A. ARNOLDUS-HUYZENDVELD, C. MACCANI 2013, *Predicting Site Location through Cost Surfaces. A Case Study and a Proposal*, in *Opening the past 2013. Archaeology of the future*, Pisa, 13-14-15 Giugno 2013, MapPapers 1-III, pp. 5-10.
- CITTER *et al.* 2016 = C. CITTER, A. ARNOLDUS-HUYZENDVELD, G. PIZZIOLLO, *Predictivity-Postdictivity: a Theoretical Framework*, in S. CAMPANA, R. SCOPIGNO, G. CARPENTIERO, M. CIRILLO (a cura di), *"Keep the Revolution Going". Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Siena 30 March–3 April 2015*, Archaeopress, Oxford 2016, pp. 593-598.
- CIURCINA 2004 = C. CIURCINA, *Paolo Orsi e l'avvio di scavi regolari a Gela*, in F. GIUDICE, R. PANVINI (a cura di), *TA ATTIKA. Veder greco a Gela. Ceramiche attiche figurate dell'antica colonia*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2004, pp. 145-147
- CLARK 1968 = D. L. CLARK, *Analytical archaeology*, Methuen & Co., London 1968.
- CLEWLEY *et al.* 2014 = D. CLEWLEY, P. BUNTING, J. SHEPHERD, S. GILLINGHAM, N. FLOOD, J. DYMOND, R. LUCAS, J. ARMSTON, M. MOGHADDAM, *A Python-Based Open Source System for Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA) Utilizing Raster Attribute Tables*, in *Remote Sensing, Vol. 6 (2014)*, pp. 6111-6135.
- COLECCHIA *et al.* 2011 = A. COLECCHIA, L. CASAGRANDE, F. CAVULLI, L. MURA, M. NEBBIA, *Paesaggi medievali del Trenito (progetto APSAT)*, in *Post-Classical Archaeologies, Vol. 1 (2011)*, pp. 245-274.

- COLOSI *et al.* 1995 = F. COLOSI, L. POMPEO, M. SANGIORGIO, C. ZAMBONI, *Elaborazione ed interpretazione di immagini telerilevate per lo studio sistematico delle testimonianze antropiche nel territorio. I casi di Palmyra e Selinunte*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 6 (1995), pp. 35-60.
- COLUCCI *et al.* 2008 = R. COLUCCI, I. MARCHETTA, M. OSANNA, F. SOGLIANI, *Un progetto per l'Archeologia urbana a Matera. Studio dei contesti urbani per la redazione della carta archeologica di Matera (CAM) tra Antichità e Medioevo*, in *SIRIS. Studi e ricerche della Scuola di Specializzazione in Archeologia di Matera*, Vol. 9 (2008), pp. 101-129.
- COLUZZI *et al.* 2011 = R. COLUZZI, N. MASINI, R. LASAPONARA, *Flights into the past: Full-Waveform airborne laser scanning data for archaeological investigation*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 38, N. 9 (2011), pp. 2061-2070.
- COMFORT 1997 = A. COMFORT, *Satellite remote sensing and archaeological survey on the Euphrates*, in *Archaeological Computing Newsletter*, Vol. 48 (1997), pp. 1-8.
- COMFORT *et al.* 2000 = A. COMFORT, C. ABADIE-REYNAL, R. ERGEC, *Crossing the Euphrates in Antiquity: Zeugma seen from space*, in *Anatolian Studies*, Vol. 50 (2000), pp. 99-126.
- CONSOLI 1988-1989 = A. CONSOLI, *Bronte-Maletto. Prima esplorazione e saggi di scavo archeologico nelle Contrade Balze Soprane, Santa Venera, Edera e Tartaraci*, in *BCA Sicilia*, Vol. IX-X, N. 3, pp. 74-79.
- CONTI 2015 = M. CONTI, *L'edificio di età greca*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 95-101.
- CONTI - LIBETTI 2015 = M. CONTI, S. LIBETTI, *Gli edifici di età bizantina*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 103-132.
- CONTRERAS - BRODIE 2010a = A. CONTRERAS, N. BRODIE, *Quantifying destruction: an evaluation of the utility of publicly-available satellite imagery for investigating looting of archaeological sites in Jordan*, in *Journal of Field Archaeology*, Vol. 35, N. 1 (2010), pp. 98-111.
- CONTRERAS - BRODIE 2010b = A. Contreras, N. Brodie, *Shining light on looting: using google Earth to quantify damage and awareness*, in *SAA Archaeological Record*, Vol. 10 (2010), pp. 30-33.
- COOL 2015 = A. C. COOL, *Aerial thermography in archaeological prospection: applications & processing*, MA Thesis, University of Arkansas, pp. 4-16.

- COPPOCK - RHIND 1991 = J. T. COPPOCK, D. W. RHIND, *The history of GIS*, in P. A. LONGLEY, M. F. GOODCHILD, D. J. MAGUIRE, D. W. RHIND (a cura di), *Geographical Information Systems, Vol. 1: Principles*, John Wiley & Sons, pp. 21-43. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.wiley.com/legacy/wileychi/gis/Volume1/BB1v1_ch2.pdf
- CORDANO 1997-1998 = F. CORDANO, *Nuove epigrafi di devozione da Camarina e da Cifali*, in *Kokalos, Vol. 43-44, Tomo I (1997-1998)*, pp. 293-297.
- CORNS - SHAW 2008 = A. CORNS, R. SHAW, *High resolution LiDAR for the recording of archaeological monuments & landscapes*, in R. Lasaponara, N. Masini (a cura di), *Proceedings of the 1st International EARSeL Workshop 'Advances on Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management'*, CNR, Roma, 30 Settembre-4 Ottobre 2008, pp. 99-102.
- CORRETTI *et al.* 2006 = A. CORRETTI, A. FACELLA, M. GARGINI, C. MICHELINI, M. A. VAGGIOLI, *Per una carta storico-archeologica del Comune di Contessa Entellina: dati archeologici preliminari (1998-2002)*, in C. MICHELINI 2006, *Guerra e pace in Sicilia e nel Mediterraneo antico (VIII-III secolo a.C.). Arte, prassi e teoria della pace e della guerra, Vol.2*, Scuola Normale Superiore, Pisa 2006, pp. 561-596.
- CORTI 2003 = L. CORTI, *I beni culturali e la loro catalogazione*, Bruno Mondadori, Milano 2003.
- COSTANTINO *et al.* 2015 = P. COSTANTINO, C. IGNACCOLO, M. MANGANI, M. MANGIAMELI, G. MUSSUMECI, *Sant'Agata "sicura": un'applicazione GIS per l'analisi del rischio e la gestione dei soccorsi*, in *GEOMedia, Vol. 4 (2015)*, pp. 28-34.
- COWLEY 2016 = D. COWLEY, *What do the Patterns Mean? Archaeological Distributions and Bias in Survey Data*, in M FORTE, S. CAMPANA (a cura di), *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology*, Springer-Verlag, Berlin 2016, pp. 147-170.
- CRACCO RUGGINI 1997 = L. CRACCO RUGGINI, *La Sicilia tardoantica e l'Oriente mediterraneo*, in *Kokalos, Vol. 43-44, Tomo I (1997-1998)*, pp. 243-269.
- CRAWFORD 1923 = O. G. S. CRAWFORD, *Celtic Fields*, in *Observer (1923)*.
- CRAWFORD 1924 = O. G. S. CRAWFORD, *The Stonehenge Avenue*, in *Antiquaries Journal, Vol. 4 (1924)*, pp. 57-59.
- CRAWFORD 1928 = O. G. S. CRAWFORD, *Air Survey and Archaeology*, H. M. Stationery Office, London 1928.
- CRAWFORD - KEILLER 1928 = O. G. S. CRAWFORD, A. KEILLER, *Wessex from the Air*, Clarendon Press, Oxford 1928.
- CRESCIOLI *et al.* 2000 = M. CRESCIOLI, A. D'ANDREA, F. NICCOLUCCI, *A GIS-based analysis of the Etruscan cemetery of Pontecagnano using fuzzy logic*, in G. LOCK (a cura di),

Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies, IOS Press, Amsterdam 2000, pp. 157-179.

- CRISTOFORI 2005 = A. CRISTOFORI, *Informatica Umanistica e Obiettivi Didattici*, in *Storicamente. Laboratorio di Storia, Vol. 1, Art. N. 60*. Disponibile online all'indirizzo: <http://storicamente.org/cristofori>
- CULTRARO 2012 = M. CULTRARO, *I Siculi all'ombra del vulcano: per una proposta di definizione dell'età del Bronzo recente e finale nella media valle del Simeto*, in M. CONGIU, C. MICCICHÈ, S. MODEO (a cura di), *Dal mito alla storia. La Sicilia nell'Archeologia di Tucidide. Atti del VIII Convegno di Studi*, Salvatore Sciascia Editore, Caltanissetta-Roma 2012, pp. 181-203.
- CUOMO DI CAPRIO 2007 = N. CUOMO DI CAPRIO, *Ceramica in Archeologia 2. Antiche tecniche di lavorazione e moderni metodi di indagine. Nuova edizione ampliata*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2007, pp. 655-656.
- DALLA BONA 1994 = L. DALLA BONA, *Ontario Ministry of Natural Resources Archaeological Predictive modelling project*, Thunder Bay 1994.
- D'ANDREA 2001 = A. D'ANDREA, *Discretizzazione e modello-dati nei sistemi GIS*, in *Archeologia e Calcolatori, Vol. 12 (2001)*, pp. 337-342.
- D'ANDREA 2004 = A. D'ANDREA, *L'entropia dell'archeologia computazionale ovvero dall'ordine al disordine*, in *Archeologia e Calcolatori, Vol. 15 (2004)*, pp. 238-219. Disponibile online all'indirizzo: http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF15/13_D'andrea.pdf
- D'ANDREA 2006 = A. D'ANDREA, *Documentazione Archeologica, Standard e Trattamento Informatico*, in *STRUMENTI 2, Collana del Centro Interdipartimentale di Servizi di Archeologia dell'Università degli Studi di Napoli L'Orientale*, ARCHAEOLOGIA, Budapest 2006.
- D'ANDREA 2008 = A. D'ANDREA, *Gli Standard nell'archeologia preventiva*, in A. D'ANDREA, M. P. GUERMANDI (a cura di), *Strumenti per l'archeologia preventiva: esperienze, normative, tecnologie*, ARCHAEOLOGIA, Budapest 2008, pp.95-106.
- D'ANDREA 2013 = A. D'ANDREA, *Preventive Archaeology, Open Data and Common Heritage*, in M. P. GUERMANDI, K.S. ROSSENBACH (a cura di), *Twenty Five Years After Malta: Preventive Archaeology in Europe and in Italy*, IBC, Bologna 2013, pp. 103-116.
- D'ANDREA - NICCOLUCCI 2000 = A. D'ANDREA, F. NICCOLUCCI, *L'archeologia computazionale in Italia: orientamenti, metodi e prospettive*, in A. D'ANDREA, F. NICCOLUCCI (a cura di), *Atti del I Workshop Nazionale di Archeologia Computazionale, Napoli-Firenze 1999, Archeologia e Calcolatori, Vol. 11 (2000)*, pp. 13-31. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF11/1.02%20Intro.pdf>
- DANESE *et al.* 2009 = M. DANESE, M. BISCIONE, R. COLUZZI, R. LASAPONARA, B. MURGANTE, N. MASINI, *An integrated methodology for Medieval landscape reconstruction: the case study of Monte Serico*, in O. GERVASI (a cura di), *ICCSA 2009, Part. I*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2009, pp. 328-340.

- DANESE *et al.* 2014 = M. DANESE, N. MASINI, M. BISCIONE, R. LASAPONARA, *Predictive Modelling for Preventive Archaeology: Overview and Case Study*, in *Central European Journal of Geosciences*, Vol. 6, N. 1 (2014), pp. 42-55.
- DEEBEN 2008 = J. H. C. DEEBEN (a cura di), *De Indicatieve Kaart van Archeologische Waarden, derde generatie*, in *RACM, Rapportage Archeologische Monumentenzorg*, Vol. 155 (2008). Disponibile online all'indirizzo:
<https://cultureelerfgoed.nl/sites/default/files/publications/ram155-de-indicatieve-kaart.pdf>
- DEEBEN *et al.* 1997 = J. H. C. DEEBEN, D. P. HALLEWAS, J. KOLEN, R. WIEMER, *Beyond the crystal ball. Predictive modelling as a tool in archaeological heritage management and occupation history*, in W. J. H. WILLEMS, H. KARS, D. P. HALLEWAS (a cura di), *Archaeological Heritage Management in the Netherlands. Fifty years state service for archaeological investigations*, in *Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek*, Assen-Amersfoort 1997, pp. 76-118.
- DEEBEN *et al.* 2002 = J. H. C. DEEBEN, D. P. HALLEWAS, Th. J. MAARLEVELT, *Predictive modelling in archaeological heritage management of the Netherlands. The indicative map of archaeological values (2nd generation)*, in *Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek*, Vol. 45 (2002), pp. 9-56.
- DEETZ 1965 = J. DEETZ, *The dynamics of stylistic change in Ankara ceramics*, in *Illinois Studies in Anthropology*, Vol. 4, The University of Illinois Press, Urbana 1965.
- DE GUIO 2000 = A. DE GUIO, *Power to the people? 'Paesaggi di potere' di fine millennio...*, in G. CAMASSA, A. DE GUIO, F. VERONESE (a cura di), *Paesaggi di potere: problemi e prospettive*, *Atti del Convegno, Udine, 16-17 Maggio 2000*, Quasar, Roma 2000, pp. 3-29.
- DE GUIO 2015 = A. DE GUIO, *Nuove linee di ricerca fra archeologia pre-dittiva e post-dittiva*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 26 (2015), pp. 301-313. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF26/34_De%20Guio.pdf
- DE GUIO *et al.* 2013 = A. DE GUIO, A. BETTO, M. MIGLIAVACCA, L. MAGNINI, *Mountain Fossil Landscapes and the "Archaeology of Us": an object/pattern/scenery Recognition Experiment*, in F. LUGLI, A. A. STOPPIELLO, S. BIAGETTI, *Proceedings of the 5th International Congress of Ethnoarchaeology, Roma, ISAO, May 13-14 2010*, Archaeopress, Oxford 2013, pp. 241-247.
- DE GUIO *et al.* 2015a = A. DE GUIO, M. MIGLIAVACCA, R. DEIANA, G. STRAPAZZON 2015, *Remote Sensing e Archeologia di un Paesaggio Marginale*, in *European Journal of Post Classical Archaeology*, Vol. 5 (2015), pp. 245-260.
- DE GUIO *et al.* 2015b = A. DE GUIO, L. MAGNINI, C. BETTINECHI, *GeoBIA Approaches to Remote Sensing of Fossil Landscapes: Two Case Studies from Northern Italy*, in A. TRAVIGLIA (a cura di), *CAA 2013, Across Space and Time. Papers from the 41st Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Perth, 25-28 March 2013*, Amsterdam University Press, Amsterdam 2015, pp. 45-53.
- DE LAET *et al.* 2006 = V. DE LAET, E. PAULISSEN, M. WAELEKENS, *Methods for the extraction of archaeological features very high-resolution Ikonos-2 remote sensing imagery, Hisar (southwest Turkey)*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 34, N. 2007 (2006), pp.

- DE LUCA 1883 = G. DE LUCA, *Storia della città di Bronte*, Tipografia San Giuseppe, Milano 1883. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.bronteinsieme.it/PDF/G_De_Luca-Storia_dl_Bronte.pdf
- D'EREDITÀ *et al.* 2016 = A. D'EREDITÀ, A. FALCONE, D. PATE, P. ROMI, *Strategie di divulgazione dell'archeologia online: metodologie, strumenti e obiettivi. Dalla redazione del piano editoriale alla misurazione dei risultati*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 27 (2016), pp. 331-352.
- DE SCHACT *et al.* 2008 = T. DE SCHACT, W. GHEYLE, R. GOOSSENS, A. DE WULF, *Archaeological research and CORONA: on the use, misuse and full potential of historical remote sensing data*, in J. CORDOBA, M. MOLIST, M. C. PEREZ, I. RUBIO, S. MARTINEZ (a cura di), *Proceedings of the V International Congress on the Archaeology of the ancient Near East, Madrid, 3-8 Aprile 2006*, Universidad Autónoma Madrid, Madrid 2008, pp. 611-618.
- DE SILVA - PIZZIOLO 2000 = M. DE SILVA, G. PIZZIOLO, *Setting Up a 'Human Calibrated' Anisotropic Cost Surface for Archaeological Landscape Investigation*, in Z. STANČIČ, T. VELJANOVSKI (a cura di), *Computing Archaeology for Understanding the Past. CAA 2000. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 28th Conference, Ljubljana, April 2000*, BAR International Series 931, Archaeopress, Oxford 2000, pp. 279-286.
- DE SMEDT *et al.* 1999 = K. DE SMEDT, H. GARDINER, E. ORE, T. ORLANDI, H. SHORT, J. SOUILLOT, W. VAUGHAN (a cura di), *Computing in Humanities Education. A European perspective*, University of Bergen, HIT-Centre, Bergen 1999.
- DEVEREUX *et al.* 2005 = J. DEVEREUX, G. S. AMABLE, P. CROW, A. D. CLIFF, *The potential of airborne lidar for detection of archaeological features under woodland canopies*, in *Antiquity*, Vol. 79, N. 305 (2005), pp. 648-660.
- DEVEREUX *et al.* 2008 = B. J. DEVEREUX, G. S. AMABLE, P. CROW, *Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection*, in *Antiquity*, Vol. 82, N. 316 (2008), pp. 470-479.
- DE VIDO 1992 = S. DE VIDO, *Cronaca del Convegno «Paolo Orsi e l'archeologia del '900, Atti del Convegno, Rovereto 1990»*, in *Archivio storico per la Calabria e la Lucania*, Vol. 59, pp. 205-213.
- DI ZIO - BERNABEI 2009 = S. DI ZIO, D. BERNABEI, *Un Modello GIS Multicriterio per la Costruzione di Mappe di Plausibilità per la Localizzazione di Siti Archeologici: il Caso della Costa Teramana*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 20 (2009), pp. 309-329.
- DJINDJIAN 1996 = F. DJINDJIAN, *Méthode archéologique assistée par ordinateur*, in P. MOSCATI (a cura di), *III International Symposium on Computing and Archaeology*, *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 7 (1996), pp. 1259-1266.
- DONEUS - BRIESE 2006 = M. DONEUS, C. BRIESE, *Full-waveform air-borne laser*

scanning as a tool for archaeological reconnaissance, in S. Campana, M. Forte (a cura di), *From space to place. Proceeding of the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology, Roma, 4-7 Dicembre 2006*, BAR International Series, Oxford, pp. 99-105.

- DONEUS *et al.* 2008 = M. DONEUS, C. BRIESE, M. FERA, M. JANNER, *Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning*, in *Journal of Archaeological Science, Vol. 35, N. 4 (2008)*, pp. 882-893.
- DOWNEY 1980 = R. R. DOWNEY, 'A history of archaeological air photography in Great Britain', in *Orbit, Vol. 1 (1980)*, pp. 1-21.
- DUBBINI 2013 = N. DUBBINI, *L'Algoritmo MAPPA*, in F. ANICHINI, N. DUBBINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, M. L. GUALANDI (a cura di), *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico, Vol. 2*, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2013, pp. 101-113.
- DUBBINI *et al.* 2015 = N. DUBBINI, G. GATTIGLIA, A. PALOMBINI, *Looking for the Best. A Comparison Between GIS and PageRank Based Algorithms for Preventive Archaeology in Urban Areas*, in F. GILIGNY, F. DJINDJIAN, L. COSTA, P. MOSCATI, S. ROBERT (a cura di), *CAA 2014, 21st Century Archaeology, Concepts, Methods and Tools. Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Paris, 22-25 April 2014*, Archaeopress, Oxford 2015, pp. 413-422.
- DUINEVELD *et al.* 2013 = M. DUINEVELD, K. ASSCHE, K. BEUNEN 2013, *Malta's Unintentional Consequences: Archaeological Heritage and the Politics of Exclusion in the Netherlands*, in *Public Archaeology, Vol. 12, N. 3 (2013)*, pp. 139-154.
- DULLI *et al.* 2009 = S. DULLI, S. FURINI, E. PERON 2009, *Data Mining. Metodi e Strategie*, Springer-Verlag, Mailand 2009.
- EBERT 2000 = J. I. EBERT, *The State of the Art in Inductive Predictive Modeling: Seven Big Mistakes (and Lots of Smaller Ones)*, in K.L. WESCOTT, R.J. BRANDON (a cura di), *Practical Applications of GIS for Archaeologists. A Predictive Modeling Kit*, Taylor & Francis, London 2000, pp. 129-134.
- ECO 1988 = U. ECO, *Osservazioni sulla nozione di giacimento culturale*, in U. ECO, F. ZERI, R. PIANO, A. GRAZIANI (a cura di), *Le isole del tesoro. Proposte per la riscoperta e la gestione delle risorse culturali*, IBM Italia-Presscolor, Milano 1988, p. 15.
- ECO - SEBEOK 2000 = U. ECO, T. A. SEBEOK, *Il segno dei tre. Holmes, Dupin, Peirce*, Bompiani, Milano 2000.
- EMMOLO *et al.* 2004 = D. EMMOLO, V. FRANCO, M. LO BRUTTO, P. ORLANDO, B. VILLA, *Hyperspectral techniques and GIS for archaeological investigation*, in *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 35, Part. B7 (2004)*, pp. 492-497.
- EPPELBAUM 2009 = L. EPPELBAUM, *Near-surface temperature survey: an independent tool for delineation of buried archaeological targets*, in *Journal of Cultural Heritage, Vol. 10, Supplemento 1 (2009)*, pp. 93-103.

- EVANS *et al.* 2007 = D. EVANS, C. POTTIER, R. FLETCHER, M. BARBETTI, *A comprehensive archaeological map of the world's largest preindustrial settlement complex at Angkor, Cambodia*, in M. D. COE (cura di), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, N. 36 (2007), pp. 14277-14282.
- EYSENCK - WILSON 1973 = H. J. EYSENCK, G. D. WILSON (a cura di), *The Experimental Study of Freudian Theories*, Methuen, London 1973, p. 380.
- FABIANI 2012 = F. FABIANI, *L'acquisizione della Documentazione Archeologica*, in F. ANICHINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, M. L. GUALANDI (a cura di), *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico*, Vol. 1, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2012, pp. 23-30.
- FABIANI - GATTIGLIA 2012 = F. FABIANI, G. GATTIGLIA, *La Struttura Informatica di Archiviazione*, in F. ANICHINI, F. FABIANI, G. GATTIGLIA, M. L. GUALANDI (a cura di), *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico*, Vol. 1, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2012, pp. 41-72.
- FELLE 2016 = A. FELLE, *Oltre EAGLE. L'international Digital Epigraphy Association (IDEA). Una presentazione in anteprima*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 27 (2016), pp. 353-359.
- FINKE *et al.* 2008 = P. A. FINKE, E. MEYLEMANS, J. VAN DE WAUWA, *Mapping the Possible Occurrence of Archaeological Sites by Bayesian Inference*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 35 (2008), pp. 2786-2796.
- FITZPATRICK 2010 = K. FITZPATRICK, "Reporting from the Digital Humanities 2010 Conference", in *Chronicle of Higher Education. ProfHacker, Teaching, tech, and productivity*. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.chronicle.com/blogs/profhacker/reporting-from-the-digital-humanities-2010-conference/25473>
- FOKKENS 2005 = H. FOKKENS, *Voorbeeldige voorouders: graven naar de ideeënwereld van prehistorische boerenemeenschappen*, Leiden University Press, Leiden 2005.
- FORTE 1997 = M. FORTE, *Archeologia. Percorsi virtuali nelle civiltà scomparse*, in *Guide Archeologiche*, Mondadori, II Edizione, Milano 1997.
- FORTE 2002 = M. FORTE, *I Sistemi Informativi Geografici in archeologia*, Edizioni MondoGIS, Roma 2002.
- FORTE 2007 = M. FORTE (a cura di), *La Villa di Livia. Un percorso di ricerca di archeologia virtuale*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2007.
- FORTE - CAMPANA 2016 = M. FORTE, S. CAMPANA, *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology. Archaeology in the Age of Sensing*, Springer, New York 2016.
- FOWLER 1993 = M. J. F. FOWLER, *Stonehenge from space*, in *Spaceflight*, Vol. 35 (1993), pp. 130-132.

- FOWLER 1996 = M. J. F. FOWLER, *High-resolution satellite imagery in archaeological application: a Russian satellite photograph of the Stonehenge region*, in *Antiquity*, Vol. 70 (1996), pp. 667-671.
- FOWLER 2002 = M. J. F. FOWLER, *Satellite Remote Sensing and Archaeology: a comparative study of satellite imagery of the environs of Figsbury Ring*, in *Wiltshire Archaeological Prospection*, Vol. 9 (2002), pp. 55-69.
- FOWLER 2004 = M. J. F. FOWLER, *Declassified CORONA KH-4B satellite photography of remains from Rome's desert frontier*, in *International journal of Remote Sensing*, Vol. 25 (2004), pp. 3549-3554.
- FOWLER - FOWLER 2005 = M. J. F. FOWLER, Y. M. FOWLER, *Detection of archaeological crop marks on declassified CORONA KH-4B intelligence satellite photography of Southern England*, in *Archaeological Prospection*, Vol. 12 (2005), pp. 257-264.
- FRANCOVICH *et al.* 2001 = R. FRANCOVICH, A. PELLICANÒ, M. PASQUINUCCI, *La Carta Archeologica fra Ricerca e Pianificazione Territoriale. Atti del Seminario di Studi Organizzato dalla Regione Toscana, Dipartimento delle Politiche Formative e dei Beni Culturali, All'Insegna del Giglio, Firenze 2001.*
- FRASCA 1997 = M. FRASCA, *È anonima la città siculo-greca di Monte S. Mauro di Caltagirone?*, in *La Parola del Passato* (1997), pp. 407-417.
- FRASER *et al.* 2002 = C. S. FRASER, L. PAVLIDIS, C. OGLEBY, *The application of High-resolution satellite imagery for the detection of ancient Minoan features on Crete*, in G. BURENHULT, J. ARVIDSSON (a cura di), *Archaeological Informatics: Pushing The Envelope. CAA2001. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 29th Conference, Gotland, April 2001*, BAR International Series 1016, Archaeopress, Oxford 2002, pp. 393-400.
- GAMBINO 1988 = R. GAMBINO, *Principi generali di valutazione con riferimento particolare all'apprezzamento sociale di valori culturali*, Formez, Napoli 1988.
- GAMBLE 2008 = C. GAMBLE, *Hidden landscapes of the body*, in B. DAVID, J. THOMAS (a cura di), *Handbook of landscape archaeology*, Left Coast Press, Walnut Creek 2008, pp. 256-262.
- GALIATSATOS 2004 = N. GALIATSATOS, *Assessment of the CORONA series of satellite imagery for landscape archaeology. A case study from the Orontes valley, Syria*, Department of Geography, University of Durham, Durham 2004.
- GALVAGNO 2005 = E. GALVAGNO (a cura di), *Vices Temporum - Atti della giornata di studio nel 150° anniversario della nascita di Benedetto Radice*, Biblioteca storica di Bronte Esiodo, Bronte 2005.
- GALVAGNO 2006 = E. GALVAGNO, *Tra antiquaria e storia: Siculi, Greci e Romani nel territorio dell'Alto Simeto*, in *Annali della Facoltà di Scienze delle Formazione Università degli Studi di Catania*, Vol. 5 (2006), pp. 35-43. Disponibile online all'indirizzo:

- GARGALLO 1967-1968 = G. GARGALLO DI CASTEL LENTINI, *Corrispondenza fra Paolo Orsi ed il Marchese Gargallo*, in «Archivio Storico Siracusano», Vol. 23-24 (1967-1968), p. 196.
- GATTIGLIA 2013 = G. GATTIGLIA, *MAPPA. Pisa Medievale: Archeologia, Analisi spaziali e modelli predittivi*, Edizione Nuova Cultura, Roma 2013.
- GAUCH 2003 = H. G. GAUCH Jr, *Scientific Method in Practice*, Cambridge University Press, Cambridge 2003, pp. 318-319.
- GAUCH - ZOBEL 1988 = H. G. GAUCH, R. W. ZOBEL, *Predictive and Postdictive Success of Statistical Analyses of Yield Trials*, in *Theoretical and Applied Genetics*, Vol. 76, N. 1 (1988), pp. 1-10.
- GAUCH - ZOBEL 1990 = H. G. GAUCH, R. W. ZOBEL, *Imputing Missing Yield Trial Data*, in *Theoretical and Applied Genetics*, Vol. 79, N. 6 (1990), pp. 753-761.
- GELICHI 1992 = S. GELICHI, *Programmi di Tutela e Programmazione Archeologica nei Centri Storici*, in J. BERMUDEZ LOPEZ, *Coloquio Hispano-Italiano de Arqueologia Medieval*, Granada 1990, pp. 95-108.
- GELICHI 2001 = S. GELICHI (a cura di), *Dalla carta di rischio archeologico di Cesena alla tutela preventiva urbana in Europa*, in *Atti del Convegno tenutosi a Cesena, il 5-6 Marzo 1999*, Edizioni All'insegna del Giglio, Firenze 2001.
- GELICHI *et al.* 1999 = S. GELICHI, A. ALBERTI, M. LIBRENDI, *Cesena: la Memoria del Passato. Archeologia Urbana e Valutazione dei Depositi*, All'insegna del Giglio, Firenze 1999.
- GENNARO 2017 = A. GENNARO, *La predittività archeologica come strumento di pianificazione ambientale*, in AA.VV., *Atti della XIX Conferenza Nazionale SIU. "Cambiamenti. Responsabilità e strumenti per l'urbanistica al servizio del paese"*, Catania 16-18 Giugno 2016, Planum Publisher, Roma-Milano 2017, pp. 264-269.
- GENNARO - GENNARO 2017 = A. M. GENNARO, R. GENNARO, *Il mondo salverà la bellezza? Alcune considerazioni sulla distruzione del patrimonio culturale*, in *L'Indice Penale*, Anno III, N. 1 (2017), pp. 309-330.
- GIANNOBILE 2002 = S. GIANNOBILE, *Medaglioni magico-devozionali della Sicilia tardoantica*, in *Jahrbuch für. Antike und Christentum*, Vol. 45 (2002), pp. 135-146.
- GIANNOBILE – JORDAN 2006 = S. GIANNOBILE, D. R. JORDAN, *A lead phylactery from colle San Basilio (Sicily)*, in *Greek, Roman, Byzantine Studies (GRBS)*, Vol. 46 (2006), pp. 73-86.
- GIARDINO 2011 = M. J. GIARDINO, *A history of NASA remote sensing contributions to archaeology*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 38 (2011), pp. 2003-2009.

- GIARDINO 2012 = M. J. GIARDINO, *NASA Remote Sensing and Archaeology*, in R. Lasaponara, N. Masini (a cura di), *Satellite Remote Sensing. A New Tool for Archaeology*, Springer-Verlag, New York 2012, pp. 157-174.
- GIARDINO - THOMAS 2002 = M. J. GIARDINO, M. THOMAS, *NASA remote sensing research as applied to Archaeology*, in *The SAA Archaeological Record, Vol. 2, N. 3 (2002)*, pp. 15-19.
- GILLINGS 1999 = M. GILLINGS, *Engaging Place: a Framework for the Integration and Realisation of Virtual-Reality Approaches in Archaeology*, in DINGWALL, L., S. EXON, V. GAFFNEY, S. LAFLIN AND M. VAN LEUSEN (a cura di), *Archaeology in the Age of the Internet, CAA97, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 25th Anniversary Conference, University of Birmingham, April 1997*, BAR International Series 750, Archaeopress, Oxford 1999, pp. 247-254.
- GINZBURG 1979 = C. GINZBURG, *Spie. Radici di un paradigma indiziario*, in A. GARGANI (a cura di), *Crisi della ragione*, Einaudi, Torino 1979, pp. 57-106.
- GONTHIER *et al.* 2012 = P. GONTHIER, G. LIONE, E. C. BORGOGNO MONDINO 2012, *Tree health monitoring: perspectives from the visible and near infrared remote sensing*, in *Forest@, Vol. 9 (2012)*, pp. 89-102.
- GOODCHILD 2008 = M. F. GOODCHILD, *What does Google Earth mean for the Social Sciences?*, in M. Dodge, M. Mcderby, M. Turner (a cura di), *Geographic Visualization*, John Wiley & Sons, Chichester 2008, pp. 11-23.
- GOOSSENS *et al.* 2006 = R. GOOSSENS, A. DE WULF, J. BOURGEOIS, W. GHEYLE, T. WILLEMS, *Satellite imagery and archaeology: the example of CORONA in the Altai Mountains*, in *Journal of Archaeological Science, Vol. 33 (2006)*, pp. 745-755.
- GREEN 2006 = K. GREEN, *Landsat in Context: the land remote sensing business model*, in *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 72, N. 10 (2006)*, pp. 1147-1153.
- GREGORY - COOPER 2009 = I. N. GREGORY, D. COOPER, “*Thomas Gray, Samuel Taylor Coleridge and Geographical Information Systems: A Literary GIS of Two Lake District Tours*”, in *International Journal of Humanities and Arts Computing, Vol. 3, N. 1-2 (2009)*, pp. 61-84;
- GREGORY - ELL 2007 = I. N. GREGORY, P. S. ELL, *Historical GIS: Techniques, methodologies and scholarship*, The Cambridge University Press, Cambridge, NY 2007.
- GREGORY - GEDDES 2014 = I. N. GREGORY, A. GEDDES, ‘*Introduction: From Historical GIS to Spatial Humanities: Deeping scholarship and broadening technology*’, in I. N. GREGORY, A. GEDDES (a cura di), *Towards Spatial Humanities: Historical GIS and Spatial History*, Indiana University Press, Bloomington 2014, pp. 9-19.

- GREGORY - HARDIE 2011 = I. N. GREGORY, A. HARDIE, “*Visual GISTing: Bringing together corpus linguistics and Geographical Information Systems*”, in *Literary and Linguistic Computing*, Vol. 26, N. 3 (2011), pp. 297-314.

- GREGORY *et al.* 2014 = I. N. GREGORY, A. BARON, D. COOPER, A. HARDIE, P. MURRIETA-FLORES, P. RAYSON, *Crossing Boundaries: Using GIS in Literary Studies, History and Beyond*, in A. DA SILVA (a cura di), *Keys for architectural history research in the digital era*, Collections électroniques de l’INHA, Paris 2014. Disponibile online all’indirizzo:
<http://inha.revues.org/4931>

- GUALANDI 2013 = M. L. GUALANDI, *Introduzione*, in *MAPPA. Metodologie Applicate alla Predittività del Potenziale Archeologico*, Edizioni Nuova Cultura, Roma 2013, p. 7.

- GUARNIERI 2000 = C. GUARNIERI (a cura di) 2000, *Progettare il passato. Faenza tra Pianificazione Urbana e Carta Archeologica*, All’Insegna del Giglio, Firenze 2000.

- GUEMANDI 2001 = M. P. GUEMANDI (a cura di), *Rischio archeologico: se lo conosci lo eviti*, All’Insegna del Giglio, Firenze 2001.

- GUEMANDI 2008 = M. P. GUEMANDI 2008, *CART tra Passato e Futuro. Vita Pericolosa di un Sistema Complesso*, in A. D’ANDREA, M. P. GUEMANDI (a cura di), *Strumenti per l’Archeologia Preventiva: Esperienze, Normative, Tecnologie*, Archaeolingua, Budapest 2008, pp. 33-41.

- GUIDI 1994 = A. GUIDI, *I metodi della ricerca archeologica*, Laterza, Roma-Bari 1994, pp. 13-14.

- GULL 2015 = P. GULL, *Archeologia preventiva. Il codice appalti e la gestione del rischio archeologico*, Flaccovio Editore, Palermo 2015.

- GULL 2016 = P. GULL, *Dalla “bonifica archeologica” alla gestione del rischio. Nuove sfide per la ricerca e la tutela*, in *Il Capitale Culturale, Studies on the Value of Cultural Heritage*, Vol. 14 (2016), pp. 1055-1081.

- GUZZETTA 2010 = G. GUZZETTA, *La moneta nella Sicilia bizantina*, in M. CONGIU, S. MODEO, M. ARNONE (a cura di), *La Sicilia bizantina: storia, città e territorio*, Sciascia Editore, Caltanissetta 2010, pp. 169-188.

- HADJIMITSIS *et al.* 2013 = D. G. HADJIMITSIS, A. AGAPIOU, K. THEMISTOCLEOUS, D. M. ALEXAKIS, A. SARRIS, *Remote Sensing for Archaeological Applications: Management, Documentation and Monitoring*, in D. G. HADJIMITSIS (a cura di), *Remote Sensing of Environment: Integrated Approaches*, Chapter III, InTechOpen 2013, pp. 57-95.

- HARDMEIER 2000 = C. HARDMEIER, *Was ist Computerphilologie? Theorie, Anwendungsfelder und Methoden-eine Skizze*, in C. HARDMEIER, W. D. SYRING (a cura di), *Ad Fontes! Quellen erfassen-lesen-deuten. Was ist Computerphilologie? Ansatzpunkte und Methodologie – Instrumente und Praxis*, VU University Press, Amsterdam 2000, pp. 9-31.
- HARGRAVE 2006 = M. L. HARGRAVE, *Ground truthing the results of Geophysical survey*, in J. Johnson (a cura di), *Remote Sensing in Archaeology: An explicitly North American Perspective*, The University of Alabama Press, Tuscaloosa 2006, pp. 269-304.
- HAY - CASTILLA 2008 = G. J. HAY, G. CASTILLA, *Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline*, in T. BLASCHKE, S. LANG, G. J. HAY, *Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Springer, Berlin 2008, pp. 75-89.
- HAYES 1972 = J. W. HAYES, *Late Roman Pottery*, British School at Rome.
- HIGGINBOTTOM *et al.* 2002 = G. HIGGINBOTTOM, K. SIMPSON, R. CLAY, *Using Viewsheds Wisely: Developing Sound Methodologies from Spatial Analyses of Megalithic Monuments in Western Scotland*, in G. BURENHULT (a cura di), *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope CAA 2001*, BAR International Series 1016, Oxford 2002, pp. 53- 62.
- HIGGS - VITA FINZI 1972= E. S. HIGGS, C. VITA-FINZI, *Prehistoric economies. A territorial approach*, in E. S. HIGGS (a cura di), *Papers in economic prehistory*, Cambridge University Press, Cambridge 1972, pp. 27-36.
- HITCHINGS *et al.* 2013 = P. M. N. HITCHINGS, K. ABU-JAYYAB, P. BIKOULIS, E.B. BANNING 2013, *A Bayesian approach to archaeological survey in north-west Jordan*, in *Antiquity, Vol. 87, N. 336 (2013)*, Archaeology Centre, University of Toronto, Canada. Disponibile online all'indirizzo:
<http://antiquity.ac.uk/projgall/hitchings336/>
- HITCHINGS *et al.* 2016 = P. M. N. HITCHINGS, P. BIKOULIS, S. EDWARDS, E.B. BANNING 2016, *Predict and confirm: bayesian survey and excavation at three candidate sites for late neolithic occupation in Wadi Quseiba, Jordan*, in S. CAMPANA, R. SCOPIGNO, G. CARPENTIERO. M. CIRILLO (a cura di), *CAA 2015. Keep the revolution going*. Proceedings of the 43rd Annual Conference of Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Archaeopress, Oxford 2016, pp. 605–11.
- HODDER 1982 = I. HODDER, “Theoretical archaeology: A reactionary view”, in I. HODDER (a cura di), *Symbolic and Structural Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge 1982, pp. 1-16.
- HODDER 1986 = I. HODDER, *Reading the Past. Current Approaches to Interpretation in Archaeology*, Cambridge University Press, Cambridge 1986.
- HODDER 1999 = I. HODDER, *The Archaeological Process: An Introduction*, Blackwell, Oxford 1999.
- HODDER 2000 = I. HODDER, *Towards Reflexive Method in Archaeology: The Example at Çatalhöyük*, McDonald Institute for Archaeological Research, Cambridge 2000.
- HODDER - ORTON 1976 = I. HODDER, C. ORTON, *Spatial Analysis in Archaeology*,

Cambridge University Press, New York & London 1976.

- HOFMANN *et al.* 2008 = P. HOFMANN, J. STROBL, T. BLASCHKE, H. KUX, *Detecting informal settlement from QuickBird data in Rio de Janeiro using an object based approach*, in T. BLASCHKE, S. LANG, G. J. HAY (a cura di), *Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Springer, Heidelberg, Berlin, New York, pp. 537-560.
- HOLCOMB 2001 = D. W. HOLCOMB, *Imaging Radar and archaeology survey: an example from the Gobi desert of Southern Mongolia*, in *Journal of Field Archaeology*, Vol. 28, N. 1-2 (2001), pp. 131-141.
- HOLCOMB - SHINGIRAY 2007 = D. W. HOLCOMB, I. L. SHINGIRAY, *Imaging Radar in Archaeological Investigations: an image processing perspective*, in J. WISEMAN, F. EL-BAZ (a cura di), *Remote Sensing in Archaeology*, Springer, New York 2007, pp. 11-45.
- HOLM 1896 = A. HOLM, *Storia della Sicilia nell'antichità*, tr. it., I, Sala Bolognese 1974 (rist. anast. Torino 1896-1901), p. 221.
- HUANG *et al.* 2017 = H. HUANG, J. CHEN, Z. LI, F. GONG, N. CHEN, *Ontology-Guided Image Interpretation for GEOBIA of High Spatial Resolution Remote Sense Imagery: a Coastal Area Case Study*, in *ISPRS, International Journal of Geo-Information*, Vol. 6, N. 4 (2017), pp. 1-17.
- HUETE 1988 = A. R. HUETE, *A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*, in *Remote Sensing of Environment*, Vol. 25 (1988), pp. 53-70.
- HUGGETT 2004 = J. HUGGETT, *Archeology and the new technological fetishism*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 15 (2004), pp. 81-92. Disponibile online all'indirizzo: http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF15/05_Hugget.pdf
- HUGGETT 2012 = J. HUGGETT, *Core or periphery? Digital Humanities from an archaeological perspective*, in *Historical Research / Historische Sozialforschung*, Vol. 37, N. 3 (2012), p. 86-105.
- IMMÈ - VALENTI cds = G. IMMÈ, V. VALENTI (a cura di), *150° della nascita di Giulio Emanuele Rizzo, Melilli, 30 Maggio 2015*, cds.
- ISARIN *et al.* 2009 = R. ISARIN, P. VERHAGEN, B. GOUDSWAARD, *Archaeology as a risk in spatial planning: manoeuvring between objectivity and subjectivity*, in H. KAMERMANS, M. VAN LEUSEN, P. VERHAGEN (a cura di), *Archaeological prediction and risk management. Alternatives to current practice*, Leiden University Press, Leiden 2009, pp. 41-48.
- JACKSON - HUETE 1991 = R. D. JACKSON, A. R. HUETE, *Interpreting vegetation indices*, in *Preventive Veterinary Medicine*, Vol. 11 (1991), pp. 185-200. Disponibile online all'indirizzo: <http://www.uprm.edu/biology/profs/chinea/gis/lectesc/intvegindx.pdf>
- JENSEN 2007 = J. R. JENSEN, *Remote sensing og the environment: an earth perspective*, 2nd edition, Prentice Hall, Upper Saddle River.

- JIANG *et al.* 2017 = H. JIANG, F. L. CHEN, P. P. TANG, G. L. LIU, W. K. LIU, H. C. WANG, X. LU, X. L. ZHAO, *Radar remote sensing for archaeology in Hangu frontier pass in Xin'an, China*, in *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 57. Disponibile online all'indirizzo:
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/57/1/012031/pdf>
- JOHANSEN *et al.* 2010 = K. JOHANSEN, R. BARTOLO, S. PHINN, *Special Feature – Geographic Object-Based Image Analysis*, in *Journal of Spatial Science*, Vol. 55 (2010), pp. 3-7.
- JOHNS 1992 = J. JOHNS, *Monreale survey: l'insediamento umano nell'alto Belice dall'età paleolitica la 1250 d.C.*, in L. BIONDI, A. CORRETTI, S. DE VIDO, M. GARGINI, M. A. VAGGIOLI (a cura di), *Giornate Internazionali di Studi sull'area elima, Gibellina, 19-22 Settembre 1991*, Scuola Normale Superiore, Pisa Gibellina 1992, pp. 407-420.
- JUDGE - SEBASTIAN 1988 = J. W. JUDGE, L. SEBASTIAN (a cura di), *Quantifying the present and predicting the past: theory, method and application of archaeological predictive modelling*, United States. Bureau of Land Management, Denver, Colorado 1989.
- KAHLE - ABBOTT 1986 = A. B. KAHLE, E. ABBOTT (a cura di), *The TIMS Data User's Workshop, June 18 and 19 1985*, NASA, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 1986.
- KANSA *et al.* 2011 = E. C. KANSA, S. W. KANSA, E. WATRALL (a cura di), *Archaeology 2.0: New approaches to communication and collaboration*, in *Cotsen Digital Archaeology Series, Vol. 1*, Cotsen Institute of Archaeology, Los Angeles 2011. Disponibile online all'indirizzo:
<http://escholarship.org/uc/item/1r6137tb#>
- KENNEDY - BISHOP 2011 = D. KENNEDY, M. C. BISHOP, *Google Earth and the Archaeology of Saudi Arabia: a case study from the Jeddah Region*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 38 (2011), pp. 1284-1293.
- KHADANGA 2014 = G. KHADANGA, *Image Segmentation using OBIA in eCognition*, *Grass and Opticks*, paper presentato alla conferenza *Geomatrix 2014, IIT Bombay 2014*.
- KNOTH - NÜST 2017 = C. KNOTH, D. NÜST, *Reproducibility and Practical Adoption of GEOBIA with Open-Source Software in Docker Containers*, in *Remote Sensing*, Vol. 9, N. 3 (2017). Disponibile online all'indirizzo:
https://pdfs.semanticscholar.org/cf1e/20b90bc835d63d183e29ea7094f1c0a6eabf.pdf?_ga=2.93699995.749503796.1505297066-2077140840.1505297066
- KNOWLES 2008 = A. K. KNOWLES, 'GIS and history', in A. K. KNOWLES, A. HILLIER (a cura di), *Placing History: How Maps, Spatial Data, and GIS are Changing Historical Scholarship*, ESRI Press, Redlands, CA 2008, pp. 1-25.
- KNOWLES 2014 = A. K. KNOWLES (a cura di), *Placing History: How GIS is changing*

historical scholarship, ESRI Press, Redlands, CA 2008. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.lancaster.ac.uk/staff/hardiea/cqpweb-paper.pdf>

- KOHLER - PARKER 1986 = T. A. KOHLER, S. C. PARKER, *Predictive models for archaeological resource location*, in M. B. SCHIFFER (a cura di), *Advances in Archaeological Method and Theory*, Vol. 9, Academic Press, New York 1986, pp. 397-452.
- KOKALJ - HESSE 2015 = Z. KOKALJ, R. HESSE, *Visualization of LiDAR raster DEMs: guidelines and tools*, in A. G. Posluschny (a cura di), *Sensing the past. Contributions from the ArcLand Conference on Remote Sensing for Archaeology*, Habelt-Verlag, Bonn 2015, pp. 76-78.
- KONECNY *et al.* 2010 = M. KONECNY, S. ZLATANOVA, T. BANDROVA, L. TEMENOUJKA (a cura di), *Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management. Towards Better Solutions*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2010.
- KOTANSKY 1994 = R. KOTANSKY, *Greek Magical Amulets. The Inscribed Gold, Silver, Copper, and Bronze Lamellae. Part I. Published Texts of Known Provenance*, WestDeutscher Verlag, Dussendorf, 1994.
- KRUCHMAN 1976 = L. KRUCHMAN, *Remote sensing and archaeology: a preliminary bibliography*, in *RSEMS, Newsletter of the Remote Sensing Committee of the Association of American Geographers*, Vol. 3, N. 2 (1976), pp. 33-45.
- KÜNZER - DECH 2013 = C. KÜNZER, S. DECH (a cura di), *Thermal Infrared Remote Sensing. Sensors, Methods, Applications*, Springer, New York 2013.
- KVAMME 1983a = K. L. KVAMME, *Computer processing techniques for regional modeling of archaeological site locations*, in *Advances in Computer Archaeology*, Vol. 1 (1983), pp. 26-52.
- KVAMME 1983b = K. L. KVAMME, *A manual for predictive site location models: examples from the Grand Junction District, Colorado*, Bureau of Land Management, Grand Junction District 1983.
- KVAMME 1984 = K. L. KVAMME, *Models of Prehistoric Site Location near Pinyon Canyon, Colorado*, in C. J. CONDIE (a cura di), *Papers of the Philmont Conference on the Archaeology of Northeastern New Mexico. Proceedings of the New Mexico Archaeological Council*, Vol. 6, N. 1, Albuquerque 1984.
- KVAMME 1988 = K. L. KVAMME, *Development and Testing of Quantitative Models*, in W. J. JUDGE, L. SEBASTIAN (a cura di), *Quantifying the Present and Predicting the Past: Theory, Method, and Application of Archaeological Predictive Modeling*, U. S. Government Printing Office, Washington D. C. 1988, pp. 325-428.
- KVAMME 1990 = K. L. KVAMME, *The fundamental principles and practice of predictive archaeological modeling*, in A. VOORRIPS (a cura di), *Mathematics and information science in Archaeology: a flexible framework*, *Studies in Modern Archaeology*, Vol. 3, Holos-Verlag, Bonn 1990, pp. 257-294.

- KVAMME 1999 = K. L. KVAMME, *Recent directions and developments in Geographical Information Systems*, in *Journal of Archaeological Research*, Vol. 7, N. 2 (1999), pp. 153-201.
- LANCASHIRE 1991 = I. LANCASHIRE (a cura di), *The Humanities Computing Yearbook 1989-90: A Comprehensive Guide to Software and Other Resources*, Clarendon Press, Oxford 1991.
- LANCASHIRE - MCCARTY 1988 = I. LANCASHIRE, W. MCCARTY (a cura di), *The Humanities Computing Yearbook 1988*, Clarendon Press, Oxford 1988.
- LANG 2008 = S. LANG, *Object-Based Image Analysis for Remote Sensing Applications: Modelling Reality - Dealing with Complexity*, in T. BLASCHKE, S. LANG, G. J. HAY (a cura di), *Object-Based Image Analysis. Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*, Springer, Berlin 2008, pp. 1-25.
- LA ROSA 1978 = V. LA ROSA, *Paolo Orsi: una storia accademica*, in *Archivio Storico per la Sicilia Orientale*, Vol. 74 (1978), pp. 465-571.
- LA ROSA 1985 = V. LA ROSA, *Paolo Orsi e la preistoria della Sicilia*, in *Annali dei Musei Civici di Rovereto*, Vol. I (1985), pp. 5-21.
- LASAPONARA - MASINI 2007 = R. LASAPONARA, N. MASINI, *Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 34 (2007), pp. 214-221.
- LASAPONARA - MASINI 2013 = R. LASAPONARA, N. MASINI, *Satellite Synthetic Aperture Radar in Archaeology and Cultural Landscape: an Overview*, in *Archaeological Prospection*, Vol. 20 (2013), pp. 71-78.
- LASAPONARA *et al.* 2007 = R. LASAPONARA, N. MASINI, G. SCARDOZZI, *Immagini satellitari ad alta risoluzione e ricerca archeologica: applicazioni e casi di studio con riprese pancromatiche e multispettrali di QuickBird*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 18 (2007), pp. 187-227.
- LASAPONARA *et al.* 2010a = R. LASAPONARA, R. COLUZZI, F. GIZZI, N. MASINI, *On the LiDAR Contribution for the Archaeological and Geomorphological Study of a Desert Medieval Village in Southern Italy*, in *Journal Geophysics Engineering*, Vol. 7 (2010), pp. 155-163.
- LASAPONARA *et al.* 2010b = R. LASAPONARA, R. COLUZZI, A. LANORTE, *On the LiDAR Contribution for Landscape Archaeology and Paleoenvironmental studies: the Case Study of Bosco dell'Incoronata (Southern Italy)*, in *Advances in Geoscience*, Vol. 24 (2010), pp. 125-132.
- LAUER *et al.* 1997 = D. T. LAUER, S. A. MORAIN, V. V. SALOMONSON, *The Landsat Program: Its Origins, Evolution and Impacts*, in *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 63, N. 7 (1997), pp. 830-838.

- LENTINI - CARBONE 2014 = F. LENTINI, S. CARBONE (a cura di), *Geologia della Sicilia. Il dominio orogenico*, in S. BRANCA, M. COLTELLI, G. GROPELLI (a cura di), *Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol. 98. Carta geologica del vulcano Etna 1:50.000*, ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, pp. 100-133. Disponibile online all'indirizzo:
 http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/memorie-descrittive-della-carta-geologica-ditalia/memdes_95_orogenico1.pdf

- LEONE *et al.* 2007 = A. LEONE, R. WITCHER, F. PRIVITERA, U. SPIGO, *The Upper Simeto Valley Project. An Interim Report on the First Season*, in M. FITZJOHN (a cura di), *Uplands of Ancient Sicily and Calabria. The Archaeology of Landscape Revisited*, Accordia Research Institute, London 2007, pp. 43-64.

- LIBERTINI 1927 = G. LIBERTINI, *Lamietta plumbea iscritta da S. Giovanni Galermo*, in *Rivista Indo-greco-italica di filologia, lingua, antichità*, 11, 1927, pp. 105-109.

- LILLESAND - KIEFER 2000 = T. M. LILLESAND, R. W. KIEFER, *Remote sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, New York 2000.

- LLOBERA 2000 = M. LLOBERA, *Understanding Movement: a Pilot Model Towards the Sociology of Movement*, in G. LOCK (a cura di), *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*, IOS Press, Amsterdam 2000, pp. 65-84.

- LLOBERA 2001 = M. LLOBERA, *Building Past Landscape Perception with GIS: Understanding Topographic Prominence*, in *Journal of Archaeological Science, Vol. 28 (2001)*, pp. 1005-1014.

- LLOBRERA *et al.* 2011 = M. LLOBRERA, P. FABREGAS-ALVAREZ, C. PARCERO-OUBINA, *Order in Movement: a GIS Approach to Accessibility*, in *Journal of Archaeological Science, Vol. 38 (2011)*, pp. 843-851.

- LISI *et al.* 2009 = S. LISI, F. MALLEGGNI, F. PRIVITERA, *Paleobiologia di alcuni neolitici dal sito Contrada Balze Soprane a Bronte (Catania)*, in *Archivio per l'Antropologia e l'Etnologia, N. 139*, pp. 43-64.

- LOCK 2003 = G. LOCK, *Using Computers in Archaeology: Towards Virtual Pasts*, Routledge, London 2003.

- LOTTE - TEBBENS 2005 = R. M. LOTTE, L. A. TEBBENS (a cura di), *Gemeente Enschede Archeologische verwachtingskaart*, in *BAAC-Rapport 04.238*, Enschede/Hertogenbosch 2005.

- LUGLI 1939 = G. LUGLI, *Saggi di esplorazione archeologica a mezzo della fotografia aerea*, Roma 1939.

- LUGLI 1940 = G. LUGLI 1940, *L'importanza del rilievo aereo negli studi di topografia archeologica*, in *Atti del V Congresso Nazionale di Studi Romani, II*, Roma 1940, pp. 143 sgg.

- LUNNEBORG 2000 = C. E. LUNNEBORG, *Data analysis by resampling: concepts and applications*, Pacific Grove 2000.

- MADRY 2007 = S. MADRY, *An evaluation of Google Earth for Archaeological Exploration and Survey*, in J. T. CLARK, E. M. HAGEMEISTER (a cura di), *Digital Discovery. Exploring New Frontiers in Human Heritage. CAA2006. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceedings of the 34th Conference, Fargo, United States, Aprile 2006*, Archaeolingua, Budapest 2007, pp. 303-311.
- MADSEN - ZEBKER 1998 = S. N. MADSEN, H. A. ZEBKER, *Imaging Radar Interferometry*, in F. M. HENDERSON, A. J. LEWIS (a cura di), *Principles and Applications of Imaging Radar. (Manual of Remote Sensing, Vol. 2), Third Edition*, John Wiley & Sons, New York 1998, pp. 359-380.
- MAGNINI *et al.* 2016 = L. MAGNINI, C. BETTINESCHI, A. DE GUIO, *Object-Based Shell Craters Classification from LiDAR-derived Sky-View Factor*, in *Archeological Prospection, 9999*, Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com), 2016, pp. 211-223.
- MAGRO 2014 = M. T. MAGRO 2014, *Considerazioni sui vasi plastici siciliani presenti nella collezione Vagliasindi di Randazzo*, in *Les Carnets de l'ACoSt, Vol. 11, varia (2014)*, pp. 1-8. Disponibile online all'indirizzo:
<https://acost.revues.org/440>
- MAGRO - BARRESI 2012 = M. T. MAGRO, S. BARRESI, "Ad Radices Aetna montis". *Ceramica figurata del V secolo a.C. nella collezione Vagliasindi*, in M. URSINO (a cura di), *Da Evarco a Messalla, Archeologia di Catania e del territorio dalla colonizzazione greca alla conquista romana*, Assessorato Regionale ai Beni Culturali, Palermo 2012, pp. 98-109.
- MAGRO - PRIVITERA 1993 = M. T. MAGRO, F. PRIVITERA (a cura di), *Collezione Vagliasindi*, Supplemento a *Etna Territorio, Vol. 15*, Catania 1993.
- MALAGOLI 2002 = P. MALAGOLI, *Fotointerpretazione. Arte divinatoria o attendibile fonte informativa?*, in "MondoGIS", *Vol. 32 (2002)*, pp. 33-40.
- MALFITANA 2003 = D. MALFITANA, "Per una ripresa degli studi sulla necropoli di S. Anastasia presso Randazzo (CT): i materiali dei musei di Siracusa e Palermo", in F. GIUDICE, R. PANVINI (a cura di), *Il greco, il barbaro e la ceramica attica: immaginario del diverso, processi di scambio e autorappresentazione degli indigeni*. Atti del Convegno Internazionale di Studi, Catania, Caltanissetta, Gela, Camarina, Vittoria, Siracusa, 14-19 Maggio 2001, Monografie della Scuola di Specializzazione in Archeologia dell'Università di Catania, l'Erma di Bretschneider, Roma 2003, pp. 33-42.
- MALFITANA 2004 = D. MALFITANA, *Anfore e ceramiche fini da mensa orientali nella Sicilia tardo-ellenistica e romana: merci e genti tra Oriente ed Occidente*, in J. LUND, J. EIRING (a cura di), *Transport Amphorae and Trade in the Eastern Mediterranean. International Colloquium at the Danish Institute at Athens, 26-29 September 2002*, Monographs of the Danish Institute at Athens, Vol. 5, Copenhagen 2004, pp. 239-250.
- MALFITANA - FRANCO 2012 = D. MALFITANA, C. FRANCO, «Fructuosissima atque opportunissima provincia» (Cic. *In Verrem*, II, 3, 226). *Il sistema «Sicilia» ed il ruolo economico delle città nella Sicilia romana. Il contributo dell'evidenza ceramica*, in S. KEAY (a cura di), *Rome, Portus and the Mediterranean. Port network in the Roman Mediterranean. Workshop at the British School at Rome, Rome, 7-8 Marzo 2008*, *Archaeological Monographs of the British School at Rome, Vol. 21 (2012)*, pp. 177-204.

- MALFITANA *et al.* 2016 = D. MALFITANA, A. MAZZAGLIA, G. CACCIAGUERRA 2016, *Catania. Archeologia e città, Vol. 1. Il progetto OPENCiTY. Banca dati, GIS e WebGis*, Ist. Beni Archeologici, Catania 2016.
- MALNATI 2005 = L. MALNATI, *La verifica preventiva dell'interesse archeologico*, in *Aedon. Rivista di arti e diritto online, Vol. 3 (2005)*. Disponibile all'indirizzo: <http://www.aedon.mulino.it/archivio/2005/3/malnati.htm>
- MALNATI 2008 = L. MALNATI, *La Verifica Preventiva dell'Interesse Archeologico*, in A. D'ANDREA, M. P. GUEMANDI (a cura di), *Strumenti per l'Archeologia Preventiva: Esperienze, Normative, Tecnologie*, Archaeolingua, Budapest 2008, pp. 21-31.
- MALONE - STODDART 2000 = C. MALONE, S. STODDART, *A house in the Sicilian hills*, in *Antiquity, Vol. 74 (2000)*, pp. 471-472.
- MALPICA *et al.* 2007 = J. A. MALPICA, M. C. ALONSO, M. A. SANZ 2007, *Dempster-Shafer Theory in Geographic Information Systems: a Survey*, in *Expert Systems With Applications, Vol. 32, Vol. 1 (2007)*, pp. 47-55.
- MANACORDA 2008 = D. MANACORDA, *Lezioni di Archeologia*, Laterza, Roma-Bari 2008.
- MANGANARO 1963 = G. MANGANARO, *Nuovi documenti «magici» della Sicilia orientale*, in *RAL, VIII, 18, 1963*, pp. 57-74.
- MANGANARO 1989 = G. MANGANARO, *Documenti magici della Sicilia dal III al VI sec. d.C.*, in *Hestiasis. Studi di tarda antichità offerti a Salvatore calderone (STA 6)*, Messina 1989, pp. 13-41.
- MANGANARO 1994a = G. MANGANARO, *Nuovo manipolo di documenti «magici» della Sicilia tardoantica*, in *RAL, IX, 5 (1994)*, pp. 485-517.
- MANGANARO 1994b = G. MANGANARO, *Iscrizioni esorcistiche della Sicilia bizantina*, in F. CORSARO, C. CURTI, C. CRIMI (a cura di), *Scritti classici e cristiani offerti a F. Corsaro*, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Lettere e Filosofia, 1994, pp. 455-464.
- MANGANARO 1995 = G. MANGANARO, *Documenti di devozione della Sicilia bizantina*, in *Cassiodorus, Vol. 1 (1995)*, pp. 51-77.
- MANGANARO 2001 = G. MANGANARO, *Byzantina Siciliae*, in *MEP, Vol. 5 (2001)* pp. 131-178.
- MANGANARO 2007 = G. MANGANARO, *Magia "benefica" nella Sicilia tardoantica*, in *Epigraphica, Vol. 69 (2007)* pp. 263-268.
- MANNONI 1997 = T. MANNONI, *Archeologia globale e archeologia postmedievale*, in M. MILANESE (a cura di), *Archeologia Postmedievale; l'esperienza europea e l'Italia, Atti del Convegno Internazionale di Studi, Sassari, 17-20 Ottobre 1994, Vol. 1 (1997)*, Edizioni all'Insegna del Giglio, pp. 21-25.
- MANTOVANI - MARCOLONGO 1992 = F. MANTOVANI, B. MARCOLONGO, *Fotogeologia. Il Telerilevamento nelle Scienze della Terra*, NIS La Nuova Italia Scientifica, Roma 1992, pp. 16-19.

- MARCHESE - MARCHESE 2000 = A. MARCHESE, L. MARCHESE (a cura di), *Bibliografia degli scritti di Paolo Orsi*, Scuola Normale Superiore, Pisa 2000.
- MARCOLONGO 2000 = B. MARCOLONGO, *Telerilevamento*, in R. FRANCOVICH, D. MANACORDA (a cura di), *Dizionario di archeologia. Temi, concetti e metodi*, Laterza, Bari 2000, pp. 333-336.
- MARCOLONGO - BARISANO 2000 = B. MARCOLONGO, E. BARISANO, *Téledétection et archéologie. Concepts fondamentaux, état de l'art et exemples*, in M. PASQUINUCCI, F. TREMENT (a cura di), *Non-destructive Techniques Applied to Landscape Archaeology*, Oxbow Books, Oxford 2000, pp.14-30.
- MARCOLONGO - MASCELLARI 1978 = B. MARCOLONGO, M. MASCELLARI, *Immagini da satellite e loro elaborazioni applicate alla individuazione del reticolato romano nella pianura veneta*, in *Archeologia Veneta, Vol. 1 (1978)*.
- MARCOLONGO - MORANDI BONACOSSO 1997 = B. MARCOLONGO, D. MORANDI BONACOSSO, *L'abandon du système d'irrigation quatabanite dans la vallée du wadi Bayhan (Yémen): analyse géo-archéologique*, in *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planets, "Earth&Planetary Sciences", Vol. 325 (1997)*, pp. 79-86.
- MARGANI 2005 = G. MARGANI, *Edifici a pianta trilobata nella tradizione costruttiva siciliana*, Documento N. 28 del Dipartimento di Architettura e Urbanistica Università degli Studi di Catania, Il Lunario, Enna 2005.
- MARTELLI 2009 = C. MARTELLI, *Estrazione di features con tecniche di classificazione pixel e object-oriented*, Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile, Dipartimento di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento, del Territorio, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, A.A. 2008/2009.
- MASINI *et al.* 2011 = N. MASINI, R. COLUZZI, R. LASAPONARA, *On the Airborne Lidar Contribution in Archaeology: from Site Identification to Landscape Investigation*, in Chau-Chang Wang (a cura di), *Laser Scanning, Theory and Applications*, InTechOpen, pp. 265-290. Disponibile online all'indirizzo:
<https://www.intechopen.com/books/laser-scanning-theory-and-applications/on-the-airborne-lidar-contribution-in-archaeology-from-site-identification-to-landscape-investigatio>
- MAURICI *et al.* 2014 = F. MAURICI, A. ALFANO, S. MURATORE, F. SALAMONE, A. SCUDERI, *Il "Castellazzo" di Monte Iato in Sicilia occidentale (prov. di Palermo). Terza e quarta campagna di scavo. Ricognizioni nel territorio*, in *The Journal of Fasti Online*, pp. 1-28. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2014-317.pdf>
- MAURO - DI LULLO 2005 = G. MAURO, A. DI LULLO, *L'utilizzo di dati iperspettrali MIVIS per un'analisi geografico-territoriale: la media valle del Tagliamento come caso di studio*, in *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia, Vol. 123-124-125 (2005)*, pp. 435-446.
- MCDONALD 1995 = R. A. MCDONALD, *CORONA: success for space reconnaissance. A*

look into the Cold War, and a revolution for intelligence, in *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 61 (1995), pp. 689-720.

- MEFFERT 2009 = M. MEFFERT, *The high price or the first prize for the archaeological predictive model*, in H. KAMERMANS, M. VAN LEUSEN, P. VERHAGEN (a cura di), *Archaeological prediction and risk management. Alternatives to current practice*, Leiden University Press, Leiden 2009, pp. 33-39.
- MENZE - UR 2007 = B. H. MENZE, J. A. UR, *Classification of multispectral ASTER imagery in archaeological settlement survey in the Near East*, in M. SCHAEPMAN, S. LIANG, N. GROOT, M. KNEUBUHLER (a cura di), *Proceedings of the 10th International Symposium of Physical Measurements and Signature in Remote Sensing (ISPMRS '07)*, Davos, Switzerland, 12-14 March 2007.
- MICHAEL *et al.* 2011 = D. MICHAEL, J. KETCHUM, S. LURIA, D. RICHARDSON (a cura di), *GeoHumanities. Art, History, Text at the Edge of Place*, Routledge, London 2011.
- MILLARD 2005 = A. R. MILLARD, *What can Bayesian statistics do for archaeological predictive modelling?*, in M. VAN LEUSEN, H. KAMERMANS (a cura di), *Predictive modelling for Archaeological Heritage Management: a research agenda*, *Nederlandse Archeologische Rapporten*, Vol. 29, Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Amersfoort 2005, pp. 169-182.
- MONTELLA *et al.* 2015 = M. MONTELLA, P. PETRAROIA, D. MANACORDA, M. DI MACCO, *La Convenzione di Faro e la tradizione culturale italiana*, in *La valorizzazione dell'eredità culturale in Italia. Atti del Convegno di studi in occasione del 5° anno della rivista, Macerata, 5-6 Novembre 2015, Il Capitale culturale, Supplementi 05 (2016)*, pp. 13-36. Disponibile online all'indirizzo:
<https://riviste.unimc.it/index.php/cap-cult/article/view/1551/1065>
- MONTI 2014 = A. MONTI, *Predittività e Valutazione dei Processi Post deposizionali: il GIS come Strumento di Realizzazione di Carte di Potenzialità Archeologiche*, in *Atti della 15° Conferenza Italiana degli Utenti ESRI, Roma, 9-10 Aprile 2014*. Supplemento GEOmedia N. 2 (2014). Disponibile online all'indirizzo:
<http://mediageo.it/ocs/index.php/esri/15cue/paper/viewFile/34/105>
- MOORE - FREEMAN 1997 = E. MOORE, A. FREEMAN, *Radar, scattering mechanisms and the ancient landscape of Angkor*, in *Remote Sensing Society Archaeology Special Interests Group Newsletter*, Vol. 1 (1997), pp. 15-19.
- MOSCATI 1996 = P. MOSCATI, *Archeologia quantitativa: nascita, sviluppo e crisi*, in P. MOSCATI (a cura di), *III International Symposium on Computing and Archaeology, Archeologia e Calcolatori*, Vol. 7 (1996), pp. 579-590.
- MOSCATI 2015 = P. MOSCATI, *Condivisione nella cultura e cooperazione nella ricerca: iniziative scientifiche nel campo dell'Open Access e degli Open Archives*, in *Archeologia e Calcolatori, Supplemento 7 (2015)*, pp. 53-59.
- MUSSON *et al.* 2005 = C. MUSSON, R. PALMER, S. CAMPANA, *In volo nel passato. Aerofotografia e cartografia archeologica*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2005.

- NIBALI – LUCA 1983 = S. NIBALI, G. M. LUCA, *Maletto. Memorie storiche*, Comune di Maletto, Grafica 77, Catania 1983.
- NICCOLUCCI - HERMON 2003 = F. NICCOLUCCI, S. HERMON, *La logica fuzzy e le sue applicazioni alla ricerca archeologica*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 14 (2003), pp. 97-110.
- OPITZ 2016 = R. OPITZ, *Airborne Laser scanning in Archaeology: maturing methods and democratizing applications*, in M. FORTE, S. CAMPANA (a cura di), *Digital Methods and Remote Sensing in Archaeology. Archaeology in the Age of Sensing*, Springer, New York 2016, pp. 35-50.
- ORLANDI 1990 = T. ORLANDI, *Per l'informatica nella Facoltà di Lettere*, Bulzoni, Roma 1990.
- ORLANDI 1992 = T. ORLANDI, 'Ideas for a basic theory of humanities computing', in D. SPAETH, P. DENLEY, V. DAVIS, R. TRAINOR (a cura di), *Towards an International Curriculum for History and Computing: A Workshop of the International Association for History and Computing, University of Glasgow, 15-17 May 1992*, St, Katharinen, Scripta Mercaturae, pp. 35-36.
- ORLANDI 2002 = T. ORLANDI, *Is Humanities computing a discipline?*, in *Jahrbuch für Computerphilologie*, Vol. 4 (2002), pp. 51-58.
- ORLANDI 2004 = T. ORLANDI, *Archeologia teorica e informatica archeologica. Un rapporto difficile*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 15 (2004), pp. 41-50.
- ORLANDI 2009 = T. ORLANDI, *Informatica archeologica e non archeologica*, in P. Moscati (a cura di), *La nascita dell'informatica archeologica. Atti del Convegno Internazionale (Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 24 ottobre 2008)*, *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 20 (2009), pp. 17-26. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.archcalc.cnr.it/indice/PDF20/2_Orlandi.pdf
- ORLANDI *et al.* 2014 = S. ORLANDI, R. SANTUCCI, V. CASAROSA, P. M. LIUZZO (a cura di), *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage. Proceedings of the first EAGLE International Conference*, La Sapienza University Press, Roma 2014.
- ORLANDI *et al.* 2016 = S. ORLANDI, R. SANTUCCI, P. M. LIUZZO, F. MAMBRINI (a cura di), *Digital and Traditional Epigraphy in Context. Proceedings of the Second EAGLE International Conference, Roma, 27-29 Gennaio 2016*, Sapienza Università Editrice, Roma 2016.
- ORLANDO 2015 = A. ORLANDO, *Studio archeoastronomico della 'spirale megalitica' di Balze Soprane di Bronte (CT): analisi preliminare*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurruda e Sciare di Santa Venera, Parco dell'Etna*, Nicolosi 2015, pp. 86-89.
- ORLANDO - VILLA 2011 = P. ORLANDO, B. VILLA, *Remote sensing applications in archaeology*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 22 (2011), pp. 147-168.

- ORLANDO *et al.* 2016 = A. ORLANDO, M. T. MAGRO, M. S. SCARAVILLI, *The oriented altars of Rocca Pizzicata and the rocky sites of Alcantara Valley*, in *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 16, N. 4 (2016), pp. 203-206. Disponibile online all'indirizzo:
<http://maajournal.com/Issues/2016/Vol16-4/Full28.pdf>
- ORSI 1890 = P. ORSI, *Stazione neolitica di Stentinello*, in *Bullettino di Paleontologia Italiana*, Vol. 16 (1890), pp. 177-209.
- ORSI 1905 = P. ORSI, *Maniace (Comune di Bronte). Avanzi di balina con mosaico*, in *Notizie degli Scavi di Antichità*, p. 445.
- ORSI 1907 = P. ORSI, *Maniace (Comune di Bronte)*, in *Notizie degli Scavi di Antichità*, p. 497.
- ORSI 1910 = P. ORSI, *Villaggio neolitico di Stentinello*, in *Bullettino di Paleontologia Italiana*, Vol. 36 (1910), pp. 66-67.
- ORTON 2000 = C. ORTON, *Sampling in Archaeology*, Cambridge Manuals in Archaeology, Cambridge 2000.
- PALIO - TURCO 2015a = O. PALIO, M. TURCO, *Una struttura di combustione del Neolitico in contrada Balze Soprane*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 77-81.
- PALIO - TURCO 2015b = O. PALIO, M. TURCO, *La struttura megalitica della contrada Balze Soprane di Bronte (CT)*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 83-85.
- PAPPALARDO 2009 = V. PAPPALARDO, *L'identità e la macchia. Il battesimo della coscienza civile a Bronte nel dibattito sulla strage del 1860*, Maimone, Catania 2009.
- PARCAK 2009 = S. H. PARCAK, *Satellite Remote Sensing for Archaeology*, Routledge, London 2009.
- PARCAK 2010 = S. H. PARCAK, *Pushing the envelope for satellite archaeology in Egypt: Quickbird feature detection, predictive site modeling and thermal site signatures*, in S. CAMPANA, M. FORTE, C. LIUZZA (a cura di), *Space, Time, Place. Third International Conference on Remote Sensing in Archaeology*, BAR International Series 2118, Archaeopress, Oxford 2010, pp. 17-24.
- PARCAK - TUTTLE 2016 = S. PARCAK, C. A. TUTTLE, *Hiding in Plain Sight: The Discovery of a New Monumental Structure at Petra, Jordan, Using WorldView-1 and WorldView-2 Satellite Imagery*, in *BASOR. Bulletin of American School of Oriental Research*, Vol. 375 (2016), pp. 35-51.
- PARCERO-OUBIÑA *et al.* (cda) = C. Parcero-Oubiña, A. Güimil-Fariña, J. Fonte, J. M. Costa García, *Postdicting Roman Roads in the NW Iberian Peninsula*, paper presentato alla "Finding the Limits of the Limes" Conference, Amsterdam, 26-27 January 2017.
- PARKER PEARSON 1984 = M. PARKER PEARSON, *Mortuary practices, society and ideology: An ethnoarchaeological study*, in I. HODDER (a cura di), *Symbolic and Structural*

Archaeology. New Directions in Archaeology, Cambridge University Press, Cambridge 1984, pp. 99-114.

- PERAZZINI 2013 = F. PERAZZINI, *Words, Bytes and Numbers: Le Digital Humanities "viste da vicino"*, in *Status Quaestionis. Rivista di studi letterari, linguistici e interdisciplinari, Uniroma1, Vol. 5 (2013)*, pp. 171-193. Disponibile online al sito: <http://ojs.uniroma1.it/index.php/statusquaestionis/article/view/11593/11454>
- PÉRISSETT 1980 = M. C. PÉRISSET, *Prospection thermique de subsurface: Application à l'Archéologie*, CEPAM, Nice 1980.
- PERISSET - TABBAGH 1981 = M. C. PERISSET, A. TABBAGH, *Interpretation of thermal prospection on bare soils*, in *Archaeometry, Vol. 23, N. 2 (1981)*, pp. 169-187.
- PHILIP *et al.* 2002 = G. PHILIP, D. DONOGHUE, A. BECK, N. GALIATSATOS, *CORONA satellite photography: an archaeological application from the Middle East*, in *Antiquity, Vol. 76 (2002)*, pp. 109-118.
- PIATTI *et al.* 2008 = B. PIATTI, A. K. REUSCHEL, H. R. BAR, L. HURNI, *Die Geographie der Fiktion – Das Projekt 'Ein literarischer Atlas Europas'*, in *Kartographische Nachrichten, Vol. 6 (2008)*, pp. 287-294.
- PICCARRETA 1987 = F. PICCARRETA, *Manuale di Fotografia Aerea: uso archeologico*, L'Erma di Bretschneider, Roma 1987.
- PICCARRETA - CERAUDO 2000 = F. PICCARRETA, G. CERAUDO, *Manuale di aerofotografia archeologica. Metodologia, tecniche, applicazioni*, Edipuglia, Bari 2000.
- PIRROTTI 2008 = S. PIRROTTI, *Il Monastero di San Filippo di Fragalà (Secoli XI–XV). Organizzazione dello spazio, attività produttive, rapporti con il potere, cultura*, Officina di Studi Medievali, Palermo 2008.
- POIDEBARD 1929 = A. POIDEBARD, *Note sur l'organisation romaine de la Palmyrène*, in *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, Vol. 73, N. 2 (1929)*, pp. 155-156.
- POPE - DAHLIN 1993 = K. O. POPE, B. H. DAHLIN, *SAR Detection and Ecology of Ancient Maya Canal Systems—Reply to Adams et al.*, in *Journal of Field Archaeology, Vol. 20 (1993)*, pp. 379-383.
- PORCHEDDU 2016 = A. PORCHEDDU, *Predicting and Postdicting a Roman Road in the Pre-Pyrenees Area of Lleida (Spain)*, in S. CAMPANA, R. SCOPIGNO, G. CARPENTIERO, M. CIRIRLLO (a cura di), *CAA 2015, Keep the Revolution Going, Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Università di Siena, Archaeopress, Oxford 2016, pp. 599-604.
- POSLUSCHNY 2015 = A. G. POSLUSCHNY (a cura di), *Sensing the past. Contributions*

from the ArcLand Conference on Remote Sensing for Archaeology, Habelt-Verlag, Bonn 2015.

- POSLUSCHNY *et al.* 2008 = A. POSLUSCHNY, K. LAMBERS, I. HERZOG (a cura di), *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, Germany, April 2-6 2007*, in *Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte Band, Vol. 10 (2008)*, Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn 2008, pp. 309-344.
- PRESNER *et al.* 2014 = T. PRESNER, D. SHEPARDY, Y. KAWANO (a cura di), *HyperCities. Thick Mapping in the Digital Humanities*, Harvard University Press, Cambridge, MA 2014. Disponibile online all'indirizzo:
<http://escholarship.org/uc/item/3mh5t455#page-9>
- PRIVITERA 2007a = F. PRIVITERA, *Le grotte dell'Etna nella Preistoria*, in F. PRIVITERA, V. LA ROSA (a cura di) "In Ima Tartara. Preistoria e leggenda delle grotte etnee", catalogo della mostra, Palermo 2007, pp. 91-117.
- PRIVITERA 2007b = F. PRIVITERA 2007, *I siti – Il territorio di Castiglione: La grotta delle Femmine; Il territorio di Bronte: Le grotte di Maniace e di Balze Soprane; Il territorio di Adrano: la grotta del Santo; il territorio di Catania: la grotta Petralia*, in F. PRIVITERA, V. LA ROSA (a cura di), "In ima tartara. Preistoria e leggenda delle grotte etnee", catalogo della mostra, Palermo, 2007, pp. 201-238.
- PRIVITERA 2009 = F. PRIVITERA, *Indagini archeologiche nei comuni di Castel di Iudica, Valverde, Mascali, Maniace e nelle Grotte di Catania*, in *Kokalos, Vol. XLVII-XLVII, Tomo II*, pp. 519-525.
- PRIVITERA 2012 = F. PRIVITERA, *Necropoli tardo-neolitica in Contrada Balze Soprane di Bronte (CT)*, in "Dai Ciclopi agli Ecisti. Incontri di genti nella Sicilia pre-protostorica", *Atti della XLI Riunione scientifica dell'IIPP, S. Cipirello, 16-19 novembre 2006*, Firenze, 2012, pp. 543-556;
- PRIVITERA 2014 = F. PRIVITERA, *Caves and environment: the case of Etna* in D. GULLÌ (a cura di), *From Cave to Dolmen. Ritual and symbolic aspects in the prehistory between Sciacca, Sicily and the central Mediterranean*, Archaeopress, Oxford 2014, pp. 151-159.
- PRIVITERA 2015a = F. PRIVITERA, *Le aree archeologiche*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 61-67.
- PRIVITERA 2015b = F. PRIVITERA, *Storia degli studi e delle ricerche. Le scelte progettuali*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 57-59.
- PRIVITERA 2015c = F. PRIVITERA, *Balze Soprane: introduzione topografica*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 71-74.
- PRIVITERA - TURCO 2015 = F. PRIVITERA, M. TURCO, *Contrada Edera: introduzione topografica e presentazione delle fasi evidenziate, greca e bizantina*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurridda e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 91-93.

- PUGLIESE CARRATELLI 1953 = G. PUGLIESE CARRATELLI, *Epiigrafi magiche cristiane della Sicilia orientale*, in RAL ,s. VIII, 8 (1953), pp. 181-189.
- PUGLISI 2015 = A. PUGLISI, *Le motivazioni dell'intervento e la procedura di finanziamento*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurrída e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 9-18.
- PUGLISI - TURCO 2015 = A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurrída e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015.
- RADCLIFFE FRANCHIN 2006 = F. RADCLIFFE FRANCHIN, *John Bradford e la ricerca archeologica dal cielo*, in F. RADCLIFFE FRANCHIN (a cura di), *Paesaggi sepolti in Daunia. John Bradford e la ricerca archeologica dal cielo, 1945-1957*, Claudio Grenzi Editore, Foggia 2006, pp. 39-51.
- RADICE 1984 = B. RADICE, *Memorie Storiche di Bronte*, Tipografia Santangelo & Costa, Adrano 1984, pp. 7-12; 19. Versione ristampata che riunisce in volume unico gli originari Vol. 1 (1928) e Vol. 2 (1936). Disponibile online all'indirizzo:
http://www.bronteinsieme.it/PDF/B.Radice-Memorie_storiche_di_Bronte.pdf
- RAGIN 2000 = C. C. RAGIN, *Fuzzy-Set Social Science*, The University of Chicago Press, Chicago 2000.
- RAJANI - RAJAWAT 2011 = M. B. RAJANI, A.S. RAJAWAT, *Potential of satellite based sensors for studying distribution of archaeological sites along palaeo channels: Harappan sites a case study*, in *Journal of Archaeological Science, Vol. 38, N. 9 (2011)*, pp. 2010-2016.
- REILLY 1990 = P. REILLY, *Towards a virtual archaeology*, in S. RAHTZ, K. LOCKYEAR (a cura di), *CAA 90, Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1990*, BAR International Series 565, Tempus Reparatum, Oxford 1991, pp. 132-139. Disponibile online all'indirizzo:
http://proceedings.caaconference.org/files/1990/21_Reilly_CAA_1990.pdf
- RENFREW - BAHN 1995 = C. RENFREW, P. BAHN, *Archeologia. Teoria, Metodi, Pratica*, Zanichelli, I Edizione, 1995.
- RENFREW - BAHN 2000 = C. RENFREW, P. BAHN, *Archaeology: Theories, Methods and Practice*, Thames and Hudson, III Edizione, London 2000.
- RIALI 2012 = L. RIALI, *La rivolta. Bronte 1860*, Laterza, Bari-Roma 2012.
- RICCI 2002 = A. RICCI (a cura di), *Archeologia e Urbanistica. 12° Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia, Certosa di Pontignano, 26 Gennaio-1 Febbraio 2001*, All'Insegna del Giglio, Firenze 2002.
- RIZZO 1900 = G. E. RIZZO, *Una necropoli greca a S. Anastasia, presso Randazzo, e la collezione Vagliasindi*, in *Römische Mitteilungen, Vol. 15 (1900)*, pp. 237-260.

- ROCKWELL 1999 = G. ROCKWELL, 'Is Humanities Computing an Academic Discipline?', in M. TERRAS, J. NYHAN, E. VANHOUTTE (a cura di), *Defining digital humanities. A reader*, Routledge, London 2013, pp. 13-34.
Originariamente pubblicato online all'indirizzo:
<http://www.iath.virginia.edu/hcs/rockwell.html>
- RONCAGLIA 2002 = G. RONCAGLIA, *Informatica umanistica: le ragioni di una disciplina*, in *Intersezioni*, Vol. 23 (2002), pp. 353-376.
- ROSE - ALTSCHUL 1988 = M. ROSE, J. ALTSCHUL, *An Overview of statistical method and theory for quantitative model building*, in J. W. JUDGE, L. SEBASTIAN (a cura di), *Quantifying the present and predicting the past: theory, method and application of archaeological predictive modelling*, United States. Bureau of Land Management, Denver, Colorado 1989, pp. 173-256.
- ROTHWELL 2011 = H. ROTHWELL, *Google Earth Archaeology*, in *Past Horizons Adventures in Archaeology (2011)*. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.pasthorizonspr.com/index.php/archives/07/2011/google-earth-archaeology>.
- ROUBIS *et al.* 2013 = D. ROUBIS, C. COLACINO, S. FASCETTI, S. PASCALE, F. SDAO, G. DE VENUTO, A. FLORENZANO, A. M. MERCURI, A. MIOLA, N. PANARELLA, *The archaeology of some ancient pastoral sites in the territory of Montescaglioso (IV-I century b.C.). An interdisciplinary approach from the Bradano Valley (Basilicata-southern Italy)*, in *Siris*, Vol. 13 (2013), pp. 117-136.
- ROUBIS *et al.* 2015 = D. ROUBIS, F. SOGLIANI, N. MASINI, V. VITALE, G. LEUCCI, E. RIZZO, *Archeologia dei paesaggi montani in Basilicata: una ricerca integrata nel territorio di Calvello, PZ (Basilicata)*, in *Il Capitale Culturale*, Vol. 12 (2015), pp. 385-419.
- ROUSE *et al.* 1974 = J. W. ROUSE Jr., R. H. HAAS, D. W. DEERING, J. A. SHELL, J. C. HARLAN, *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation, NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, Maryland*, NASA, Texas A & M University, Remote Sensing Center (1974), pp. 89-102. Disponibile online all'indirizzo:
<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022555.pdf>
- RUSSO *et al.* 2011 = M. RUSSO, F. REMONDINO, G. GUIDI, *Principali tecniche e strumenti per il rilievo tridimensionale in ambito archeologico*, in *Archeologia e Calcolatori*, Vol. 22 (2011), 169-198.
- RYERSON - ARONOFF 2010 = B. RYERSON, S. ARONOFF, *Why 'Where' Matters: Understanding and profiting from GPS, GIS and Remote Sensing*, Kim Geomatics Corporation, Ontario 2010.
- SALERNO *et al.* 2014 = E. SALERNO, A. TONAZZINI, E. GRIFONI, G. LORENZETTI, S. LEGNAIOLI, M. LEZZERINI, L. MARRAS, S. PAGNOTTA, V. PALLESCHI, *Analysis on multispectral images in cultural heritage and archaeology*, in *Journal of Applied and Laser Spectroscopy*, Vol. 1, N. 1 (2014), pp. 22-27.
- SARRIS 2012 = A. SARRIS, *Google Earth. The Good, The Bad and The Ugly*, in W. BORNER, S. UHLIRZ (a cura di), *Proceedings of the 17th International Conference on Cultural Heritage and New Technologies, Vienna, 8-10 Novembre 2012*, Museen der Stadt

Wien - Stadtarchäologie, Wien 2013, pp. 1-7. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook_CHNT17_Sarris.pdf

- SAVAGE *et al.* 2012 = S. H. SAVAGE, T. E. LEVY, I. W. JONES, *Prospects and problems in the use of hyperspectral imagery for archaeological remote sensing: a case study from the Faynan copper mining district, Jordan*, in *Journal of Archaeological Science*, Vol. 39, N. 2 (2012), pp. 407-420.
- SERLORENZI - BOI 2016 = M. SERLORENZI, V. BOI, *Archeologia preventiva, predittiva, potenziali archeologici. Una breve introduzione al panorama italiano*, in F. STANCO, G. GALLO 2016, *Proceedings of ArcheoFOSS. Free, libre and open source software e open format nei processi di ricerca archeologica. VIII Edizione, Catania 2013*, Archaeopress, Oxford 2016, pp. 115-121.
- SEVARA - PREGESBAUER 2014 = C. SEVARA, M. PREGESBAUER, *Archaeological Feature Classification: an Object Oriented Approach*, in *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*, Vol. 3, N. 2 (2014), pp. 139-143.
- SEVARA *et al.* 2016 = C. SEVARA, M. PREGESBAUER, M. DONEUS, G. VERHOEVEN, I. TRINKS, *Pixel versus object – A comparison of strategies for the semi-automated mapping of archaeological features using airborne laser scanning data*, in *Journal of Archaeological Science: Reports*, Vol. 5 (2016), pp. 485-498.
- SEVARA *et al.* 2017 = C. SEVARA, G. J. J. VERHOEVEN, M. DONEUS, E. DRAGANITS, *Surfaces from the Visual Past: Recovering High-Resolution Terrain Data from Historic Aerial Imagery for Multitemporal Landscape Analysis*, in *Journal of Archaeological Method and Theory* (2017), Springer Online, pp. 1-32.
- SCARDOZZI 2016 = G. SCARDOZZI, *Gli archivi digitali di fotografie aeree e immagini satellitari per l'osservazione della Terra. Stato dell'arte e prospettive per l'uso dei dataset finalizzato alla ricerca archeologica*, in P. RONZINO (a cura di), *Proceedings del Workshop L'integrazione dei dati archeologici digitali – Esperienze e prospettive in Italia 2015, Lecce, 1-2 Ottobre 2015*, pp. 80-88.
- SCHMIDT 2001 = A. SCHMIDT, *Geophysical data in archaeology. A guide to good practice*, Oxbow Books, Oxford 2001.
- SCHMIEDT 1964 = G. SCHMIEDT, *Atlante aerofotografico delle sedi umane in Italia. Parte I, L'utilizzazione delle fotografie aeree nello studio degli insediamenti*, Istituto Geografico Militare, Firenze 1964.
- SCHMIEDT 1970 = G. SCHMIEDT, *Atlante aerofotografico delle sedi umane in Italia, II. Le sedi umane scomparse*, Firenze 1970.
- SCHMIEDT 1974 = G. SCHMIEDT 1974, *Atlante aerofotografico delle sedi umane in Italia. Parte II, Le sedi antiche scomparse*, Istituto Geografico Militare, Firenze 1974.

- SCHMIEDT 1989 = G. SCHMIEDT 1989, *Atlante aerofotografico delle sedi umane in Italia. Parte III, La centuriazione romana*, Istituto Geografico Militare, Firenze 1989.
- SHMUELI 2010 = G. SHMUELI, *To explain or to predict?*, in *Statistical Science*, Vol. 25, N. 3 (2010), pp. 289-310.
- SCHREIBMAN *et al.* 2004 = S. SCHREIBMAN, R. SIEMENS, J. UNSWORTH (a cura di), *A Companion to Digital Humanities*, Blackwell Publishing, Oxford 2004.
- SCHREIBMAN *et al.* 2016 = S. SCHREIBMAN, R. SIEMENS, J. UNSWORTH (a cura di), *A New Companion to Digital Humanities*, Wiley-Blackwell, II Edizione, Hoboken 2016. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.digitalhumanities.org/companion/>
- SCOLLAR *et al.* 1990 = I. SCOLLAR, A. TABBAGH, A. HESSE, I. HERZOG, *Archaeological prospecting and remote sensing*, The Cambridge University Press, Cambridge 1990.
- SEVER 1983 = T. L. SEVER, *Feasibility Study to Determine the Utility of Advanced Remote Sensing Technology in Archaeological Investigation*, in Report, N. 227, NASA, Stennis Space Center, Science and Technology Laboratory, SSC, MS. December, 1983.
- SEVER - WAGNER 1991 = T. L. SEVER, D. W. WAGNER, *Analysis of Prehistoric Roadways in Chaco Canyon Using Remotely Sensed Digital Data*, in C. TROMBOLD (a cura di), *Ancient Road Networks and Settlement Hierarchies in the New World*, Cambridge University Press, Cambridge 1991, pp. 42-52.
- SHANK - TILLEY 1987a = M. SHANKS, C. TILLEY, *Re-Constructing Archaeology: Theory and Practice*, Cambridge University Press, Cambridge 1987.
- SHANK - TILLEY 1987b = M. SHANKS, C. TILLEY, *Social Theory and Archaeology*, Polity Press, Oxford 1987.
- SHEETS - SEVER 1991 = P. SHEETS, T. L. SEVER, *Prehistoric footpaths in Costa Rica: transportation and communication in a tropical rainforest*, in C. D. TROMBOLD (a cura di), *Ancient road Networks and Settlement hierarchies in the New World*, The Cambridge University Press, Cambridge 1991 pp. 53-65.
- SHENNAN - DONOGHUE 1992 = I. SHENNAN, D. N. M. DONOGHUE, *Remote Sensing in Archaeological Research*, in *Proceedings of the British Academy*, Vol. 77 (1992), pp. 223-232.
- SIGNORELLO 2015 = L. SIGNORELLO, *Dalla progettazione alla direzione dei lavori*, in A. PUGLISI, M. TURCO (a cura di), *L'acqua, la roccia e l'uomo. Lago Gurrida e Sciare di Santa Venera*, Parco dell'Etna, Nicolosi 2015, pp. 19-33.

- SIEMENS - SCHREIBMAN 2008 = R. SIEMENS, S. SCHREIBMAN (a cura di), *A Companion to Digital Literary Studies*, Blackwell Publishing, Oxford 2008. Disponibile online all'indirizzo:
<http://www.digitalhumanities.org/companionDLS/>
- SITHOLE - VOSSSELMAN 2004 = G. SITHOLE, G. VOSSSELMAN, *Experimental comparison of filtering algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds*, in *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 59, N. 1-2 (2004), pp. 85-101.
- SLUGA MESSINA 1971 = G. SLUGA MESSINA, *Motivi figurativi nella ceramica castellucciana*, in *Cronache di Archeologia e Storia dell'Arte*, Vol. 10, pp. 7-15.
- SOGLIANI - ROUBIS 2011 = F. SOGLIANI, D. ROUBIS, *Strategies and New Technologies for Urban Archaeology: Matera, a Town of Unesco World Heritage*, in *In/Visible Towns Archaeology and Cultural Heritage in Urban Areas, Proceedings of Vienna 15th International Congress Cultural Heritage and New Technologies, Vienna, 15-17 November 2010*, Wien 2011, pp. 283-298.
- SPAGNOLI 2014 = L. SPAGNOLI, *Il catasto in Italia: da strumento a testimonianza geostorica*, in A. GALLIA (a cura di), *Studi storico-cartografici. Dalla mappa al GIS*, Brigati, Genova 2014, pp. 9-31.
- SPIGO 1985 = U. SPIGO, *Bronte*, in *Bibliografia Topografica della Colonizzazione Greca in Italia e nelle isole tirreniche*, Vol. IV, Pisa-Roma 1985, pp. 198-200.
- SPIGO 1997-1998 = U. SPIGO, *Ricerche a Francavilla di Sicilia e Capo d'Orlando. Breve nota di aggiornamento*, in *Kokalos*, Vol. 43-44 (1997-1998), pp. 475-485.
- STANCO - GALLO 2016 = F. STANCO, G. GALLO (a cura di), *Proceedings of ArcheoFOSS. Free, libre and open source software e open format nei processi di ricerca archeologica, VIII Edizione, Catania 2013*, Archaeopress, Oxford 2016.
- SVENSSON 2016 = P. SVENSSON, *Sorting out the Digital Humanities*, in S. SCHREIBMAN, R. SIEMENS, J. UNSWORTH (a cura di), *A New Companion to Digital Humanities*, Wiley-Blackwell, Hoboken 2016, pp. 476-492.
- TAAGEPERA 2007 = R. TAAGEPERA, *Predictive versus Postdictive Models*, in *European Political Science*, Vol. 6, N. 2 (2007), pp. 114-123.
- TABBAGH 1977 = A. TABBAGH, *Sur la détermination du moment de mesure favorable et l'interprétation des résultats en prospection thermique archéologique*, in *Annales de Géophysique.*, Vol. 33 (1977), pp. 243-254.
- TABBAGH 1979 = A. TABBAGH, *Prospection Thermique Aéroportée du site de Prépoux (Villeneuve la Guyard, Yonne)*, in *Revue d'Archéométrie*, Vol. 7 (1979), pp. 11-25.
- TANGUY *et al.* 2012 = J. C. TANGUY, M. CONDOMINES, S. BRANCA, S. LA DELFA, M. COLTELLI, *New archaeomagnetic and Ra-226-Th-230 dating of recent lavas for the Geological map of Etna Volcano*, in *Italian Journal Geosciences*, Vol. 131, N. 2 (2012), pp. 241-257.

- TAPETE - CIGNA 2017 = D. TAPETE, F. CIGNA, *SAR for Landscape Archaeology*, in N. MASINI, F. SOLDVIERI (a cura di), *Sensing the past. From artifact to historical site*, Springer International Publishing AG, Switzerland 2017, pp. 101-116.
- TERRENATO 2000 = N. TERRENATO, *The Visibility of Sites and the Interpretation of Field Survey Results: towards an Analysis of Incomplete Distributions*, in R. FRANCOVICH, H. PATTERSON (a cura di), *The Archaeology of Mediterranean Landscapes 5: Extracting Meaning from Ploughsoil Assemblages*, Oxbow Books, Oxford 2000, pp. 60-71.
- TERRENATO 2004 = N. TERRENATO, *Sample Size Matters! The Paradox of Global Trends and Local Surveys*, in S. ALCOCK, J. CHERRY (a cura di), *Side-by-Side Survey: Comparative Regional Studies in the Mediterranean World*, Oxbow Books, Oxford 2004, pp. 36-48.
- THAKURIA *et al.* 2013 = T. THAKURIA, T. PADHAN, R. KUMAR MOHANTY, M. L. SMITH 2013, *Google Earth as an archaeological tool in the Developing World. An example from India*, in *The SAA Archaeological Record, Vol. 13, N. 1 (2013)*, pp. 20-24.
- THALLER 1993 = M. THALLER, *Historical Information Science: Is there such a thing? New comments on an old idea*, in T. ORLANDI (a cura di), *Discipline umanistiche e informatica. Il problema dell'integrazione*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma 1993, pp. 51-86.
- THOMAS *et al.* 2008 = D. C. THOMAS, F. J. KIDD, S. NIKOLOVSKI, C. ZIPFEL, *The Archaeological sites of Afghanistan in Google Earth*, in *AARGnews (= newsletter del Aerial Archaeology Research Group), Vol. 37 (2008)*, pp. 22-30.
- THOMPSON 1967 = H. O. THOMPSON, *A new development in archaeological air photography*, in *Antiquity, Vol. 41 (1967)*, pp. 225-227.
- TINÈ 1961 = S. TINÈ, *Notizie preliminari su recenti scavi nel villaggio neolitico di Stentinello*, in *Archivio storico siracusano, Vol. 7 (1961)*, pp. 113-117.
- TIXIER 2009 = B. TIXIER, *La piattaforma GIS di Siena: un esempio di uso integrato delle fonti*, in G. VOLPE, P. FAVIA, *V Congresso Nazionale di Archeologia Medievale, Foggia-Manfredonia, 30 Settembre – 3 Ottobre 2009, All'Insegna del Giglio*, Firenze 2009, pp. 73-77.
- TOL *et al.* 2004 = A. TOL, P. VERHAGEN, M. VERBRUGGEN, *Prospectief boren. Een studie naar de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van booronderzoek in de prospectiearcheologie*, in *RAAP-rapport 1000*, RAAP Archeologisch Adviesbureau, Amsterdam 2004.
- TORTORICI 2016 = E. TORTORICI (a cura di), *Catania Antica. La carta archeologica*, L'Erma di Bretschneider, Roma 2016.
- TRAVIGLIA 2005 = A. TRAVIGLIA, *Integration of MIVIS hyperspectral remotely sensed data and geographical information systems to study ancient landscapes: the Aquileia case study*, in *Agri Centuriati, Vol. 2 (2005)*, pp. 139-170.

- TRAVIGLIA 2006 = A. TRAVIGLIA, *Archaeological usability of hyperspectral images: success and failures of image processing techniques*, in S. CAMPANA, M. FORTE (a cura di), *From Space to place. Proceedings of the 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology, Roma, 4-7 Dicembre 2006*, pp. 123-130.
- TREMENT 2000 = F. TREMENT, *L'apport des méthodes non-destructives à l'analyse des sites archéologiques*, in M. PASQUINUCCI, F. TREMENT, *Non-Destructive Techniques Applied to Landscape Archaeology*, Oxbow Books, Oxford 2000, pp.1-14.
- TRIGGER 1989 = B. G. TRIGGER, *A History of Archaeological Thought*, Cambridge University Press, Cambridge 1989.
- TUSA 1999 = S. TUSA, *La Sicilia nella preistoria*, Sellerio Editore, II Edizione, Palermo 1999.
- UGGERI 1997-1998 = G. UGGERI, *Itinerari e strade, rotte, porti e scali della Sicilia tardoantica*, in *Kokalos, Vol. 43-44, Tomo 1 (1997-1998)*, pp. 229-364.
- UGGERI 2004 = G. UGGERI, *La viabilità della Sicilia in età romana*, Mario Congedo Editore, Galatina 2004.
- ULLMANN - GOROKHOVICH 2006 = L. ULLMANN, Y. GOROKHOVICH, *Google Earth and some practical applications for the field of archaeology in CSA Newsletter, Vol. 18, N. 3 (2006)*.
- UNSWORTH 2002 = J. UNSWORTH, *What is Humanities Computing and What is Not?*, in *Jahrbuch für Computerphilologie, Vol. 4 (2002)*, pp. 71-84. Disponibile online all'indirizzo: <http://computerphilologie.uni-muenchen.de/jg02/unsworth.html>
- UR 2003 = J. A. UR, *CORONA satellite photography and ancient road networks: a northern Mesopotamian case study*, in *Antiquity, Vol. 77 (2003)*, pp. 102-115.
- UR 2006 = J. A. UR, *Google Earth and Archaeology*, in *The SAA Archaeological Record, Vol. 6, N. 3 (2006)*, pp. 35-38.
- VALENTI 1995 = M. VALENTI, *Carta archeologica della provincia di Siena. Vol. 1: Il Chianti senese (Castellina in Chianti, Castelnuovo Berardenga, Gaiole in Chianti, Radda in Chianti)*, NIE, Siena 1995.
- VAN DEN DRIES 2013 = M. VAN DEN DRIES, *Does holland look like Malta yet? Reflections on the achievements with development-led archaeology in the Netherlands*, in M. P. GUERMANDI, K. S. ROSSENBACH (a cura di), *Twenty five years after Malta: preventive archaeology in Europe and in Italy*, IBC, Bologna 2013, pp. 43-51.
- VAN GENDEREN et al. 1978 = J. L. VAN GENDEREN, B. F. LOCK, P.A. VASS, *Remote Sensing: statistical testing of thematic map accuracy*, in *Proceedings of the Twelfth International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM*, pp. 3-14.
- VAN LEUSEN 1999 = M. VAN LEUSEN, *Viewshed and cost surfaceanalysis using GIS (cartographic modelling in a cell-based GIS II)*, in J. A. BARCELÒ, I. BRIZ, V. ASSUMPCIÒ (a cura di), *New Techniques for old times, CAA. Computer Applications and*

Quantitative Methods in Archaeology, Proceedings of the 26th Conference, Barcellona 1998, BAR International Series 757, Oxford 1999, pp. 215-223.

- VAN LEUSEN 2002 = P. M. VAN LEUSEN, *Pattern to process: methodological investigations into the formation and interpretation of spatial pattern in archaeological landscapes*, PhD Thesis, University of Groningen, Nederland.
- VAN LEUSEN - KAMERMANS 2005 = M. VAN LAUSEN, H. KAMERMANS (a cura di), *Predictive Modelling for Archaeological Heritage Management: A research agenda*, in *Nederlandse Archeologische Rapporten, Vol. 29*, Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, Amersfoort 2005.
- VAN LEUSEN *et al.* 2005 = M. VAN LEUSEN, J. DEEBEN, D. HALLEWAS, P. ZOETBROOD, H. KAMERMANS, P. VERHAGEN, *A baseline for predictive modelling in the Netherlands*, in M. VAN LEUSEN, H. KAMERMANS (a cura di), *Predictive modelling for Archaeological Heritage Management: a research agenda*, National Service for Archaeological Heritage, Amersfoort 2005, pp. 27-94.
- VAN LEUSEN *et al.* 2009 = M. VAN LEUSEN, A. R. MILLARD, B. DUCKE, *Dealing with uncertainty in archaeological prediction*, in H. KAMERMANS, M. VAN LEUSEN, P. VERHAGEN (a cura di), *Archaeological prediction and risk management. Alternatives to current practice*, Leiden University Press, Leiden 2009 pp. 123-173.
- VAN LONDEN *et al.* 2014 = H. VAN LONDEN, N. VOSSEN, M. SCHLAMAN, K. SCHARRINGHAUSEN 2014, *Discovering the Archaeologists of Europe. Discovering the Archaeologists of Netherlands 2012-2014*, University of Amsterdam, Amsterdam 2014. Disponibile online all'indirizzo:
http://www.discovering-archaeologists.eu/national_reports/2014/NL%20DISCO%202014%20Netherlands%20national%20report%20english.pdf
- VAN WIJK - VAN HOOFF 2005 = I. VAN WIJK, L. G. L. VAN HOOFF, *Stein, een gemeente vol oudheden een archeologisch beleidskaart voor de gemeente Stein*, in *Archeologische Rapporten, Vol. 29* (2005).
- VAN ZIJVERDEN - LAAN 2003 = W. K. VAN ZIJVERDEN, W. N. H. LAAN, *Landscape reconstructions and predictive modeling in archaeological research using a LiDAR based DEM and digital boring databases*, articolo presentato a: *Archäologie und Computer. Workshop 7, Wien 2003*.
- VERA 1999 = D. VERA, *Massa fundorum. Forme della grande proprietà e poteri della città in Italia fra Costantino e Gregorio Magno*, in *Mélanges de l'Ecole française de Rome. Antiquité, Vol. 111, N. 2* (1999), pp. 991-1025.
- VERA 2001 = D. VERA, *Sulla (ri)organizzazione agraria dell'Italia meridionale in età imperiale: origini, forme e funzioni della "massa fundorum"*, in E. LO CASCIO – A. STORCHI MARINO (a cura di), *Modalità insediative e strutture agrarie nell'Italia meridionali in età romana*, Edipuglia, Bari 2001, pp. 613-633.
- VERBRUGGEN 2009 = M. VERBRUGGEN, *On costs and benefits in archaeological prospection*, in H. KAMERMANS, M. VAN LEUSEN, P. VERHAGEN (a cura di), *Archaeological prediction and risk management. Alternatives to current practice*, Leiden University Press, Leiden 2009, pp. 27-32.

- VERHAGEN 2006 = P. VERHAGEN, *Quantifying the Qualified: the use of multi-criteria methods and Bayesian statistics for the development of archaeological predictive models*, in M. MEHRER, K. WESCOTT (a cura di), *GIS and archaeological predictive modeling*, CRC Press, Boca Raton 2006, pp. 191-216.
- VERHAGEN 2008 = P. VERHAGEN, *Testing archaeological predictive models: a rough guide*, in A. POSLUSCHNY, K. LAMBERS, I. HERZOG (a cura di), *Layers of Perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Berlin, 2-6 April 2007. Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, Vol. 10*, Bonn 2008, pp. 285-291.
- VERHAGEN - DRĂGUȚ 2012 = P. VERHAGEN, L. DRĂGUȚ, *Object-Based Landform Delineation and Classification from DEMs for Archaeological Predictive Mapping*, in *Journal of Archaeological Science, Vol. 39 (2012)*, pp. 698-703.
- VERHAGEN - WHITLEY 2011 = P. VERHAGEN, T. WHITLEY, *Integrating Archaeological theory and predictive modeling: a live report from the scene*, in *Journal of Archaeological Method and Theory, Vol. 18 (2011)*, pp. 1-52.
- VERHAGEN *et al.* 2005 = P. VERHAGEN, J. DEEBEN, D. HALLEWAS, P. ZOETBROOD, H. KAMERMANS, M. VAN LAUSEN 2005, *A review of predictive modeling for archaeological heritage management in the Netherlands*, in J. F. BERGER, F. BERTONCELLO, F. BRAEMER, G. DAVTIAN, M. GAZENBEEK (a cura di), *Temps et espaces de l'homme en société: analyses et modèles spatiaux en archéologie. Actes des XXVe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 21-24 Octobre 2004*, Editions APDCA, Antibes 2005, pp. 83-92.
- VERHAGEN *et al.* 2009 = P. VERHAGEN, H. KAMERMANS, M. VAN LEUSEN, *The future of archaeological predictive modelling*, in H. KAMERMANS, M. VAN LEUSEN, P. VERHAGEN (a cura di), *Archaeological prediction and risk management. Alternatives to current practice*, Leiden University Press, Leiden 2009, pp. 19-26.
- VERHAGEN *et al.* 2010 = P. VERHAGEN, H. KAMERMANS, M. VAN LEUSEN, B. DUCKE 2010, *New developments in archaeological predictive modelling*, in T. BLOEMERS, H. KARS, A. VAN DER VALK, M. WIJNEN, *The Cultural Landscape and Heritage Paradox: Protection and Development of the Dutch Archaeological-Historical Landscape and its European Dimension*, Landscape & Heritage Studies Proceedings, Amsterdam University Press 2011, pp. 431-444.
- VERHAGEN *et al.* 2011 = P. VERHAGEN, M. VAN LEUSEN, B. DUCKE, A. MILLARD, H. KAMERMANS 2011, *The bumpy road to incorporating uncertainty in predictive modelling*, in E. JEREM, F. REDO, V. SZEVERENYI (a cura di), *On the road to reconstructing the past. Proceedings of the 36th conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Budapest, 2-6 April 2008*, Budapest 2011, pp. 569-576.
- VERHOEVEN 2009 = G. VERHOEVEN, *Providing archaeological bird's-eye view: an overall picture of ground-based means to execute low-altitude aerial photography (LAAP) in archaeology*, in *Archaeological Prospection, Vol. 16, N. 4 (2009)*, pp. 233-249.
- VERHOEVEN 2012 = G. VERHOEVEN, *Near-Infrared Aerial Crop Mark Archaeology: from its historical use to current digital implementations*, in *Journal of Archaeological Method and Theory, Vol. 19 (2012)*, pp. 132-160.

- VERHOEVEN - SEVARA 2016 = G. J. J. VERHOEVEN, C. SEVARA, *Trying to break new ground in aerial archaeology*, in *Remote Sensing*, Vol. 8, N. 11 (2016), pp. 1-29.
- VERHOEVEN - VERMEULEN 2016 = G. J. J. VERHOEVEN, F. VERMEULEN, *Engaging with the Canopy – Multi-Dimensional Vegetation Mark Visualisation Using Archived Aerial Images*, in *Remote Sensing*, Vol. 8, N. 9 (2016), pp. 1-16.
- VERHOEVEN *et al.* 2009 = G. J. J. VERHOEVEN, J. LOENDERS, F. VERMEULEN, R. DOCTER, *Helikite Aerial Photography – a Versatile Means of Unmanned, Radio Controlled, Low-Altitude Aerial Archaeology*, in *Journal of Archaeological Prospection*, Vol. 16, N. 2 (2009), pp. 1-14.
- VERONESI - VISIOLI 2003 = M. VERONESI, A. VISIOLI, *Logica Fuzzy. Fondamenti teorici e applicazioni pratiche*, Franco Angeli, Milano 2003.
- VERSTAPPEN 1977 = H. T. VERSTAPPEN, *Remote sensing in Geomorphology*, Elsevier Science, Amsterdam 1977.
- VINCI - BERNARDINI 2017 = G. VINCI, F. BERNARDINI, *Reconstructing the protohistoric landscape of Trieste Karst (north-eastern Italy) through airborne LiDAR remote sensing*, in *Journal of Archaeological Sciences: Reports*, Vol.12 (2017), pp. 591-600.
- VIVONE *et al.* 2015 = G. VIVONE, L. ALPARONE, J. CHANUSSOT, M. DALLA MURA, A. GARZELLI, G. A. LICCIARDI, R. REITANO, L. WALD, *A critical Comparison Among Pansharpening Algorithms*, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, N. 5 (2015), pp. 2565-2586.
- VOLPE - DE FELICE 2014 = G. VOLPE, G. DE FELICE, *Comunicazione e progetto culturale, archeologia e società*, in *European Journal of Post-Classical Archaeologies*, Vol. 4 (2014), pp. 405-424.
- VOLPE - GOFFREDO 2014 = G. VOLPE, R. GOFFREDO, *La pietra e il ponte. Alcune considerazioni sull'archeologia globale dei paesaggi*, in *Archeologia Medievale*, Vol. 41 (2014), pp. 39-53.
- VON WALTERSHAUSEN 1880 = W. SARTORIUS VON WALTERSHAUSEN, *Der Aetna*, Vols. 1-2, Engelmann, Leipzig 1880, pp. 1-548.
- WALTHER - SHABAANI 1991 = D. WALTHER, S. SHABAANI, *Large Scale Monitoring of Rangeland Vegetation Using NOAA/11 AVHRR LAC Data. Application to the Rainy Seasons 1989/90 in Northern Kenya*, in *Range Management Handbook of Kenya*, Vol. 3, N. 4 (1991), Nairobi, Oberpfaffenhofen.

- WATRALL 2016 = E. WATRALL, *Archaeology, the Digital Humanities, and the "Big Tent"*, in M. K. GOLD, F. KLEIN (a cura di), *Debates in the Digital Humanities 2016*, University of Minnesota Press, Minneapolis 2016, pp. 345-358.
- WEBSTER 1972 = T. B. L. WEBSTER, *Potter and Patron in Classical Athens*, Methuen young books, London 1972.
- WEITZMANN 1979 = K. WEITZMANN, *Age of spirituality. Late Antique and Early Christian Art. Third to Seventh century. Catalogue of the exhibition at The Metropolitan Museum of Art, November 19, 1977 through February 12, 1978*, The Metropolitan Museum of Art, New York 1979.
- WELLS *et al.* 1981 = I. WELLS, J. CUSTER, V. KLEMAS, *Locating prehistoric archaeological sites using Landsat*, in *Proceedings of 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, May 1981, Vol. 2*, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor 1981, pp. 771-780.
- WHEATLEY 1996 = D. WHEATLEY, *Between the Lines: the Role of GIS-Based Predictive Modelling in the Interpretation of Extensive Survey Data*, in H. KAMERMANS, K. FENNEMA (a cura di), *Interfacing the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology. Proceeding of CAA95, Vol. II*, Analecta Praehistorica Leidensia 28, University of Leiden, Leiden 1996, pp. 275-292.
- WHEATLEY 2004 = D. WHEATLEY, *Making space for an archaeology of place*, in *Internet Archeology, Vol. 15*. Disponibile online all'indirizzo:
http://intarch.ac.uk/journal/issue15/wheatley_toc.html
- WHEATLEY - GILLINGS 2000 = D. W. WHEATLEY, M. GILLINGS, *Visual Perception and GIS: Developing Enriched Approaches to the Study of Archaeological Visibility*, in G. LOCK (a cura di), *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*, IOS Press, Amsterdam 2000, pp. 1-27.
- WHEELON 1997 = A. D. WHEELON, *Corona: the first reconnaissance satellites*, in *Physics Today, Vol. 50, N. 2 (1997)*, pp. 24-30.
- WILLEMS - BRANDT 2004 = W. J. H. WILLEMS, R.W. BRANDT, *Dutch Archaeology Quality Standard*, Rijksinspectie voor de Archeologie, Den Haag 2004.
- WILLEY 1953 = G. R. WILLEY, *Prehistoric Settlement Patterns in the Virù Valley, Perù*, United States Bureau of American Ethnology 155, U. S. Government Printing Office, Washington D. C. 1953.
- WILLEY - PHILLIPS 1958 = G. R. WILLEY, P. PHILLIPS, *Method and Theory in American Archaeology*, University of Chicago Press, Chicago 1958.
- WILSON 2000 = D. R. WILSON, *Air Photo Interpretation for Archaeologists*, Tempus Books, II Edition, Stroud, UK 2000, pp. 210-224.
- WILSON - LEONARD 1980 = R. J. A. WILSON, A. LEONARD, *Field Survey at Heraclea*

Minoa (Agrigento), Sicily, in Journal of Field Archaeology, Vol. 7, N. 2 (1980), pp. 219-239.

- WISEMAN 1984 = J. R. WISEMAN, *Archaeology in the Space Age, in Context, Vol. 4, N. 1-2 (1984)*, Boston University Press, pp.1-3.
- WITCHER 1999 = R. WITCHER, *GIS and Landscapes of Perception*, in M. GILLINGS, D. J. MATTINGLY, J. VAN DALES (a cura di), *Geographical Information Systems and Landscape Archaeology*, Oxbow, Oxford 1999, pp. 13-22.
- ZADEH 1964 = L. A. ZADEH, *Fuzzy Sets*, in *Information and Control, Vol. 8, N. 3 (1965)*, pp. 338-353.
- ZADEH 1996 = L. A. ZADEH, *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems: Selected Papers by Lotfi A. Zadeh*, in G. J. KLIR, B. YUAN (a cura di), *Advances in Fuzzy Systems - Applications and Theory, Vol. 6*, World Scientific, River Edge 1996.
- ZIMMERMANN 1985 = H. J. ZIMMERMANN, *Fuzzy Set Theory - and Its Applications*, Springer Science + Business Media Dordrecht, Kluwer, Nijhoff 1985.
- ZUBROW 2015 = E. ZUBROW 2015, *Predicting the Unpredictable*, in G. PIZZIOLLO, L. SARTI (a cura di), *Predicting Prehistory. Predictive Models and Field Research: Methods for Detecting Prehistoric Contexts, Proceedings of the International Workshop, September 19-20, Grosseto 2013*, Museo e Istituto Fiorentino di Preistoria "Paolo Graziosi", Firenze 2015, pp. 75-84.
- ZUKERMAN 2011 = W. ZUKERMAN, *Looking to be an Archaeologist? Try Google Earth*, in *New Scientist, N. 2799 (2011)*.

APPENDICE
SCHEDARIO ANOMALIE

1 - Edificio n. 10

Coordinate centroide WGS 84 traccia: (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N):
481954.646, 4190601.472 m.

Digital image processing:

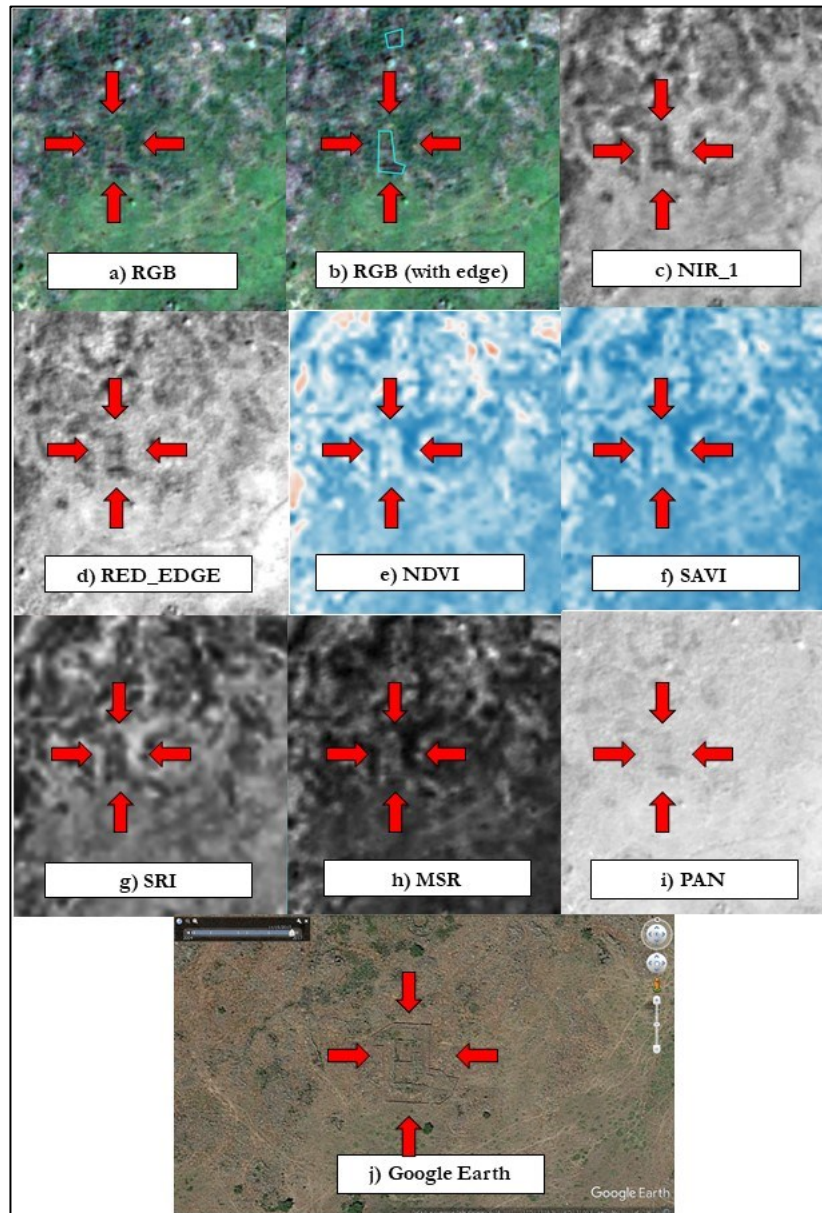


Figura 5 Anomalia 40 (Edificio 10) (contrada Edera) visto dai canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) RGB; b) RGB con *layer* vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) MSR; i) PAN; j) Google Earth.

Descrizione cartografica: è localizzata a circa 330 m a sud-est della carreggiata stradale (coordinate geografiche WGS 84: 37°51'23.17285'' N, 14°51'30.73799'' E).

Descrizione traccia: l'edificio di cui si ricercano le tracce ha dimensioni assai limitate, circa 17x7m per 98 m², soprattutto se si confronta tale superficie con l'estensione dell'intera contrada, grosso modo pari a 130 ettari (1300 km²). Le strutture murarie s'impongono direttamente sul banco geologico di pietra lavica, hanno una larghezza pressoché costante di 0.70 m e sono conservati per due filari raggiungendo un'altezza di circa 1 m.

Interpretazione: dalla fig. 1 si vede come la struttura ricercata appaia, in maniera più o meno evidente, in tutte gli output generati ma risulti più leggibile nelle bande NIR_1 e RED_EDGE; per quanto concerne gli indici, i più efficaci sembrano essere l'NDVI e il SRI.

Non bisogna dimenticare come si tratti di uno dei più grandi edifici riscontrati nell'area e come tale peculiarità aiuti, senza dubbio, l'individuazione della struttura, di cui si riesce a leggere anche la partizione interna.

2 - Edifici nn. 1-2

Coordinate centroide WGS 84 traccia: Edificio 1: WGS 84: 37°51'29.20243" N, 14°51'24.52796" E; Edificio 2: WGS 84: 37°51'29.05580" N, 14°51'20.11975" E).

Gli edifici 1 e 2 sono localizzati a circa 90 m a sud-est della carreggiata stradale.

Digital image processing:

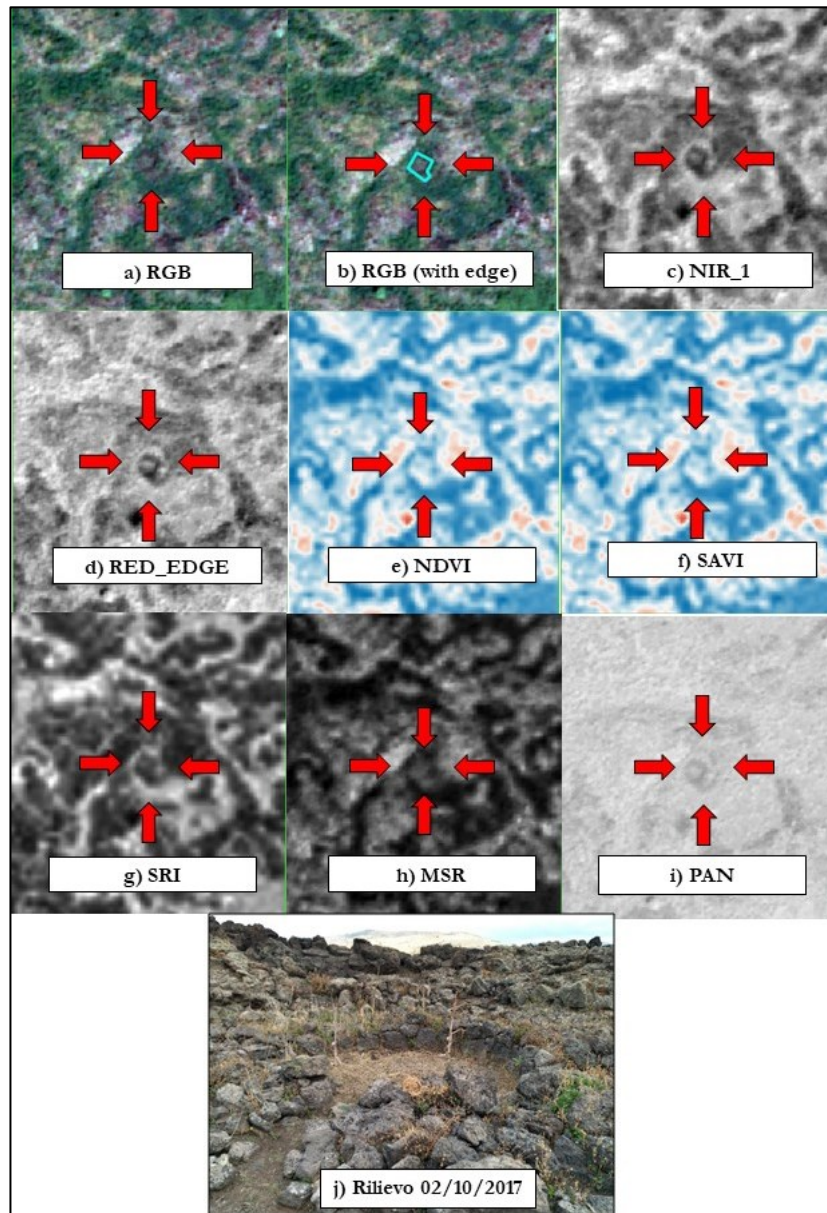


Figura 6 Anomalia 34 (Edificio 1-2) (contrada Edera) visto dai canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) RGB; b) RGB con layer vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) MSR; i) PAN; j) Rilievo e posizionamento tramite GPS.

Descrizione traccia: la coppia di edifici è formata da un ambiente di forma circolare (Edificio 1) del diametro di 4.80 m circondato da un corridoio anulare e da un ambiente di forma rettangolare (Edificio 2) delle dimensioni di 7.20 m x 5.55 m.

I due edifici, localizzati immediatamente a sud di un'altura rocciosa che li proteggeva dai venti di tramontana, sono collocati a breve distanza tra loro e hanno i rispettivi accessi posti l'uno di fronte all'altro.

Interpretazione: come si vede dalla fig. 2, le strutture ricercate appaiono evidenti nella combinazione a colori naturali e nelle bande NIR1, del RED_EDGE e del PAN; per quanto concerne gli indici, i più efficaci si rivelano l'NDVI e l'SRI. La visibilità degli edifici è agevolata dalle ottime condizioni di conservazione delle murature, probabilmente salvaguardate dall'altura rocciosa. Si può affermare che, analizzando con attenzione l'immagine multispettrale e utilizzando gli strumenti più idonei, il complesso archeologico può essere individuato nonostante le ovvie difficoltà legate soprattutto alle dimensioni. Fattore decisivo per l'individuazione della traccia è, soprattutto, la peculiare forma circolare degli edifici, difficilmente riscontrabile in natura; inoltre, la buona conservazione dei muri perimetrali aiuta notevolmente nel processo di fotointerpretazione.

Verifiche a terra: durante il rilievo del 02/10/2017 si è proceduto ad effettuare la ricognizione a terra dell'anomalia, per cui si riporta l'immagine acquisita nella fig. 2.

3 – *Anomalia ellissoidale (anomalia 31)*

Coordinate centroide WGS 84 traccia: 37.85907 N, 14.86067 E.

Digital image processing:

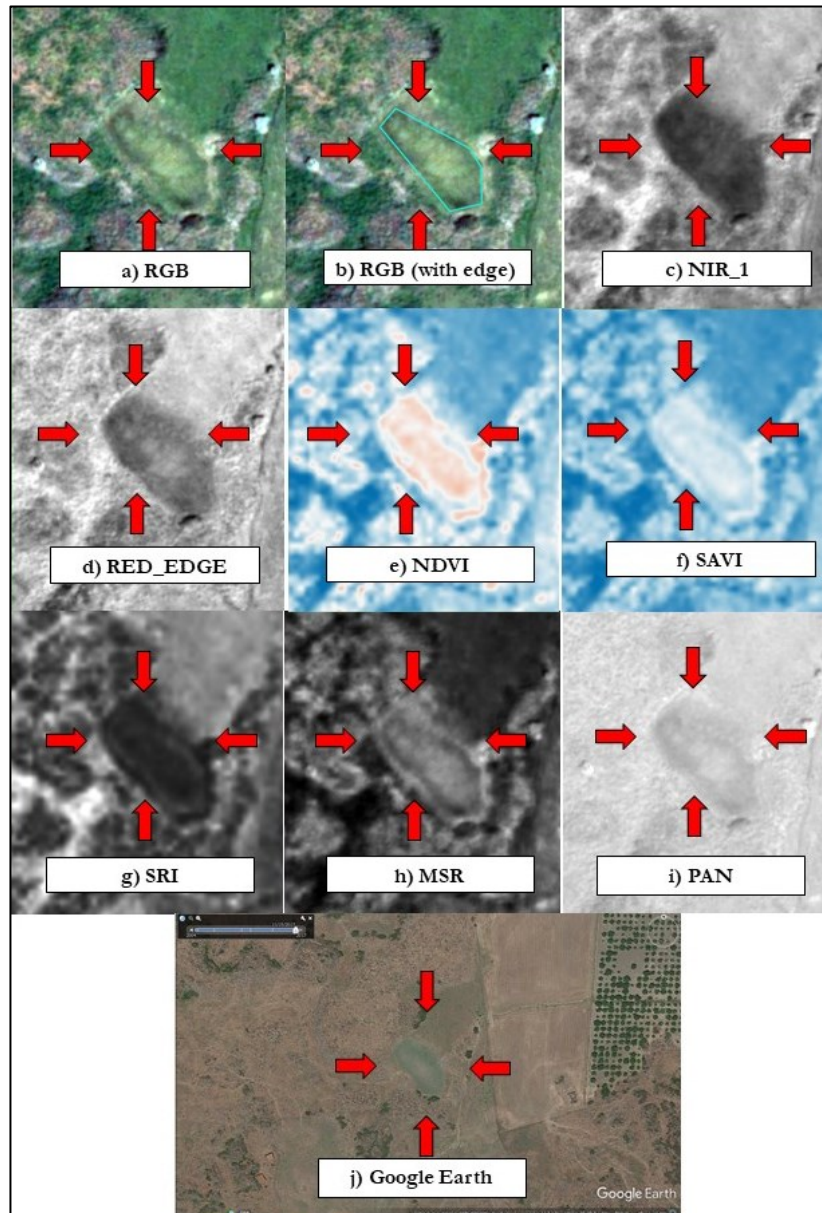


Figura 7: Anomalia 31 (contrada Edera) visto dai canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) RGB; b) RGB con layer vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) MSR; i) PAN; j) Google Earth.

Descrizione traccia: il terreno si distingue per la colorazione differente rispetto a quelli circostanti.

Dimensioni: il terreno segnalato ha una forma circa rettangolare, un'estensione di 700 m² e un perimetro di circa 110 m.

Interpretazione: come si vede dalla fig. 3, il terreno risulta abbastanza visibile in tutte le bande e tramite tutti gli indici per la particolare colorazione differente rispetto alle zone circostanti; inoltre, nella banda RED_EDGE e nel PAN sembrano vedersi alcuni *crop marks*, possibile indizio della presenza di qualcosa di sepolto.

Verifiche a terra: non è stato possibile effettuare verifiche a terra dell'anomalia 31 per cui si riporta semplicemente l'immagine di Google Earth nella figura 5.3, dove risulta ampiamente visibile.

4 – Anomalia circolare (anomalia 25)

Coordinate centroide WGS 84 traccia: 37.84270 N, 14.84668 E.

Digital image processing:

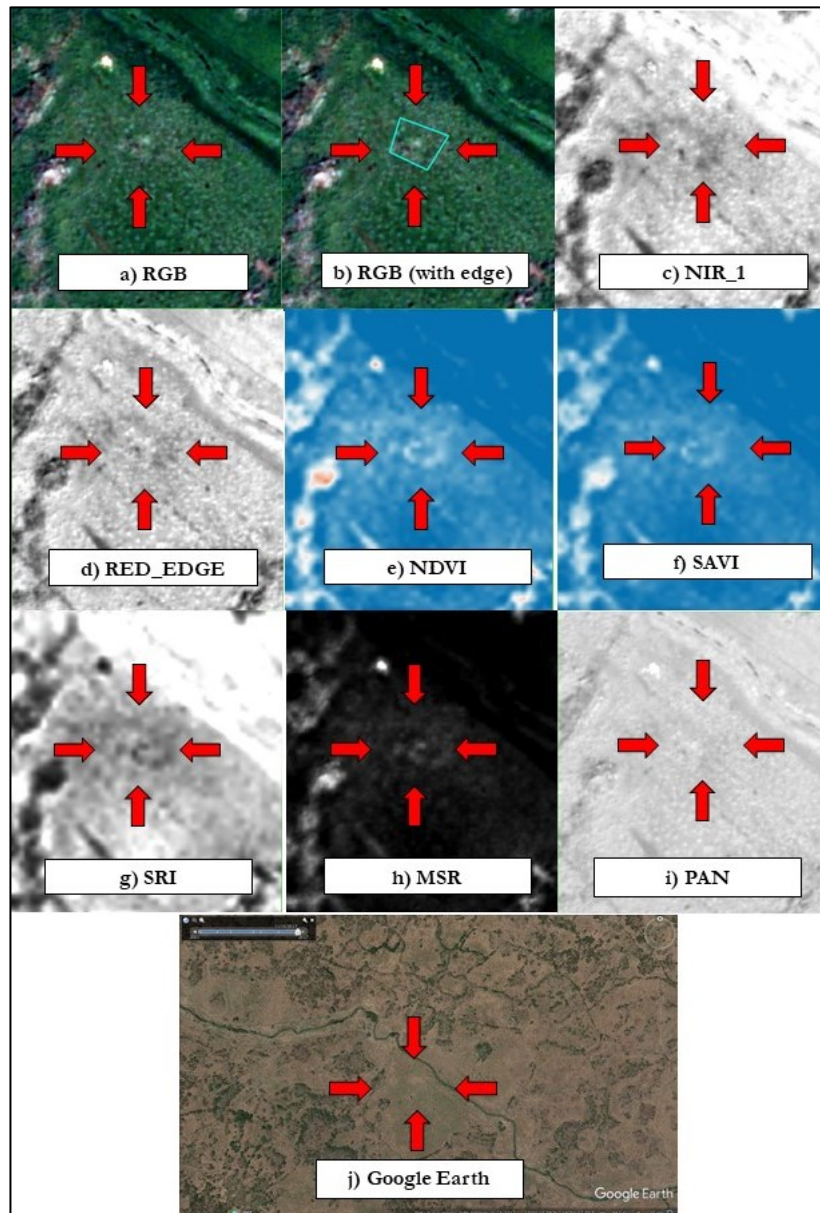


Figura 8: anomalia 25 (contrada *Santa Venera*) visto dai canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) RGB; b) RGB con layer vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) MSR; i) PAN; j) Google Earth.

Descrizione traccia: L'anomalia si distingue per la crescita differente della vegetazione.

Dimensioni e forma: la traccia individuata ha un'estensione di circa 240 m² e un perimetro di circa 60 m; forma circolare sebbene essa non sia pienamente leggibile.

Interpretazione: come si vede dalla fig. 4, l'anomalia risulta abbastanza visibile in tutte le bande e tramite tutti gli indici. Come detto, la traccia è generata dalla crescita differente della vegetazione, che sembra farlo meno rispetto a quella presente nel terreno. La forma circolare, comunque, risulta maggiormente evidente nella banda NIR1, e negli indici NDVI e SRI.

Verifiche a terra: non è stato possibile effettuare verifiche a terra dell'anomalia 25 per cui si riporta semplicemente l'immagine di Google Earth nella figura 5.5, dove risulta scarsamente visibile.

5 – Muro di enclosure (anomalia 3)

Coordinate centroide WGS 84 traccia: 37.85382 N, 14.84939 E

Digital image processing:

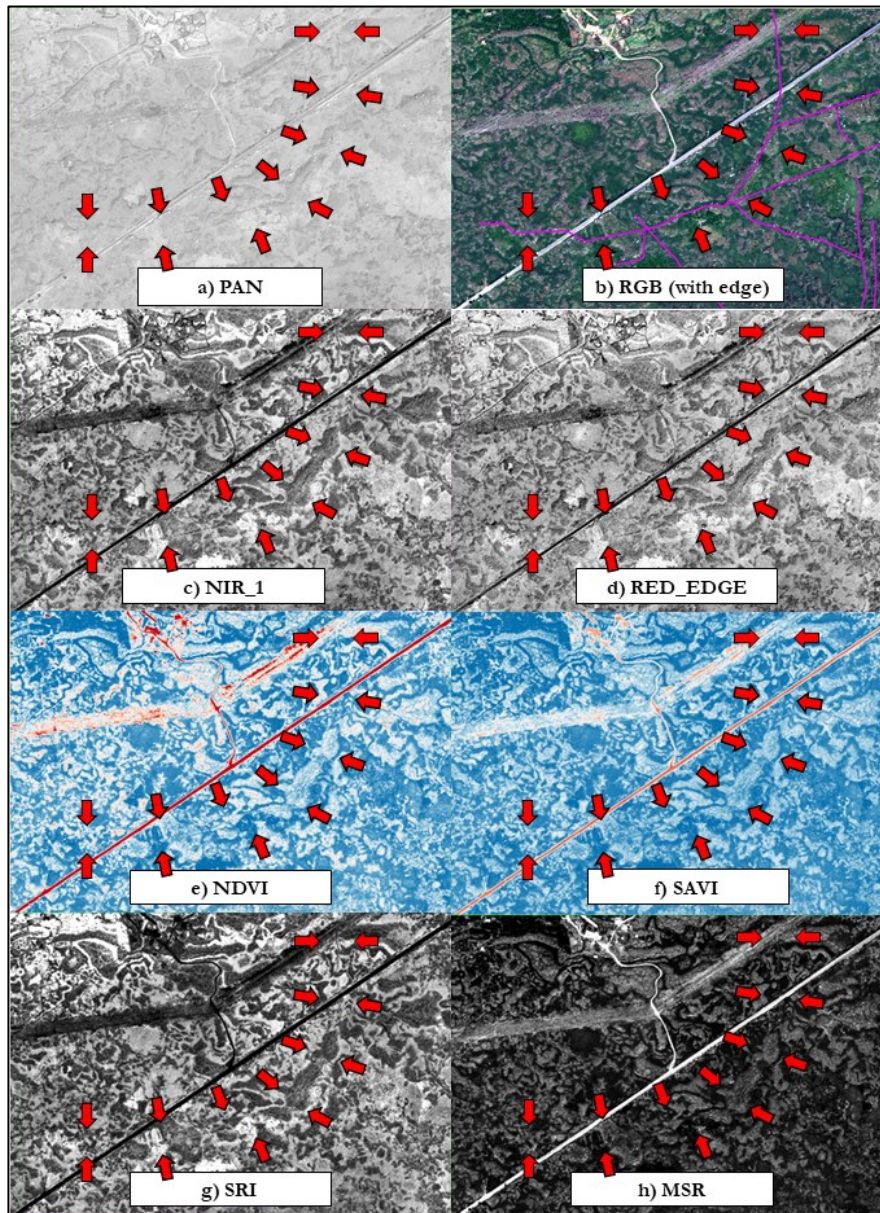


Figura 9: Anomalia 4 (contrada *Santa Venera*) visto dai canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) PAN; b) RGB con layer vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) MSR.

Descrizione traccia: l'anomalia individuata è già stata precedentemente individuata e descritta; la struttura, la cui funzione non è chiaramente interpretabile (muro di delimitazione, di recinzione o di difesa) mostra un percorso che, seppur piuttosto tortuoso e caratterizzato da diverse curve che seguono l'andamento orografico del terreno, ha un andamento quasi semicircolare sostanzialmente nord est - sud ovest, tagliando in due punti dall'attuale SS 120, al km 174,400 e al km 175.

Forma e interpretazione: la lunghezza complessiva è di oltre 2 km, di cui circa 1,5 km ricade all'interno della contrada *Santa Venera*, mentre la restante parte prosegue al di là della SS 120 in contrada *Balze Soprane*.

Fotointerpretazione: come si vede, dalla fig. 5, la struttura ricercata appare più o meno evidente in tutte le immagini ma principalmente nelle bande NIR_1, RED_EDGE e PAN; mentre per quanto riguarda gli indici il più efficace sembra essere l'NDVI.

Si può notare che l'andamento del muro sia tutto sommato distinguibile, ma esso scompare del tutto in presenza delle aree con valori dell'indice di vegetazione più alti (nell'immagine le zone con colori più chiari) a seconda dello stato più o meno avanzato di crollo e di manomissione antropica.

Verifiche a terra: durante il rilievo del 02/10/2017 si è proceduto ad effettuare la ricognizione a terra dell'anomalia, le cui immagini sono state inserite nel presente lavoro.

6 – Stradelle (anomalia 53-54-55-56)

Coordinate centroide WGS 84 traccia: 37.84804 N, 14.86013 E.

Digital image processing:

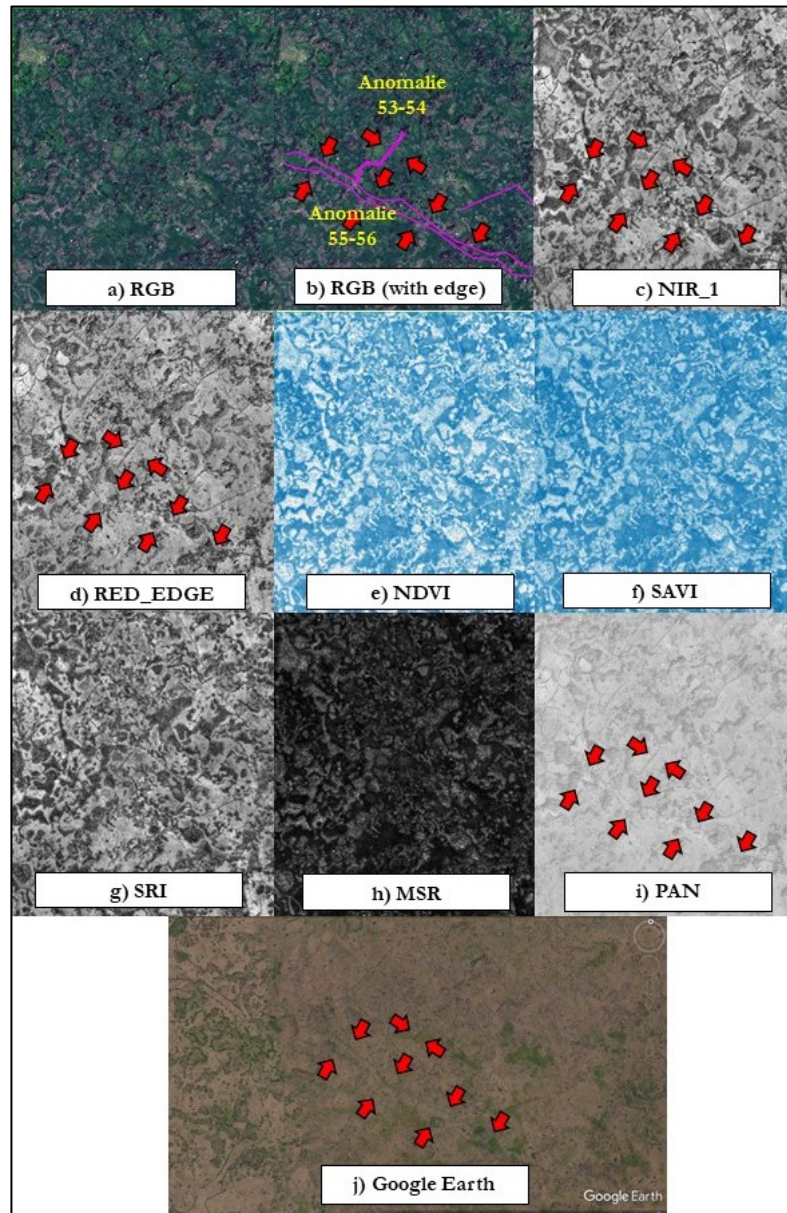


Figura 10: anomalie 53-54-55-56 (contrada *Edera*) visto dai canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) RGB; b) RGB con layer vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) MSR; i) PAN; j) Google Earth.

Descrizione anomalia: le anomalie segnalate appartengono alla tipologia delle tracce lineari.

Dimensione e forma: le anomalie 53 e 54 hanno una lunghezza di circa 175 m, mentre le anomalie 55 e 56 hanno una lunghezza di circa 650 m.

Interpretazione: le strutture individuate sembrano chiaramente dei muri, ma per la loro distanza ravvicinata (10 - 20 m) si potrebbero interpretare come i limiti di antiche strade, probabilmente utilizzate dagli allevatori per l'attraversamento delle contrade.

Come si vede dalla fig. 6, le anomalie non risultano facilmente leggibili. In questo caso, infatti, funzionano bene solo le bande "archeologiche" cioè il NIR_1 e il RED_EDGE, ed un po' meno il PAN; gli indici, stavolta, non risultano efficaci nell'enfatizzazione delle anomalie.

Verifiche a terra: non è stato possibile effettuare verifiche a terra delle anomalie 53-54-55-56 per cui si riporta semplicemente l'immagine di Google Earth nella figura 5.6, dove risultano scarsamente visibili.

7 – Percorso? (anomalia 57-58)

Coordinate centroide WGS 84 traccia: 37.85460 N, 14.86008 E

Digital image processing:

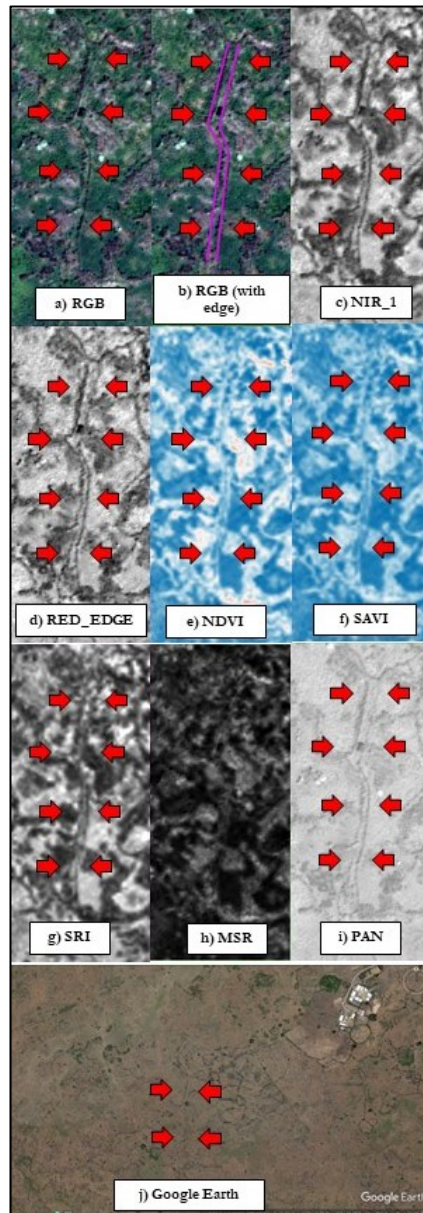


Figura 11: anomalie 57-58 (contrada *Edera*) viste attraverso i canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) RGB; b) RGB con layer vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) MSR; i) PAN; j) Google Earth.

Descrizione anomalia: le anomalie segnalate appartengono alla tipologia delle tracce lineari.

Dimensione e forma: lunghezza media di circa 160 m, i due muri si distanziano soltanto di 10 m.

Interpretazione: le strutture individuate sembrano chiaramente dei muri, ma per la loro distanza ravvicinata (10 - 20 m) si potrebbero interpretare come i limiti di antiche strade, probabilmente utilizzate dagli allevatori per l'attraversamento delle contrade. Come si vede dalla fig. 7, le anomalie risultano più o meno visibili sia nelle bande che negli indici utilizzati, un po' meno nell'indice MSR.

Verifiche a terra: non è stato possibile effettuare verifiche a terra delle anomalie 57-58 per cui si riporta semplicemente l'immagine di Google Earth nella figura 5.7, dove risultano scarsamente visibili.

8 – Muro (anomalia 7)

Coordinate centroide WGS 84 traccia: 37.85616 N, 14.85684 E

Digital image processing:

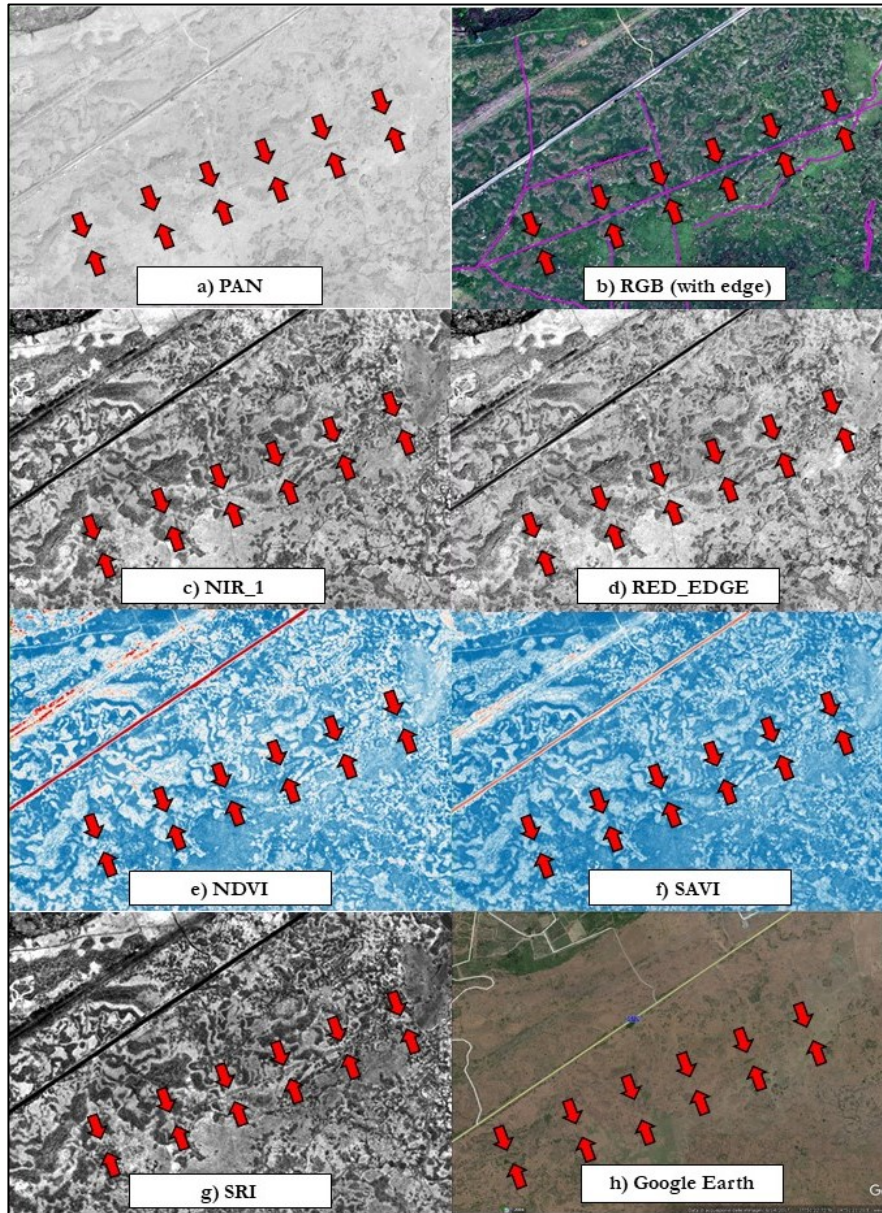


Figura 12: anomalia 7 (contrada *Santa Venera*) visto dai canali del WV-2 e tramite gli indici calcolati: a) PAN; b) RGB con layer vettoriale sovrapposto; c) NIR_1; d) RED_EDGE; e) NDVI; f) SAVI; g) SRI; h) Google Earth.

Descrizione traccia: l'anomalia individuata è lineare e corre in maniera quasi parallela al tracciato della strada statale.

Forma e dimensioni: ha una lunghezza significativa, circa 1250 m.

Interpretazione: appare evidente come si tratti di una struttura muraria, di cui, però, sfugge la funzione e la cronologia. Come si evince dalla fig. 7, la struttura individuata appare più o meno leggibile in tutte le immagini, ma, principalmente, nelle bande NIR_1, RED_EDGE e PAN; per quanto concerne gli indici il più efficace sembra essere il SRI.

Si può notare che l'andamento del muro sia tutto sommato distinguibile, ma esso scompare del tutto in presenza delle aree con valori dell'indice di vegetazione più alti (nell'immagine le zone con colori più chiari) a seconda dello stato più o meno avanzato di crollo e di manomissione antropica.

Verifiche a terra: interessante notare come il tratto "iniziale", cioè quello più vicino alle capanne bizantine, coincida con la struttura muraria posizionata tramite GPS e su GIS dall'*equipe* inglese dell'*Upper Simeto Valley Project* e considerata come archeologicamente rilevante.

9 - Cisterna CTR

Coordinate centroide traccia: (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N):
481954.646, 4190601.472 m.

Digital image processing:

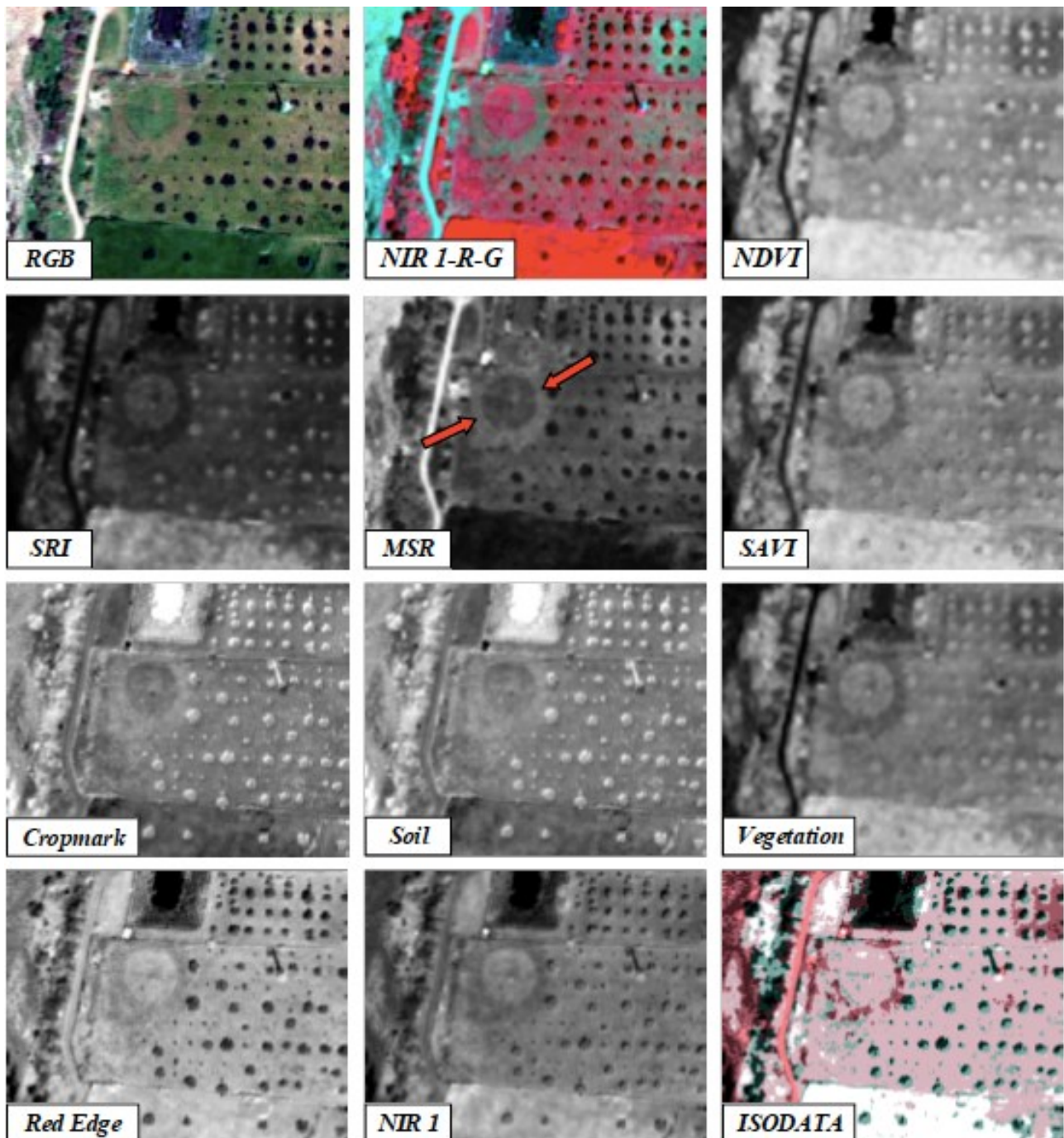


Figura 13: mosaico traccia nei diversi output generati.

La traccia in questione è stata letta in tutti gli output riportati. Il pancromatico invece non si è dimostrato idoneo ai fini dell'identificazione della traccia. Anche la classificazione *unsupervised* estrae come *feature* tale traccia, la quale presenta una netta separabilità spettrale rispetto al fondo.

Descrizione traccia: da un confronto con la CTR si evince che si tratta di una cisterna interrata.

Forma: circolare.

Dimensioni (approssimate):

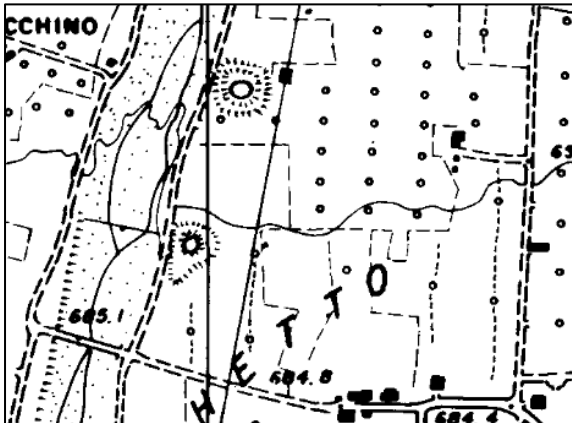
Superficie: 616 m²; Perimetro: 88 m. Diametro: 28 m.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: area perlustrata ma senza rinvenimenti particolari.

Confronto immagini Google Earth: traccia visibile nelle immagini del 21/3/2004 e del 6/6/2014.

Confronto CTR:



-10 Tracce lineari e spaziali dall'area del c.d foro di Galatese

Coordinate centroide Area (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N): 482144.429, 4190912.137 m.

Digital image processing:

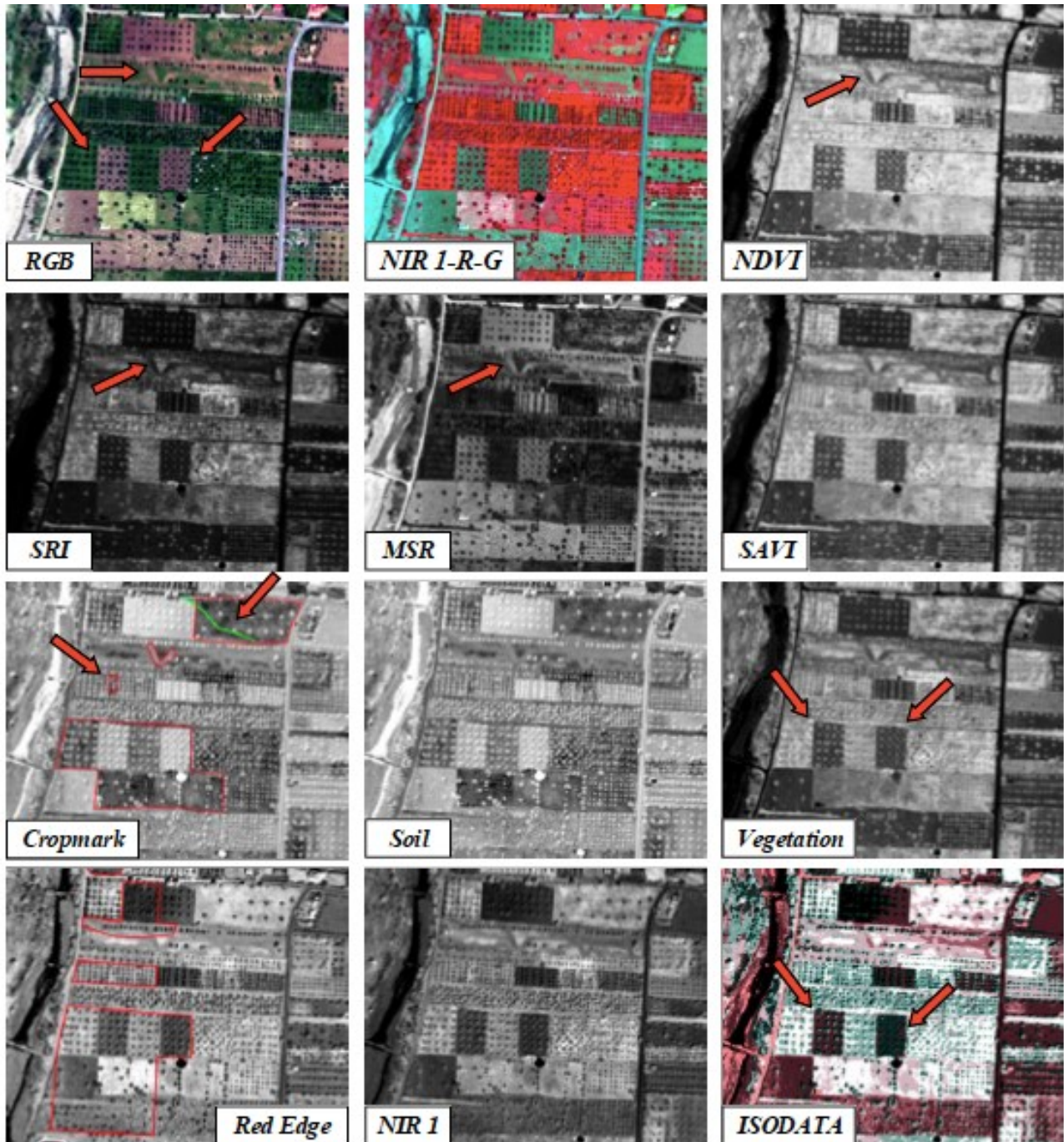
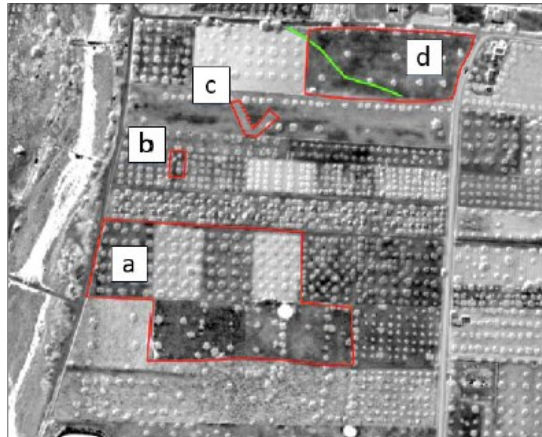


Figura 14: Immagini dell'area 2 nei diversi output generati. Nel Red Edge sono inoltre indicate le aree segnalate dalle ricognizioni dell'*Upper Simeto Valley Project*. In Cropmark sono indicate, invece, le anomalie emerse grazie al presente lavoro.

Descrizione traccia: nell'area in esame possono individuarsi 4 sotto-aree, presentare nella seguente immagine.



- Area a:

Tale area è segnalata come area anomala in quanto, all'interno della medesima proprietà, si alternano terreni dalle caratteristiche nettamente differenti in termini di tessitura, colore e risposta spettrale.

- Area b:

Un frutteto copre, in maniera quasi completa, l'intero spazio. Tuttavia, nonostante le ovvie difficoltà, sembra essere distinguibile un *cropmark*, la cui interpretazione, al momento, sfugge a causa delle folte chiome degli alberi.

- Area c:

In quest'area risulta assai leggibile un mark, composto da due elementi rettilinei che si incontrano nel punto più in basso. Si noti come tale anomalia ricorra, seppur con dimensioni differenti, in altre aree di Galatese (vedi schedario).

Dimensioni (approssimate) della traccia a "V":

Lunghezza Lato sinistro: 28 m; Lunghezza Lato Destro: 20 m. Angolo interno formato tra i due lati: 75°. Larghezza lati: 6.5 m.

- Area d:

Numerose sono le irregolarità presenti nella tessitura della copertura vegetale dell'area. Nelle immagini analizzate è stata individuata una traccia lineare, ben visibile anche in un DEM e in una mesh realizzati impiegando le foto aeree acquisite da drone.

Interpretazione tracce: per quanto concerne le aree "A" e "B" sulla base dei dati in nostro possesso risulta assai complesso avanzare ipotesi sulla genesi e sulla consequenziale interpretazione delle

anomalie individuate. La “V” individuata nell’area “C” ricorre, come detto, anche in altre zone di contrada Galatese, segno che tale specifica forma non sia frutto di una mera casualità. Infine, la traccia letta all’interno dell’area “D” sembra essere identificabile come un probabile asse viario andato perduto, una probabile via d’accesso ai poderi precedente alla ripartizione agraria attuale.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: La lettura avanzata dal team inglese riconosce in questo spazio un settore centrale, definito *foro*, dell’insediamento urbano (Tissa?). La ricognizione ha permesso infatti di raccogliere una grande abbondanza di manufatti, soprattutto ceramica fine da mensa, di produzione orientale e africana.

11- Fabbricato/i a ovest del fiume Martello

Coordinate centroide traccia (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N):481566.772, 4190478.284 m.

Digital image processing:

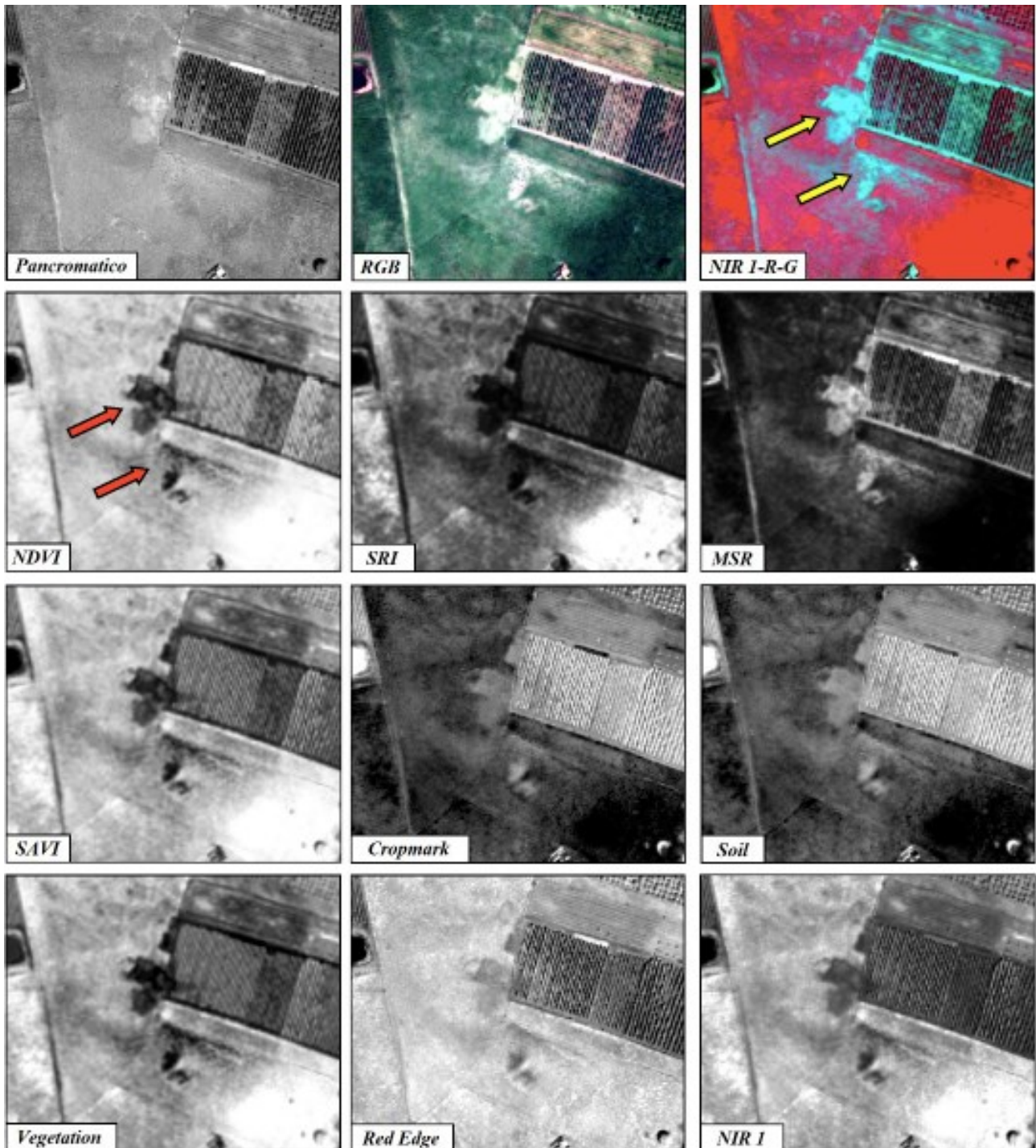


Figura 15. Immagini traccia nei diversi output generati

Descrizione traccia: Come si vede nella figura 11, è possibile individuare due tracce, entrambe visibili in quasi tutti gli output generati, specialmente nella composizione a falsi colori classica (NIR 1-R-G), nell'NDVI e nell'MSR.

Dimensioni (approssimate) della traccia superiore:

Superficie: 700 m²; Perimetro: 160 m.

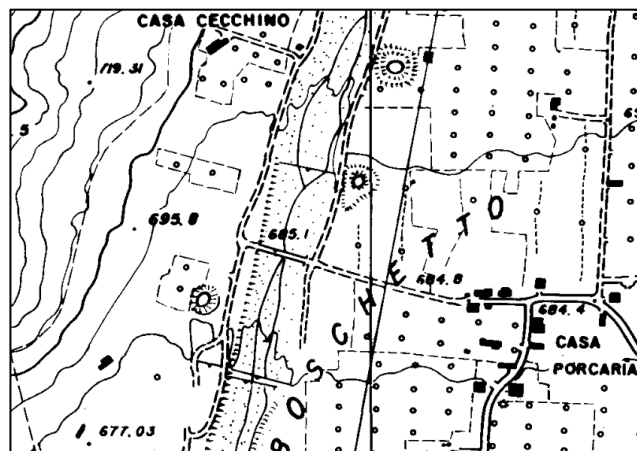
Formazione: Antropica.

Interpretazione traccia: la peculiare forma, associata alle dimensioni, porta a credere che la traccia individuata sia pertinente ad un possibile edificio ipogeo, sebbene, ovviamente, servano ulteriori riscontri per meglio identificare anche la natura della struttura e la sua datazione.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: area non perlustrata dal team inglese.

Confronto CTR: le due tracce in questioni non sono presenti in CTR.



Confronto immagini Google Earth:

Nell'immagine del 22/3/2010 si riesce soprattutto ad individuare la traccia superiore.

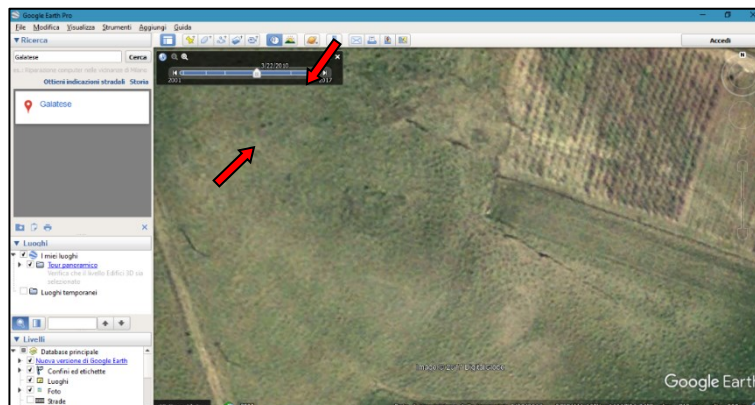


Figura 3.3 – Immagine Google Earth del 22-03-2010.

Nell'immagine del 6/6/2014 si nota, proprio in corrispondenza delle tracce, l'assenza di vegetazione, che rivela pertanto la presenza di elementi interrati.

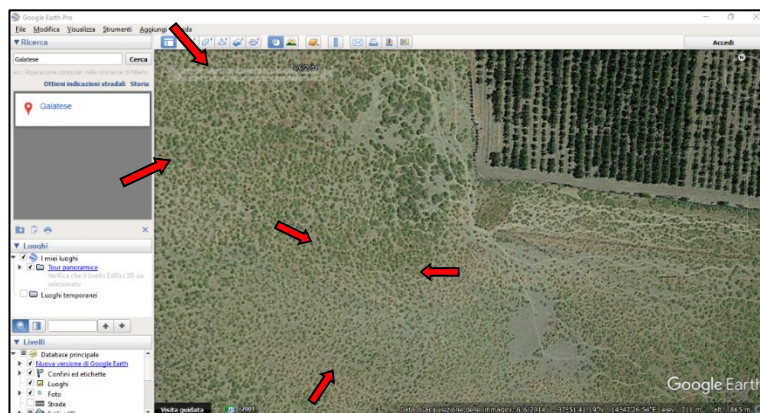


Figura 3.4 – Immagine Google Earth del 06-06-2014.

In entrambe le immagini è stato verificato che le dimensioni delle anomalie coincidono con quelle individuate nell'immagine multispettrale con cui si è lavorato. Questo ha consentito di avvalorare quanto desunto dall'analisi.

12- Tracce circolari

Coordinate centroide Area (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N): 482509.252, 4191126.56 m.

Digital image processing:

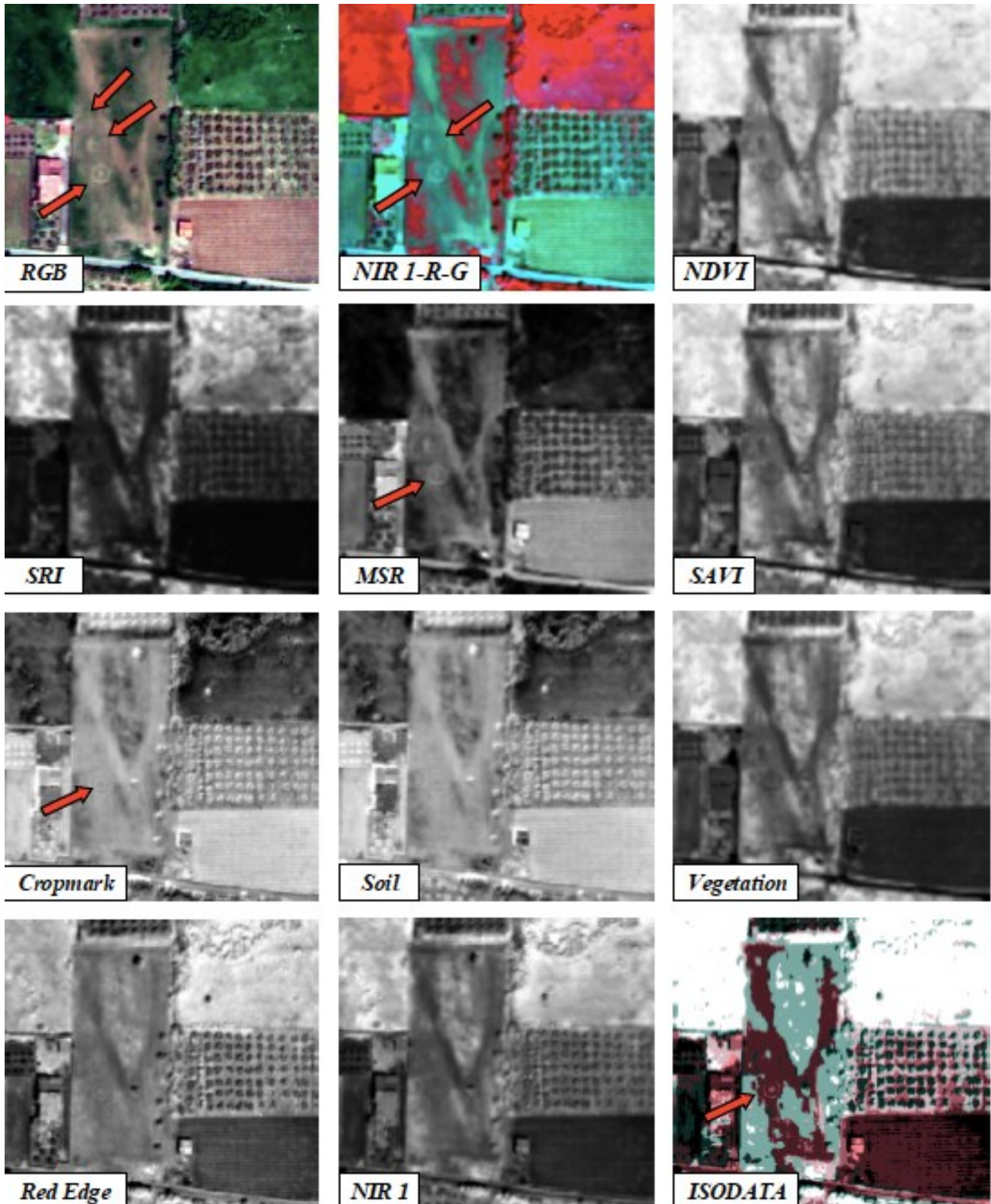


Figura 16: immagini delle tracce nei diversi output generati.

La traccia in questione risulta leggibile in buona parte degli output riportati. Anche il pancromatico, in questo caso, si è dimostrato idoneo ai fini della lettura delle tracce in questione. Inoltre, la classificazione *unsupervised* presenta come *feature* anche la traccia inferiore, che denota una netta separabilità spettrale rispetto al fondo.

Descrizione traccia: Si tratta di tre strutture circolari in serie, aventi dimensioni notevolmente inferiori rispetto alla traccia 1 (cisterna).

Forma: circolare.

Tipologia traccia: soilmark.

Dimensioni (approssimate):

Superficie: 78 m²; **Perimetro:** 31 m. **Diametro:** 10 m. Si noti che le dimensioni delle tre tracce circolari siano perfettamente coincidenti tra loro.

Interpretazione traccia: possibile cisterne

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: area non perlustrata dal team inglese.

Confronto immagini Google Earth: tracce visibili a mala pena nelle immagini del 6/6/2014. Nelle immagini del 14/06/2014 si nota invece che nella parte sommitale di tale proprietà è stato realizzato un campo di calcio di dimensioni complessive 40 x 22 m.

Confronto CTR: Le tracce circolari in questione non sono presenti in CTR.

13- Mark paralleli

Coordinate centroide Area (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N): 482509.252, 4191126.560 m.

Digital image processing:

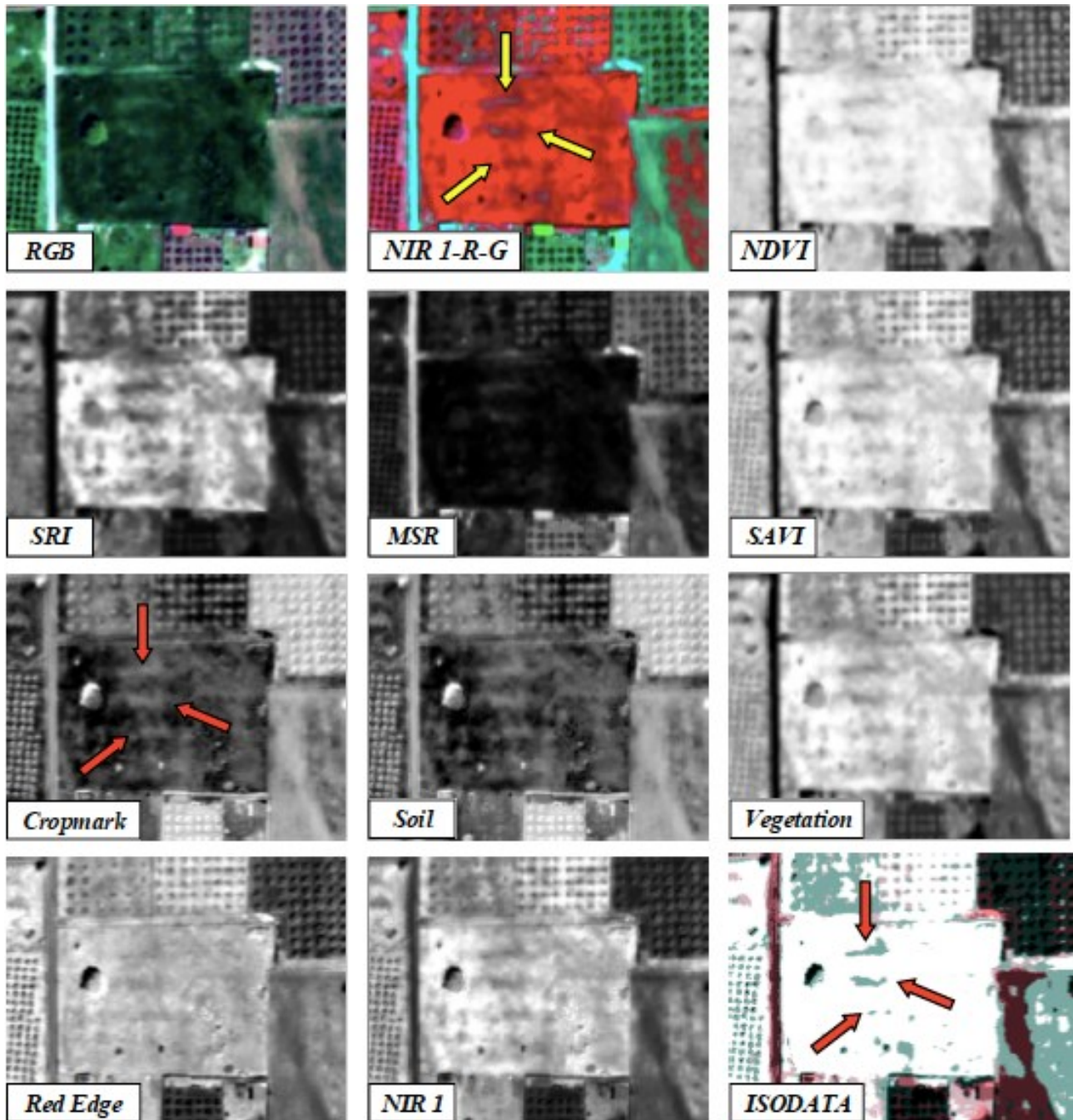


Figura 17: immagini tracce 5 nei diversi output generati.

Le tracce sono state lette nella maggior parte degli output riportati; il pancromatico, invece, non si è dimostrato idoneo ai fini dell'identificazione delle anomalie. Anche in questo caso, la classificazione *unsupervised* estrae come *feature* le tracce in questione, che presentano una netta separabilità spettrale rispetto al fondo.

Descrizione traccia: Si tratta di tre *mark* rettilinei e paralleli tra di loro.

Dimensioni (approssimate):

Lunghezza traccia in alto: 21 m. Larghezza traccia in alto: 2 m.

Lunghezza traccia centrale: 15 m. Larghezza traccia centrale: 2 m.

Lunghezza traccia in basso: 12 m. Larghezza traccia in basso: 2 m.

Interpretazione traccia: la posizione topografica, la stessa posizione occupata da ogni *mark* in relazione agli altri, l'orientamento costituiscono fattori che spingono verso l'interpretazione delle anomalie come probabili assi viari.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: area perlustrata dal team inglese ma senza rinvenimenti degni di nota.

Confronto immagini Google Earth: tracce visibili a mala pena nelle immagini del 6/6/2014. Nelle immagini del 14/06/2017 si nota invece che nella parte sommitale di tale proprietà è stato realizzato un campo di calcio di dimensioni complessive 40 x 22 m.

Confronto CTR: Le tracce circolari in questione non sono presenti in CTR.

14- Traccia a “V”

Coordinate centroide traccia (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N): 482482.826, 4191325.585 m.

Digital image processing:

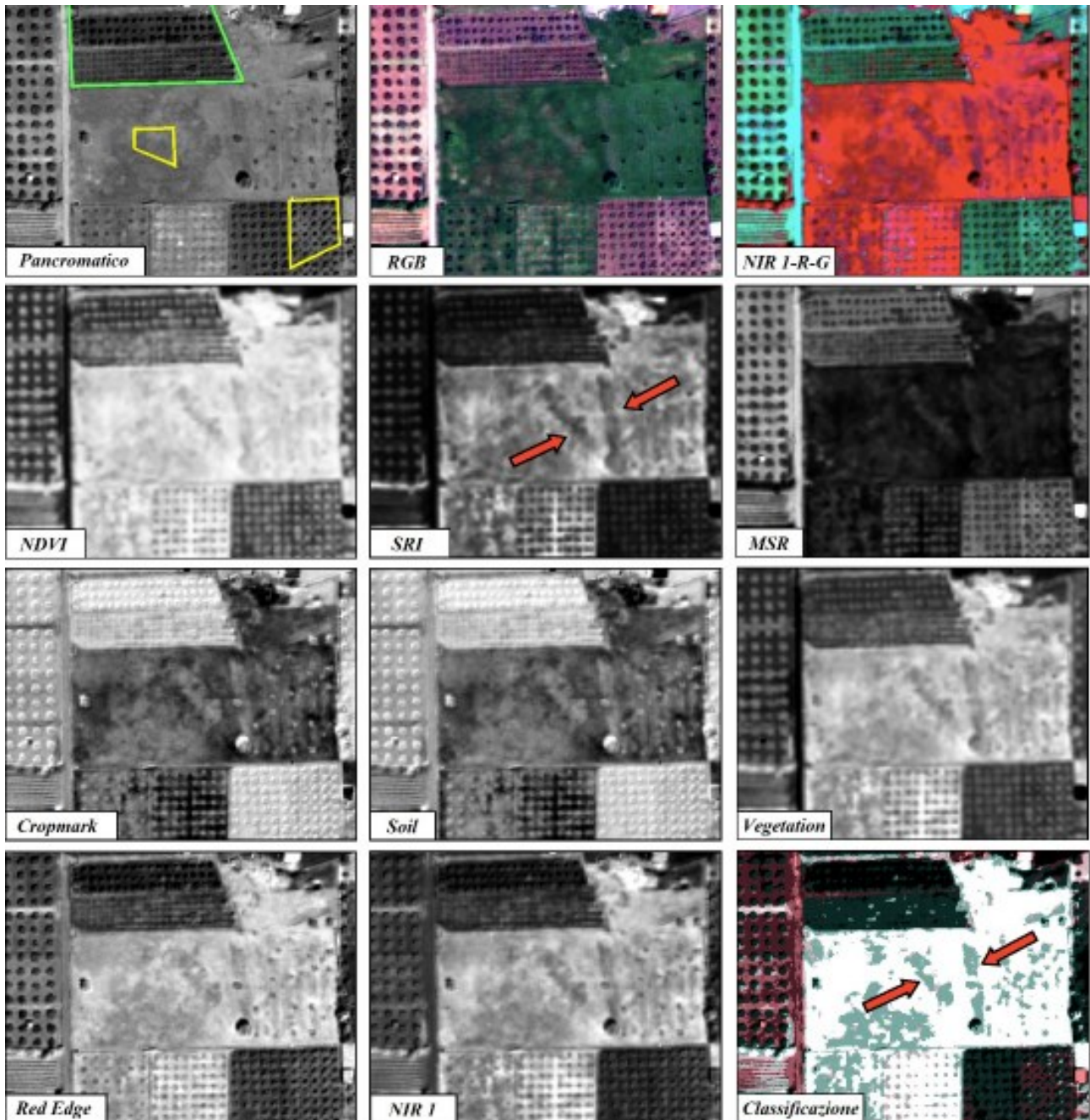


Figura 18: immagini traccia 6. Nel Pancromatico sono indicate, in verde e in giallo, le aree indicate nell'Upper Simeto Valley Project

Come si evince dalla figura 14, la traccia in questione è stata letta in quasi tutti gli output riportati, specialmente nella composizione a falsi colori classica (NIR 1-R-G) e nel SRI. Il pancromatico, invece, non si è dimostrato idoneo ai fini dell'identificazione della traccia. Essa è presente anche nella classificazione *pixel-based unsupervised* grazie alla sua netta separabilità spettrale rispetto al fondo.

Descrizione traccia: si individua una particolare forma a “V”, già identificata in un'altra area di Galatese, seppur con dimensioni differenti

Dimensioni (approssimate):

Lunghezza Lato sinistro: 60 m; *Lunghezza Lato Destro:* 55 m. *Angolo interno formato tra i due lati:* 35°. *Larghezza lati:* 4 m.

Interpretazione traccia: La traccia analizzata non sembra essere riconducibile a una qualche tipologia edilizia di carattere archeologico a causa della sua peculiare forma. Nonostante ciò, la ricorrenza del tipo denota la non casualità dell'anomalia.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: Secondo la proposta avanzata dal *team* inglese si dovrebbe localizzare in questa area una necropol, in uso in epoca tardo antica.

Confronto immagini Google Earth: si evince ben poco. L'unica immagine in cui la traccia è solo leggermente visibile è quella del 22/3/2010.

Sopralluogo: effettuato in data 19-10-2017. L'area non risulta accessibile in quanto proprietà privata. Sono state comunque scattate delle fotografie dall'esterno dell'area, dalle quali purtroppo non si riesce ad evincere nulla di significativo.

15- Traccia “interna”

Coordinate centroide traccia (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N): 482722.311, 4190950.657 m.

Digital image processing:

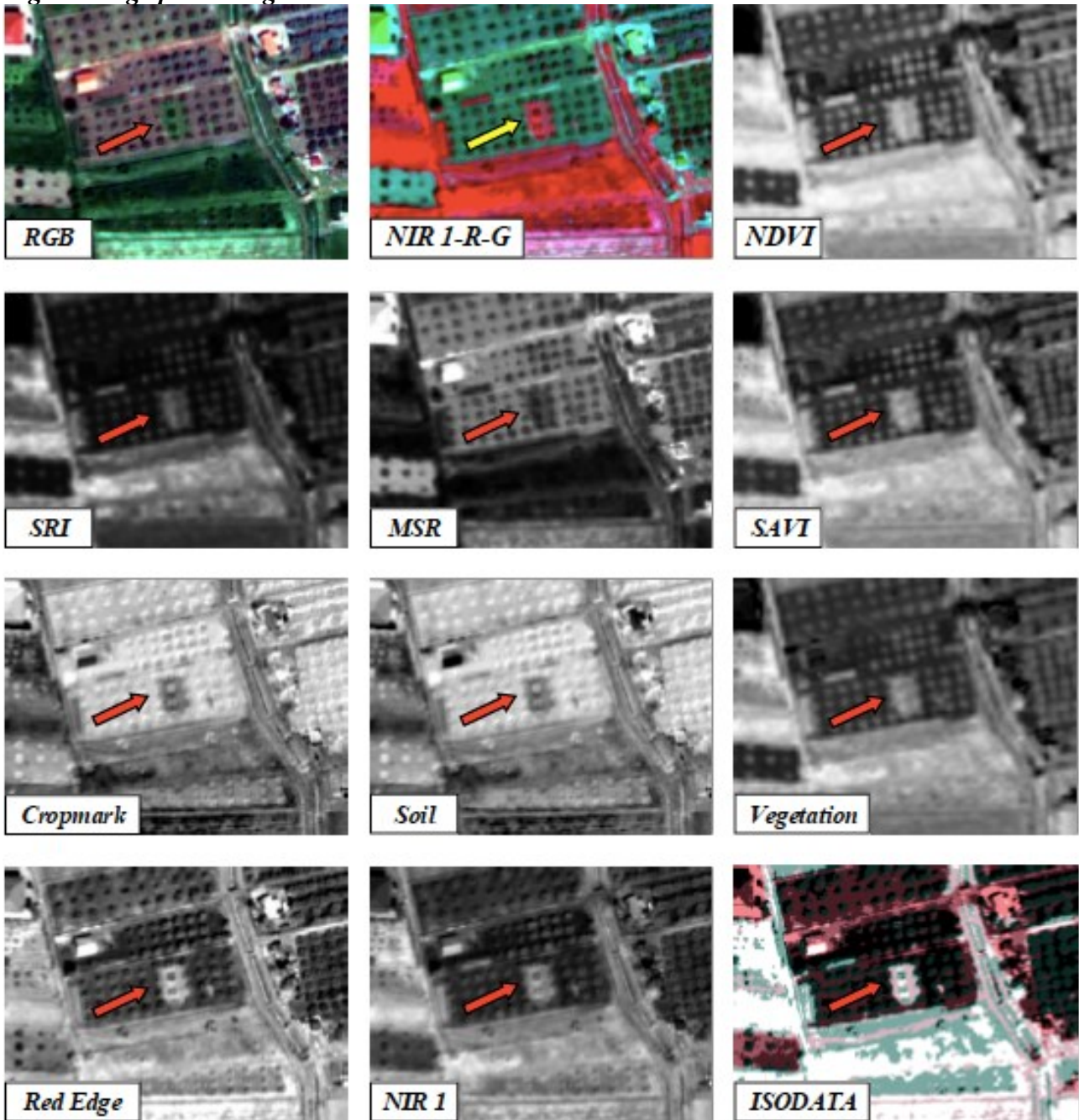


Figura 19: immagini traccia 7 nei diversi output generati.

Come si vede nella figura 15, la traccia è stata individuata sia in tutti gli output generati che nella classificazione *unsupervised*.

Descrizione traccia: l'area risulta alberata e ciò inficia notevolmente le possibilità di individuazione di tracce archeologiche. Tuttavia, sembra essere visibile una particolare traccia rettangolare.

Forma: rettangolare.

Dimensioni (approssimate):

Lato lungo: 18 m. *Lato corto:* 12 m.

Interpretazione traccia: impossibile avanzare alcuna ipotesi sulla natura della traccia.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: area non indagata dal *team* inglese.

Confronto CTR: non si hanno riscontri nella CTR.

Confronto immagini Google Earth:

Nelle diverse immagini multitemporali (e multistagionali) di Google Earth consultate, l'intera proprietà appare sempre vegetata in maniera omogenea, pertanto la traccia non appare mai individuabile.

16- Anomalia spaziale da Fondaco

Coordinate centroide traccia (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N): 482904.928, 4190265.305m.

Digital image processing:

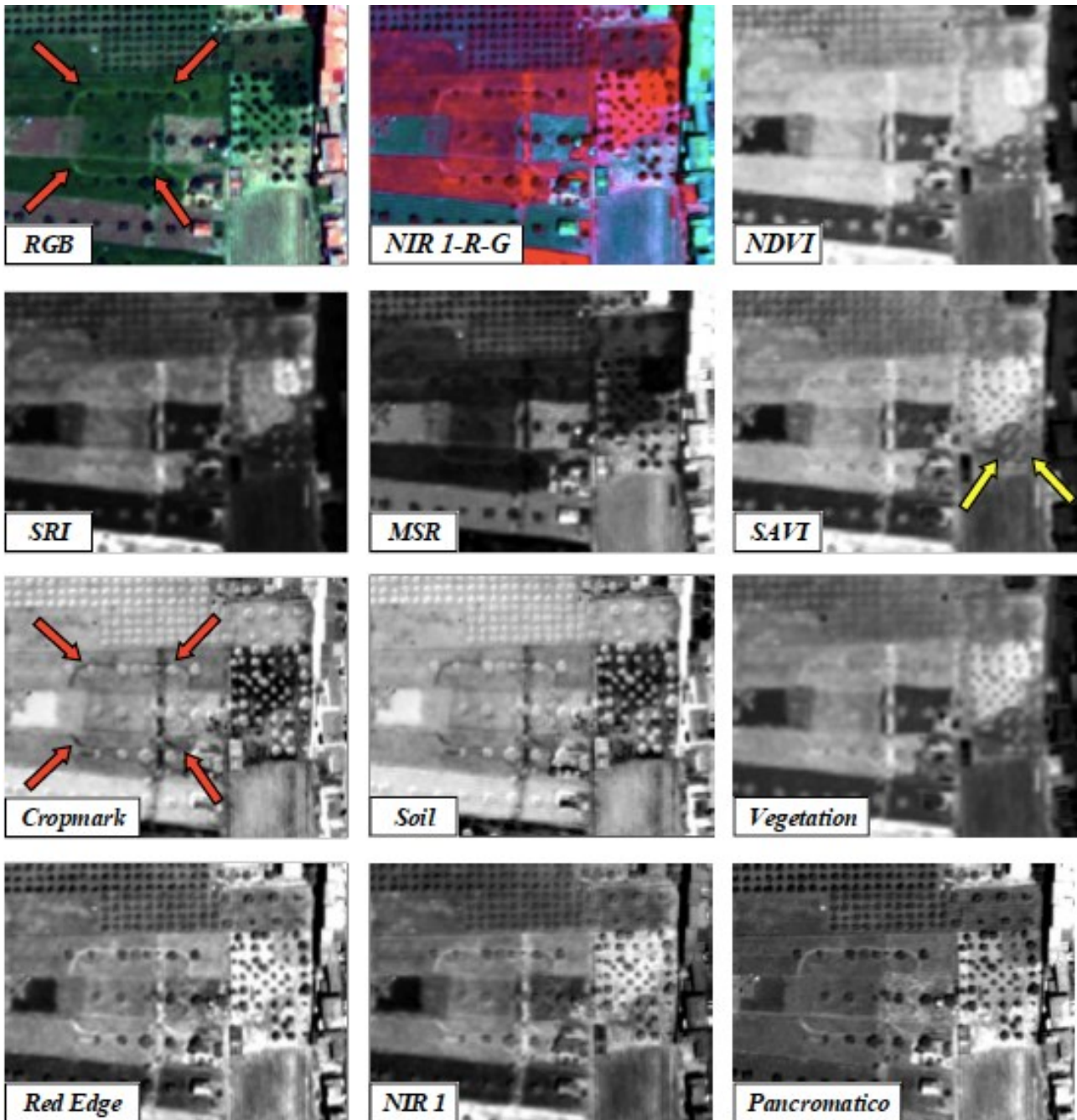


Figura 20 Immagini traccia 8 nei diversi output generati. È possibile individuare due aree di particolare interesse: una ad Ovest (freccie rosse) ed una più ad Est (freccie gialle).

Descrizione Area: è possibile individuare due aree di particolare interesse. La prima area, indicata nella figura precedente con le frecce rosse, è un terreno di proprietà privata, recintato per la maggior parte del suo perimetro e coltivato in maniera non intensiva; per fortuna, la maggior parte dell'area non è coperta da alberi e l'abitazione è di piccole dimensioni.

La seconda area invece si trova leggermente più ad Est, ed è indicata con le frecce gialle. La visibilità in tale area è fortemente limitata dalla presenza di alberi.

Raster utilizzati per l'individuazione delle anomalie:

La traccia ad Ovest è individuabile nell'RGB, nella composizione a falsi colori classica (NIR 1-R-G), in *cropmark*, *soil* e nei raster monobanda riportati. Si noti invece come gli indici di vegetazione non abbiano consentito l'individuazione di tale anomalia.

La traccia ad Est invece è stata letta principalmente utilizzando il SAVI ed il Red Edge.

Descrizione anomalie e forma: La traccia nell'area ad Ovest, più leggibile rispetto all'altra, ha una forma a metà strada tra un rettangolo e un ovale, visto che curva leggermente sul lato corto posto a Ovest; inoltre, nell' 'angolo' di Sud-Est si distingue una circonferenza, leggibile quasi nella sua totale interezza.

Per quanto riguarda le tracce nell'area ad Est, non è possibile ricostruire il perimetro di tale struttura in quanto la presenza degli alberi limita notevolmente la visibilità. Per quanto è possibile vedere, essa è ovoidale e presenta almeno due ulteriori anomalie circolari assimilabili a quella posta nei pressi dell'angolo SE della struttura dell'area ad Ovest.

Dimensioni (approssimate):

Le due strutture presenti nell'area ad Ovest occupano un'area cumulativa di circa 3000 m², con larghezza di circa 45 m e lato lungo di circa 66 metri.

Interpretazione anomalia:

Sulla possibile interpretazione dell'intera traccia come villaggio neolitico o come semplice pista causata dal passaggio di mezzi agricoli (confronta immagine Google Earth del 22/3/2010) ci siamo già soffermati nell'analisi di tre casi studio.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: area non indagata dal team inglese

Sovrintendenza: è stato segnalato dal personale della Sovrintendenza il rinvenimento, durante lavori edili, di alcuni frammenti di rara Sigillata Tardo-Italica, databile alla prima età imperiale, e di «*uno strato con strumenti di ossidiana appartenente alla preistoria*».

17- Anomalia circolare e lineare

Coordinate centroide traccia (EPSG: 32633 – WGS 84/UTM zone 33N): 482984.868, 4190587.261 m.

Digital image processing:

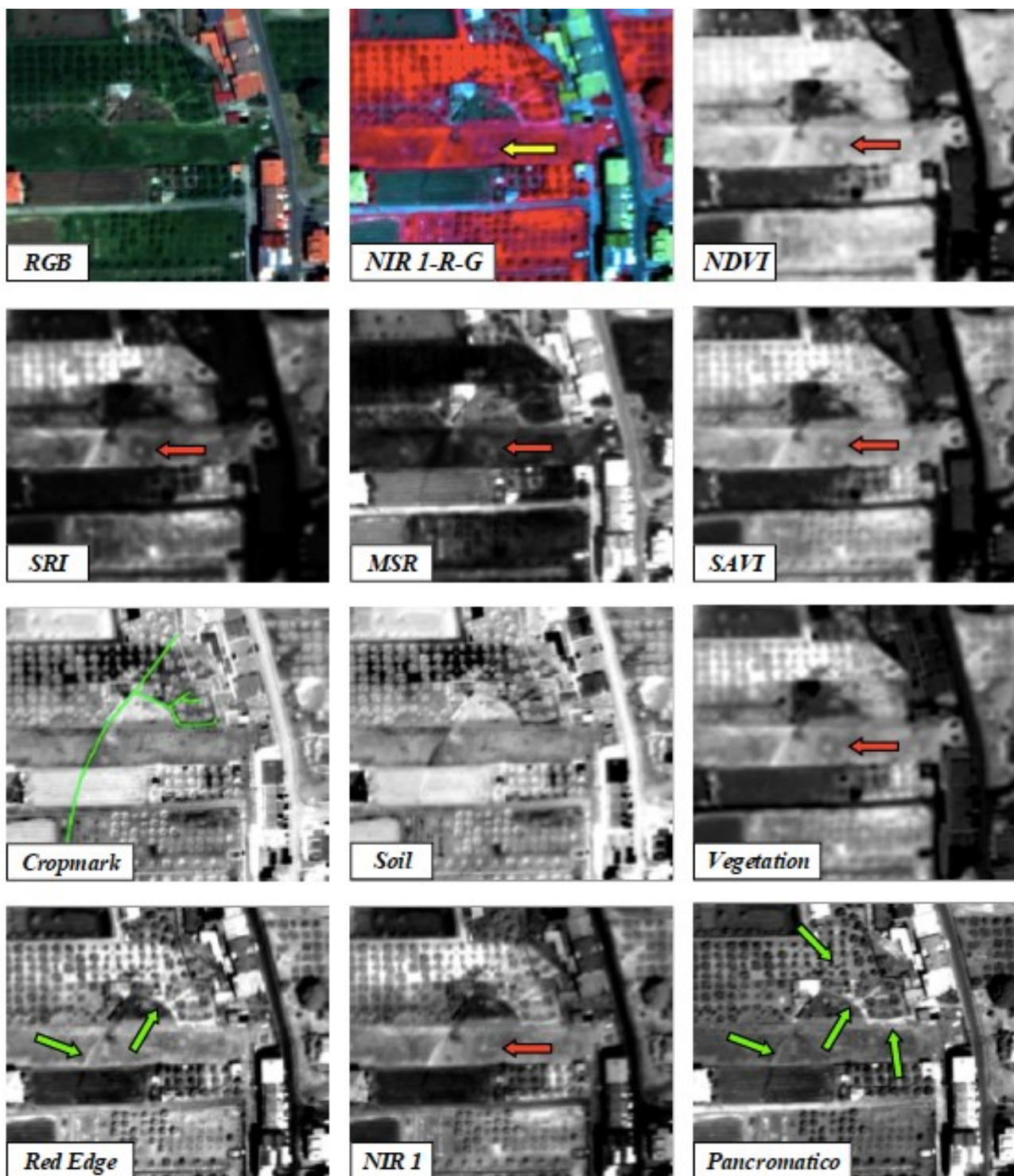


Figura 21: Immagini delle tracce nei diversi output generati. In rosso (e in giallo) è indicata l'anomalia circolare mentre in verde l'anomalia lineare.

Le due tracce sono individuate in output differenti. Infatti, l'anomalia circolare (indicata in rosso), è facilmente leggibile nel NIR 1, con gli indici di vegetazione, in *Vegetation* e nella visualizzazione a colori naturali e falsi colori. Invece, l'anomalia lineare è riconoscibile nel Red Edge, Pancromatico, *Cropmark*, *Soil*, MSR, visualizzazione a colori naturali e falsi colori.

Descrizione traccia: è stata individuata un'anomalia circolare, avente dimensioni analoghe a quelle riportate nella scheda 12 "Tracce Circolari". È stata, inoltre, segnalata un'anomalia lineare, la quale arriva in prossimità del proprietà riportata nella scheda 16, come si vede nella seguente figura.



Figura 22: sviluppo della traccia lineare.

Forma: è stata individuata una traccia circolare e una lineare.

Dimensioni (approssimate):

Diametro Traccia circolare: 10 m.

Lunghezza Traccia lineare: 396 m

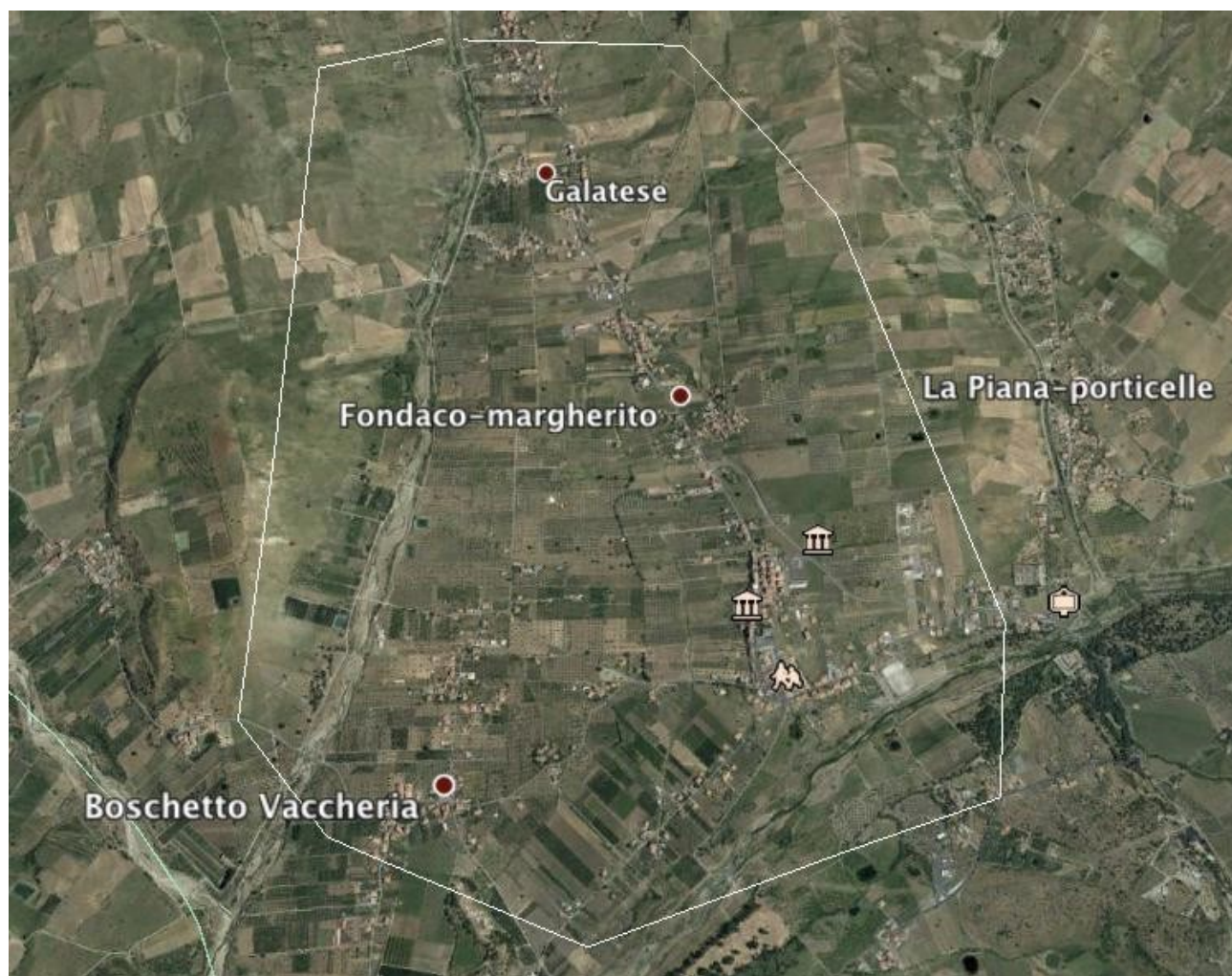
Interpretazione traccia: la traccia lineare sembrerebbe essere il retaggio di una vecchia parcellizzazione agraria.

Altre fonti consultate:

Upper Simeto Valley Project: area non indagata dal team inglese.

Confronto immagini Google Earth: la traccia lineare è visibile nelle diverse immagini multitemporali. La traccia circolare invece è visibile a mala pena nelle immagini del 6/6/2014.

TAVOLE



Estensione della macro-area numero 1, corrispondente alle contrade Galatese, Boschetto Vaccheria e Cavallaro (elaborazione da *Google Maps*).



Estensione dei centri urbani nella macroarea n.1 (elaborazione autore con base ortofoto regionale 2012-2013).



**Estensione della macro-area numero 2, corrispondente alle contrade
Sciare Santa Venera, Edera, Balze Soprane Sottane.**



Foto aerea del 1954. Si apprezza la portata dei corsi d'acqua di molto maggiore rispetto al valore medio odierno.

TAV. V



Contrada Galatese (da ortofoto regionale del 2013).

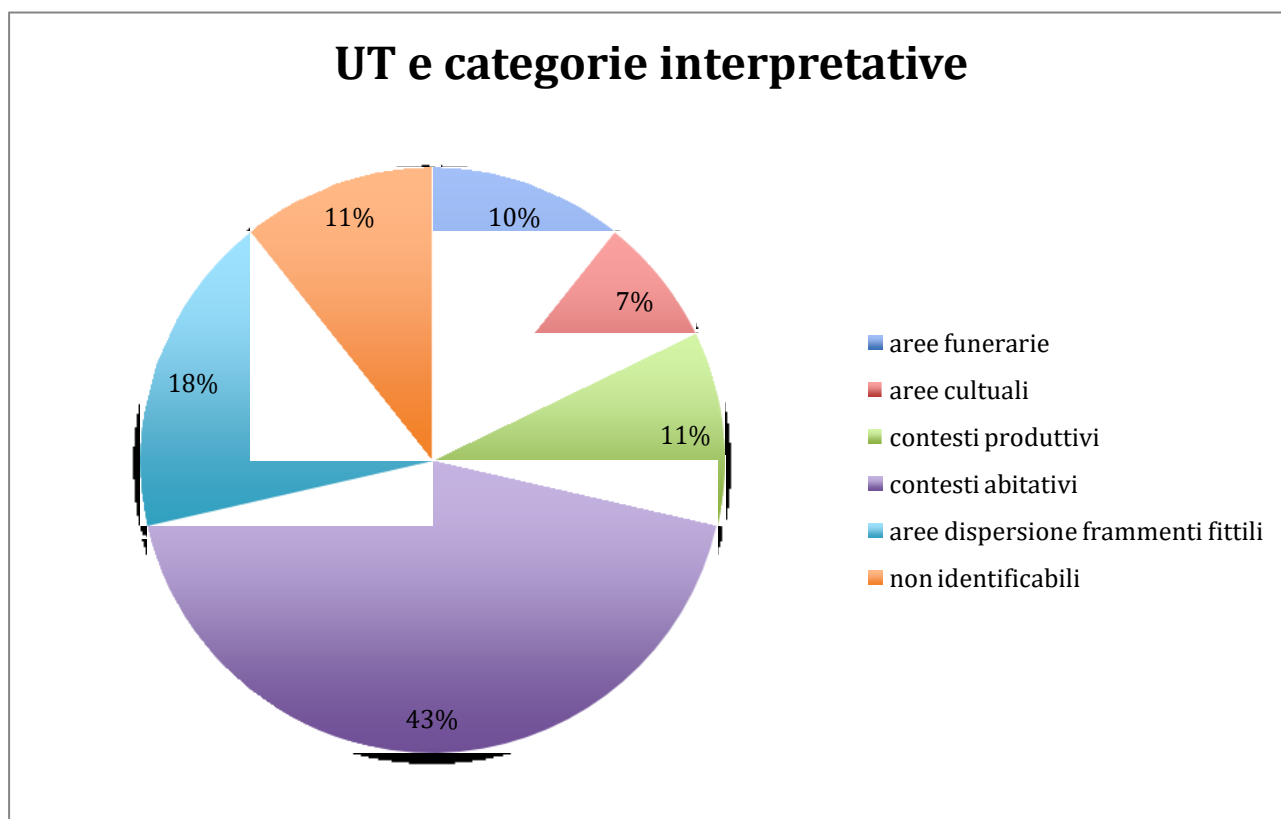
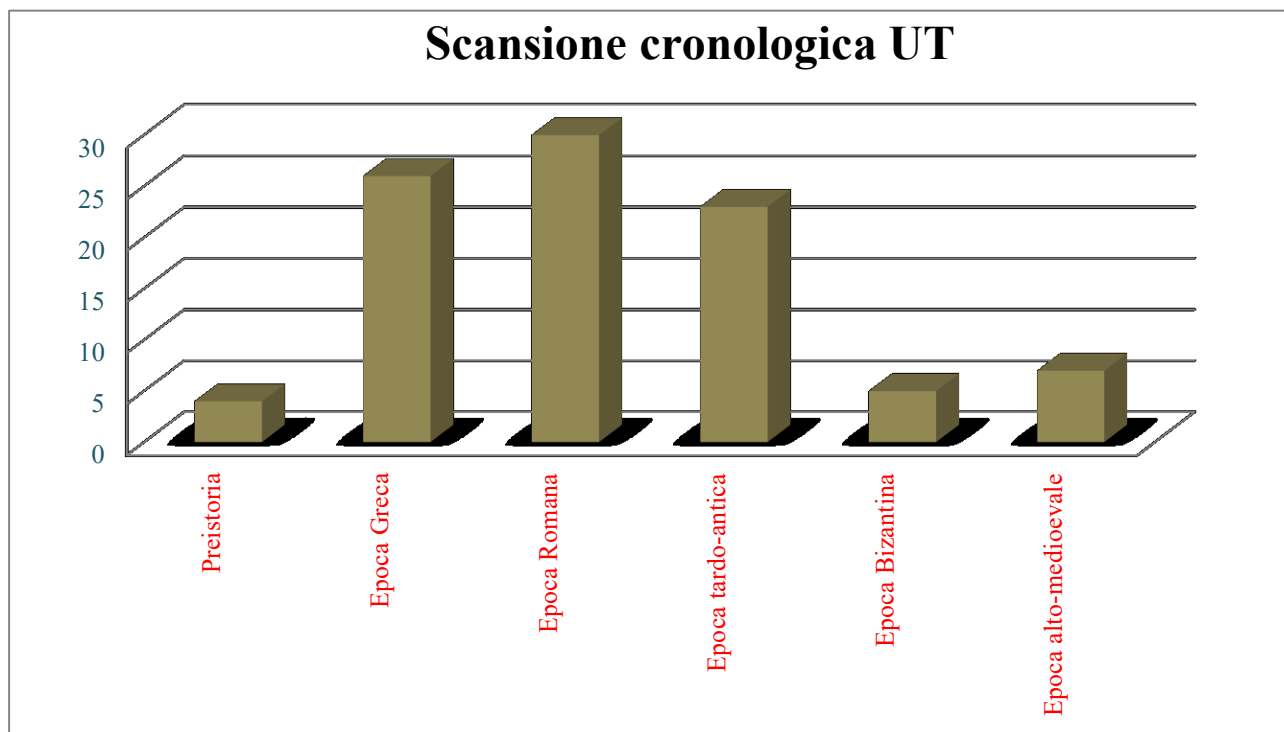


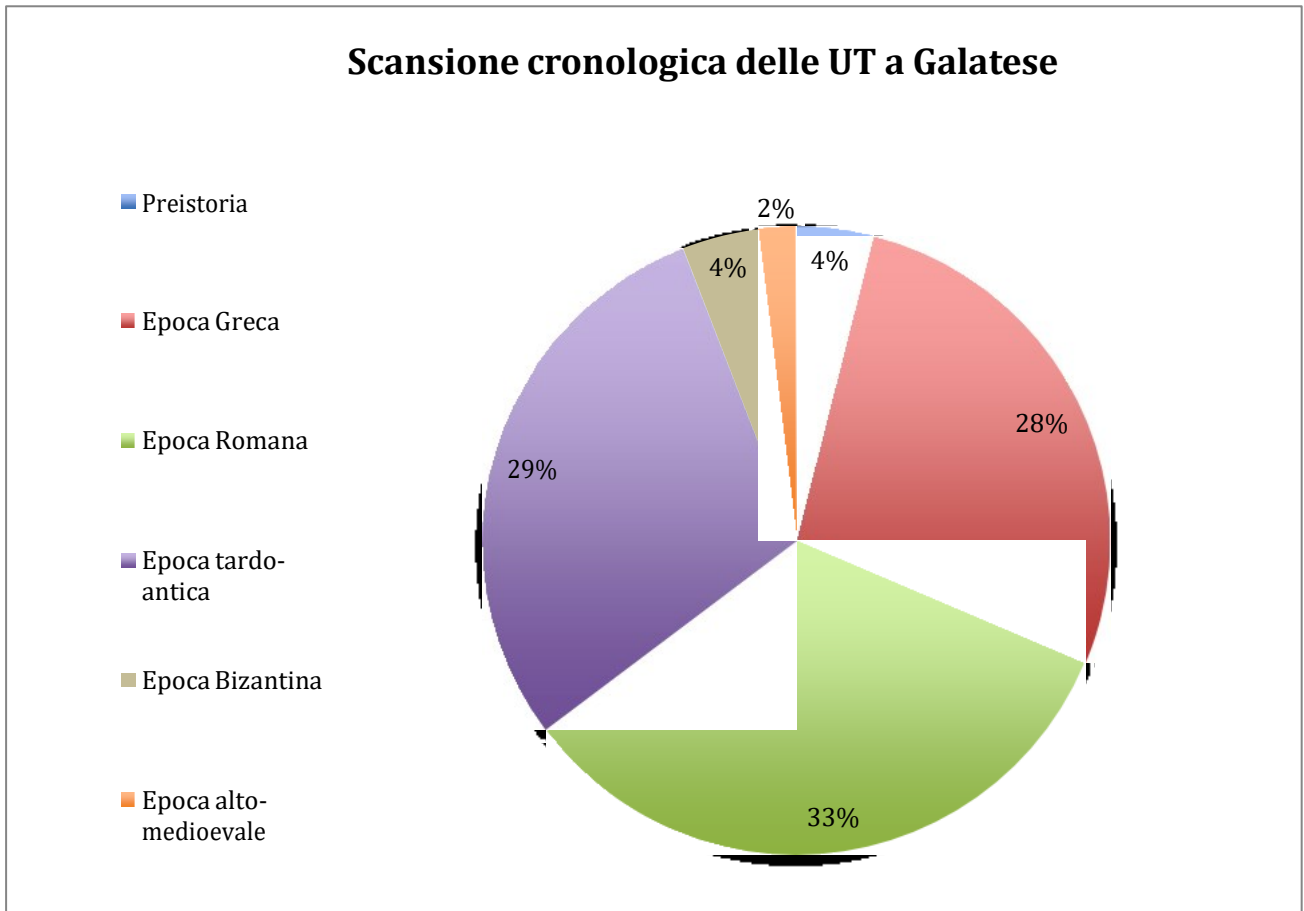
Grafico a torta con la suddivisione delle UT (29) in base alle categorie interpretative proposte.



Letture diacronica delle UT individuate con l'attività di *survey*. Evidente la preminenza delle fasi di epoca classica (greco-romana) e tardoantica.



Follis dell'imperatore bizantino Costantino V in unione col figlio Leone IV, coniato nella zecca di Siracusa negli anni compresi tra il 751-775 d.C. Sul D/ entrambe le figure indossano chlamys e corona, reggono con il braccio piegato sul petto l'akakia; probabilmente una croce tra le loro teste. Nel R/ busto frontale di Leone III, barbato, con indosso corona, chlamys e regge una croce.



Le 50 UT di contrada Galatese inquadrabili cronologicamente.



Ascetta in giadeite da Galatese(foto autore).



Ascetta in giadeite dalla grotta Tartaraci (da Consoli, fig. 3, p. 76).



Piccolo bronzo a nome di Costanzo II cesare, con nel R/ GLORIA EXERCITUS e due soldati ai lati di due insegne, coniato tra il 330 e il 335 d.C.

TAV. XIII



Lo scavo e un dettaglio della sezione del pozzo nella UT 1060.

(foto autore).

TAV. XIV

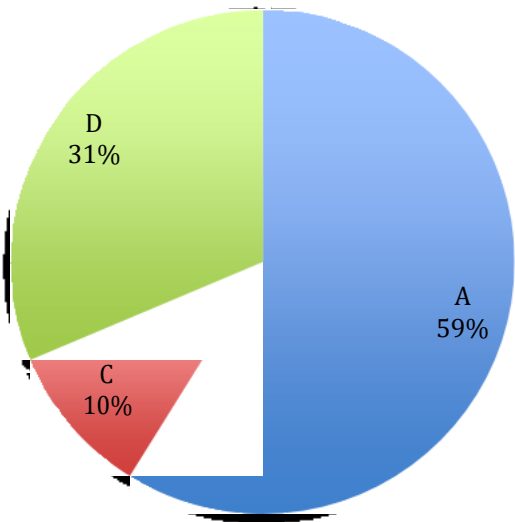


Laminetta in metallo dalla UT 1060 (foto autore).

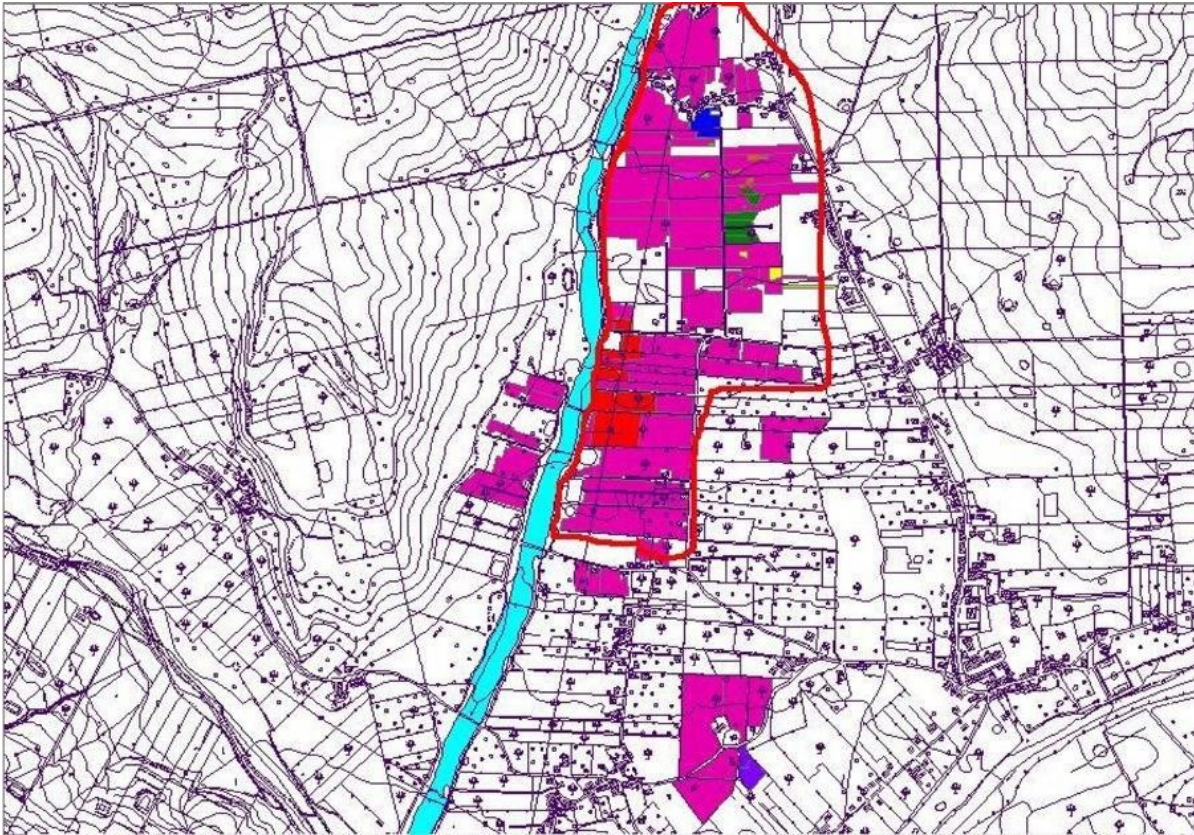


Frammento di fondo di un piatto di TSA D, II metà del V secolo (foto autore).

Produzione africane dall'area del "foro"



Attestazione, in percentuale, dei rinvenimenti di ceramica fine da mensa di produzione africana dall'area del c.d. Foro (elaborazione dell'autore).



Rielaborazione cartografica dei risultati delle due campagne dell' *Upper Simeto Valley Project*. In rosa l'area sottoposta ad indagine, in rosso l'area interpretata come il foro, in verde il contesto produttivo, in giallo le aree dove sono state raccolte evidenze di età islamica e normanna, in viola una possibile necropoli ellenistica, in blu un'area culturale ellenistica.

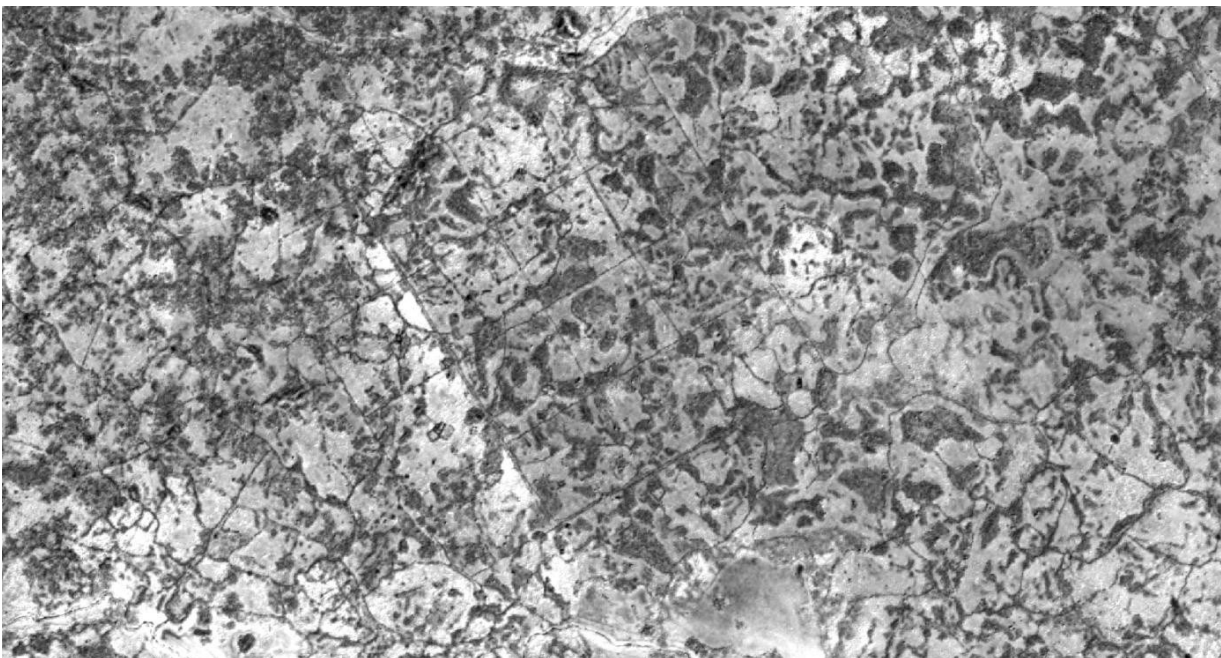


Un raro esempio siciliano di *Cypriot Red Slip* dall'area di Boschetto Vaccheria (foto autore).

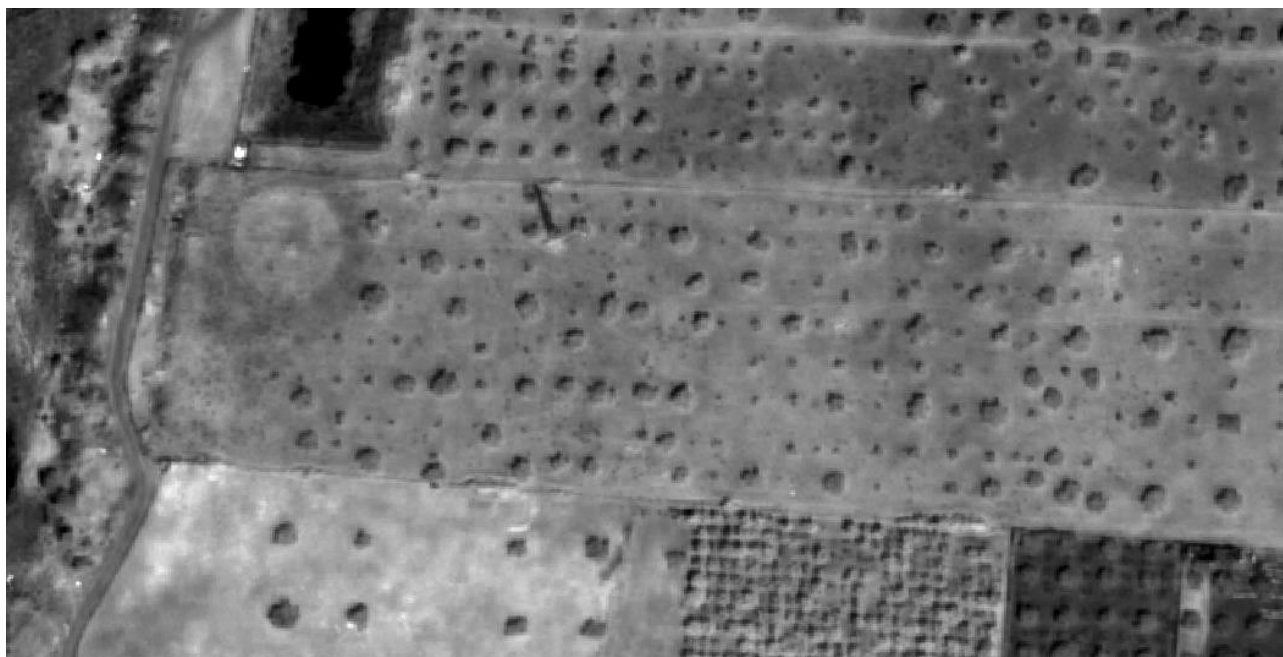
TAV. XIX



Lo stesso tratto del possente muro in blocchi di pietra lavica fotografato in momenti diversi dell'anno (primavera-estate); purtroppo il massimo livello di visibilità archeologica è stato il frutto di un terribile incendio (foto autore).



Contrada Sciare di Santa Venera (Bronte); confronto tra immagine in RGB (in alto) e nel NIR 1 (in basso). Le anomalie antropiche, riconducibili alla parcellizzazione agraria del secondo dopo-guerra, risultano molto più visibili nel NIR 1.



Anomalia circolare da Galatese, evidenziata soprattutto con il NIR (sopra) e con elaborazione RGB (sotto).

TAV. XXII



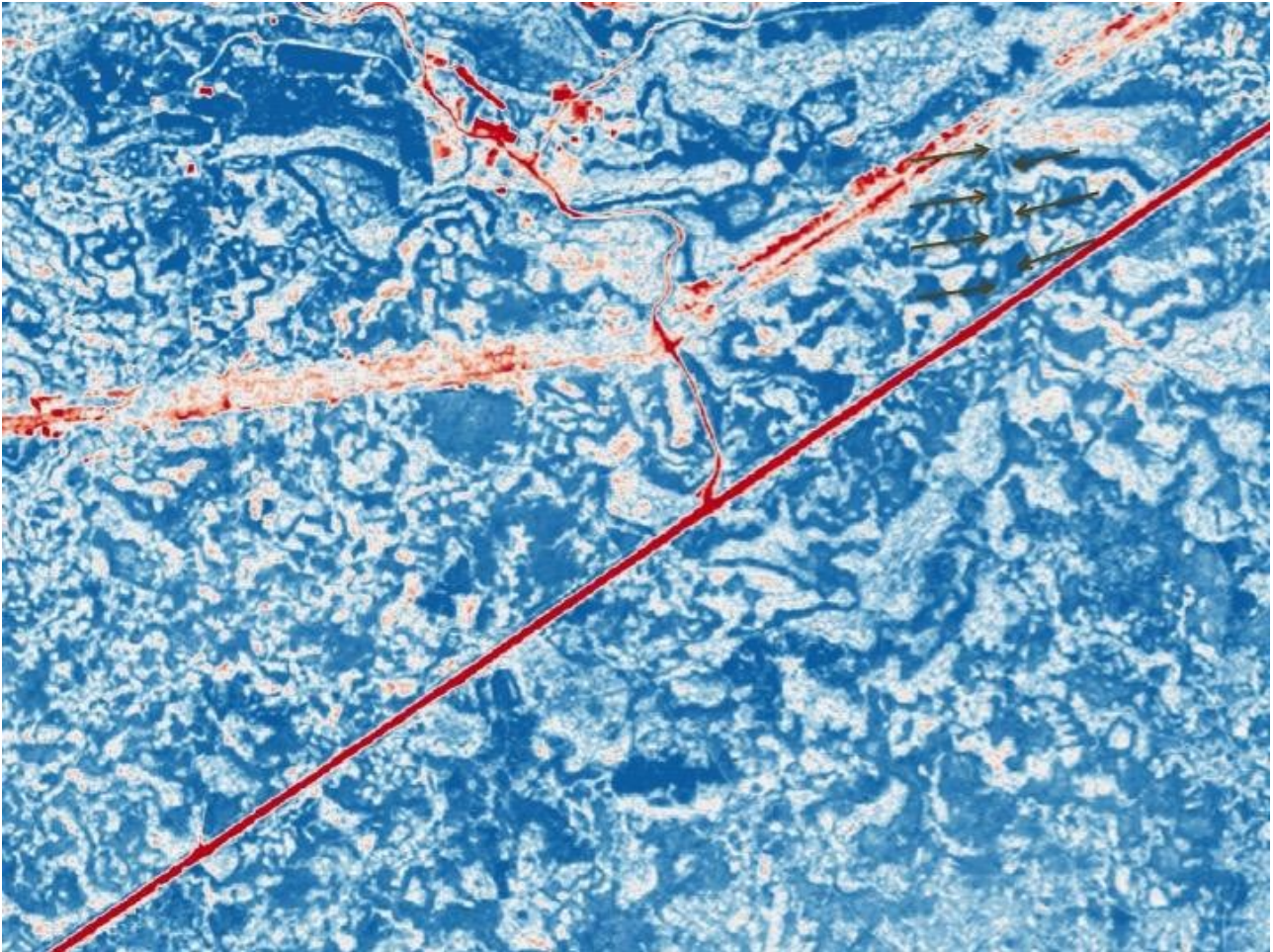
In poche centinaia di metri giace tutta la complessa storia stratificata del paesaggio e dei processi che hanno generato le tracce (sopra RGB, sotto NIR).



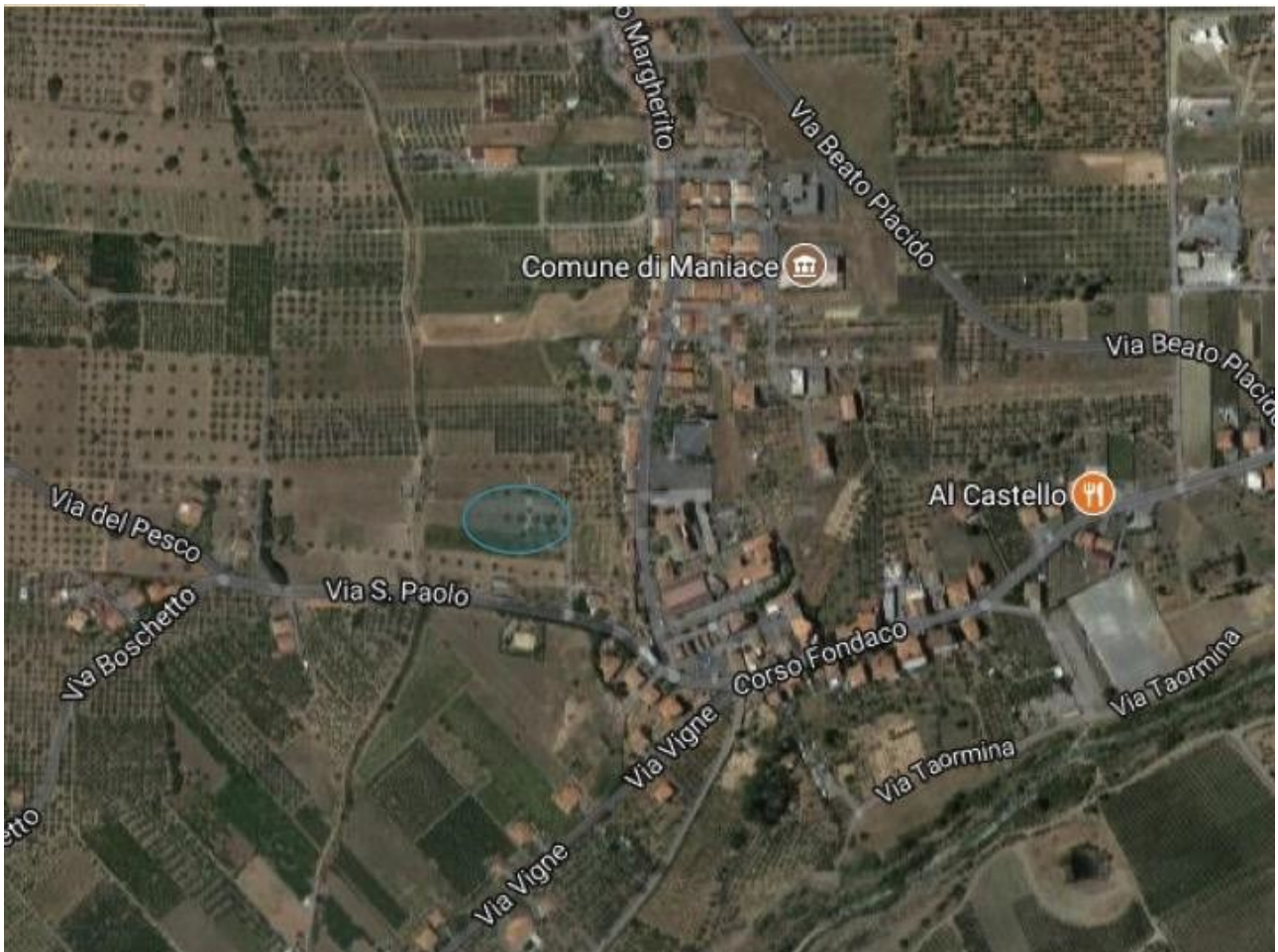
Individuazione di anomalie lineari da Galatese. Evidente l'esistenza di una divisione della proprietà agraria precedente a quella adesso normalmente visibile (entrambe le immagini da NIR).



Le numerosissime strutture murarie individuabili nella zona meridionale di contrada Santa Venera (immagini dal pancromatico).



Individuazione di un'anomalia lineare (muro) a Nord della strada statale (immagine NDVI).



Localizzazione del terreno dove è stata segnalata l'anomalia del caso studio n.1 (elaborazione da *Google Maps*).



Villaggio trincerato neolitico? (immagine dal *Red Edge*)



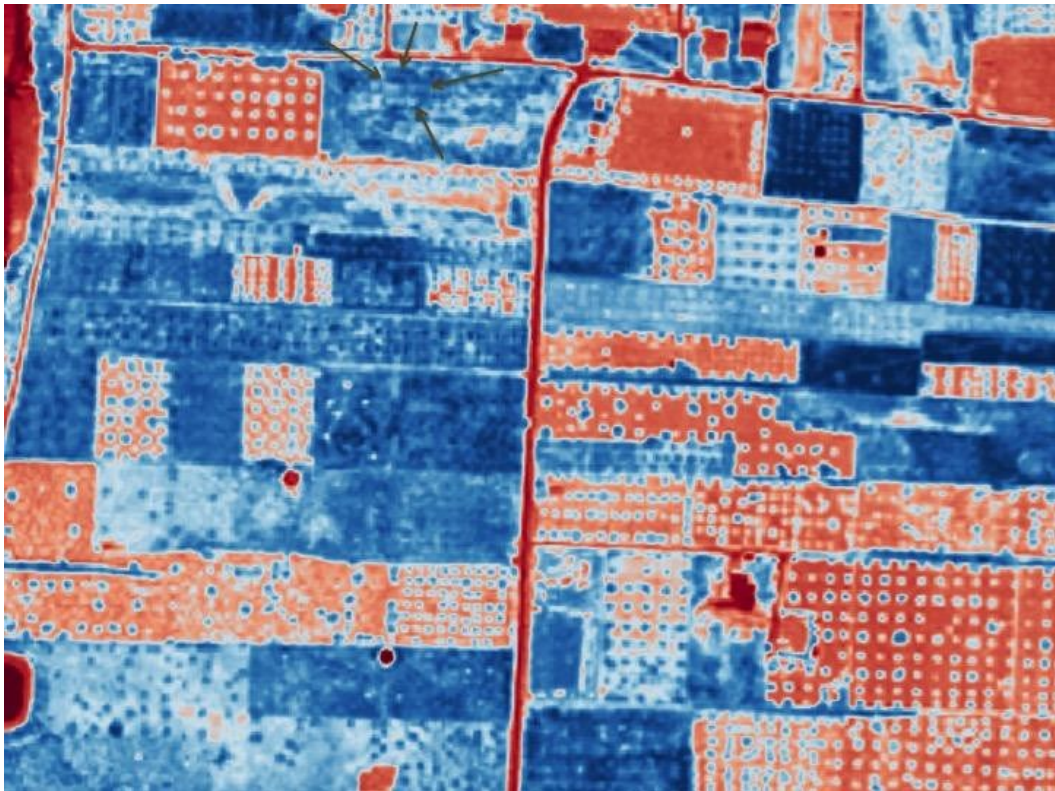
Lo stesso terreno visto senza l'ausilio delle immagini multispettrali (sopra) e con RGB (sotto). Si apprezzano meglio alcune anomalie che risultano meno evidenti con il *Red Edge*.



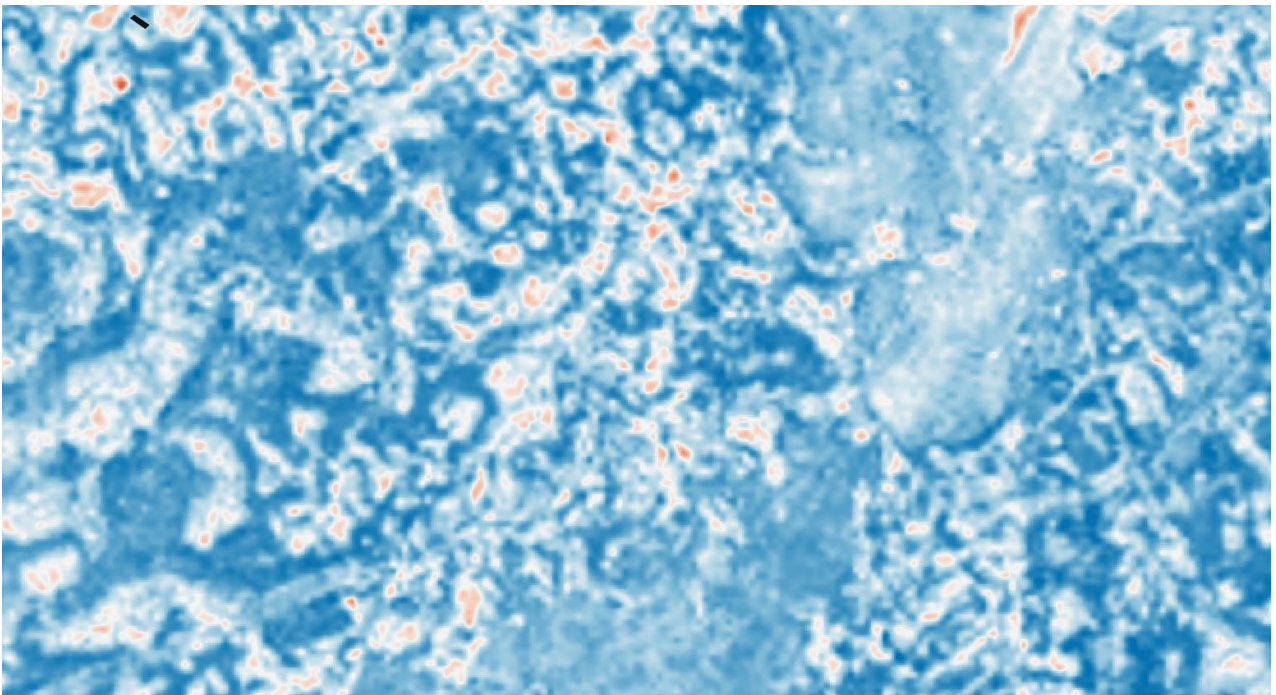
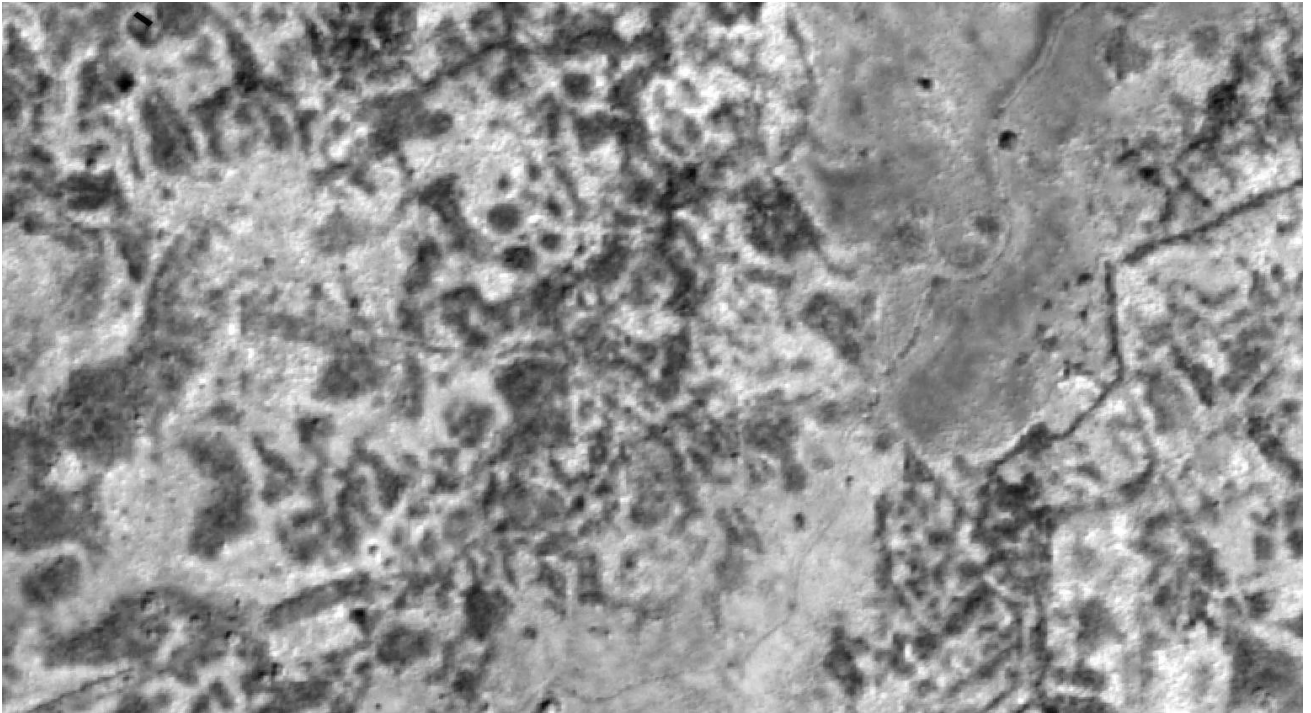
In blu l'estensione meridionale dell'area identificata come forum dal team inglese dell'*Upper Simeto Valley Project*; in rosso l'estensione del sito n. 123, dove è stata raccolta la quantità maggiore di *evidence*.



Caso-studio numero 2, nei pressi del c.d. foro di Galatese. Evidenziate alcune anomalie lineari particolarmente visibili con immagine RGB.

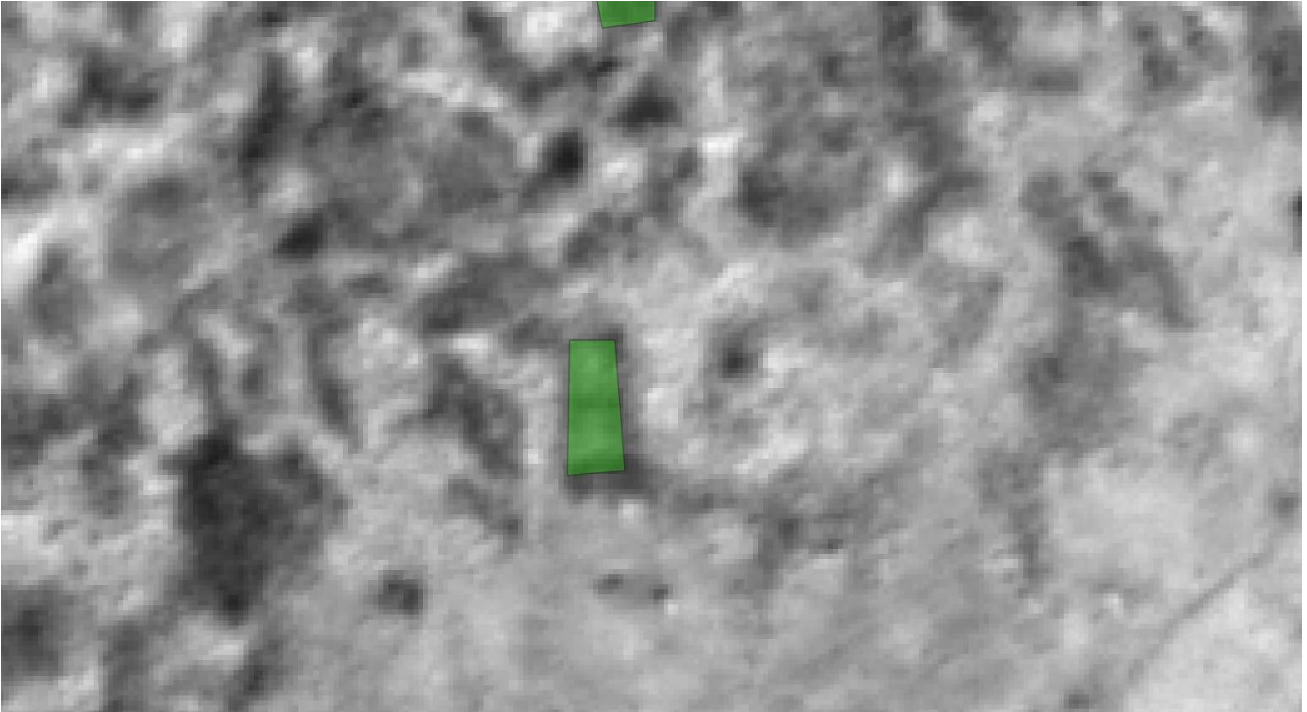


Anomalia di forma circolare, particolarmente visibile nell'immagine ottenuta con SAVI (sopra) e con MSR (sotto).



Un settore di contrada Santa Venera; sopra NIR, sotto NDVI. Da qualche parte l'edificio n. 10.

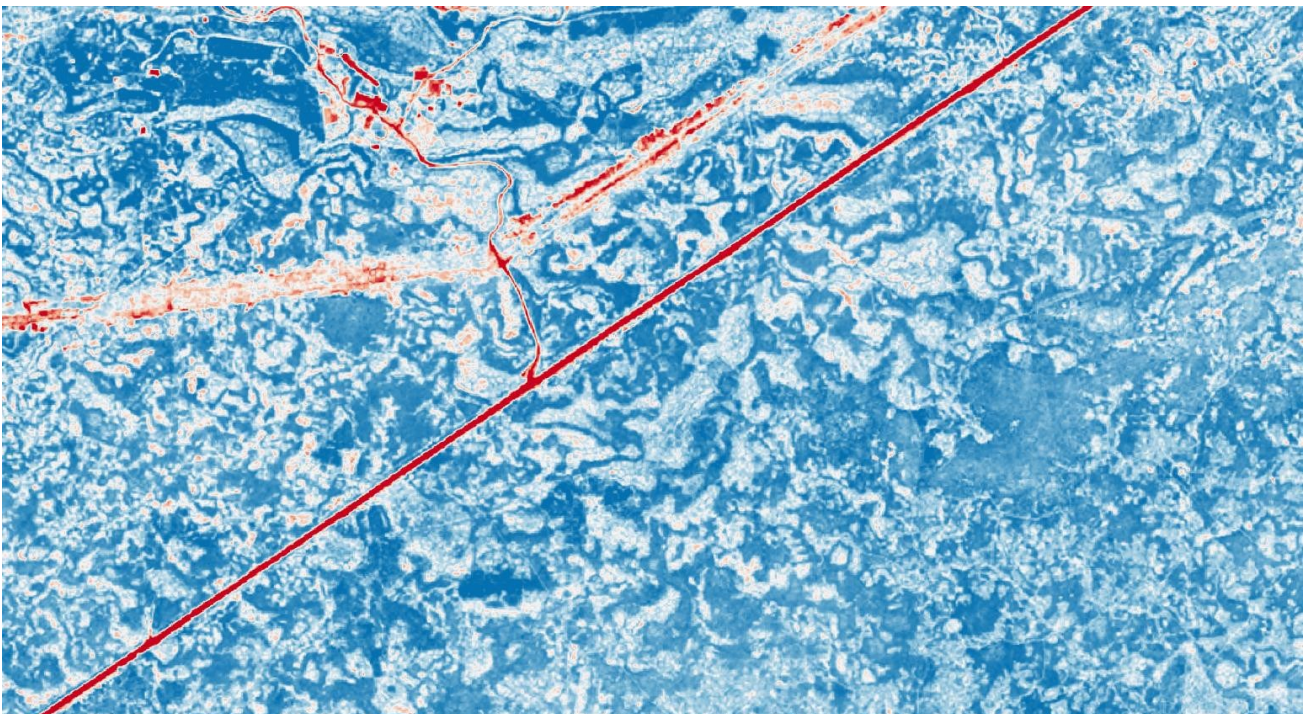
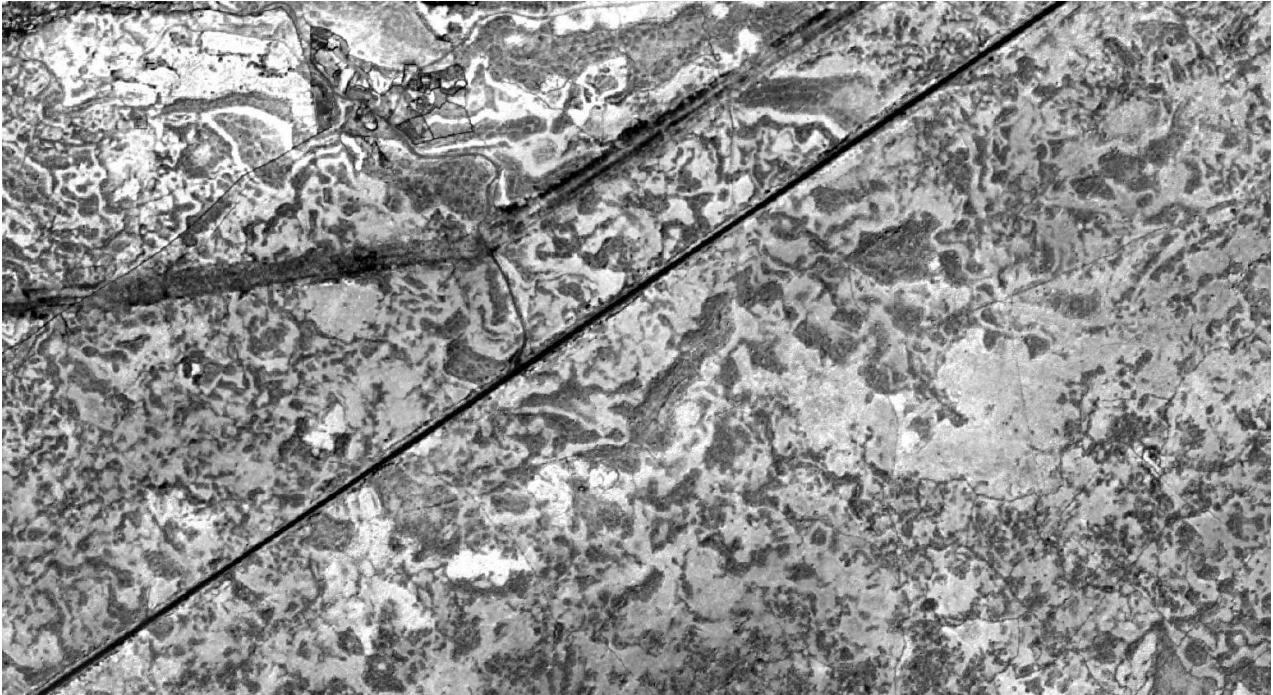
TAV. XXXIII



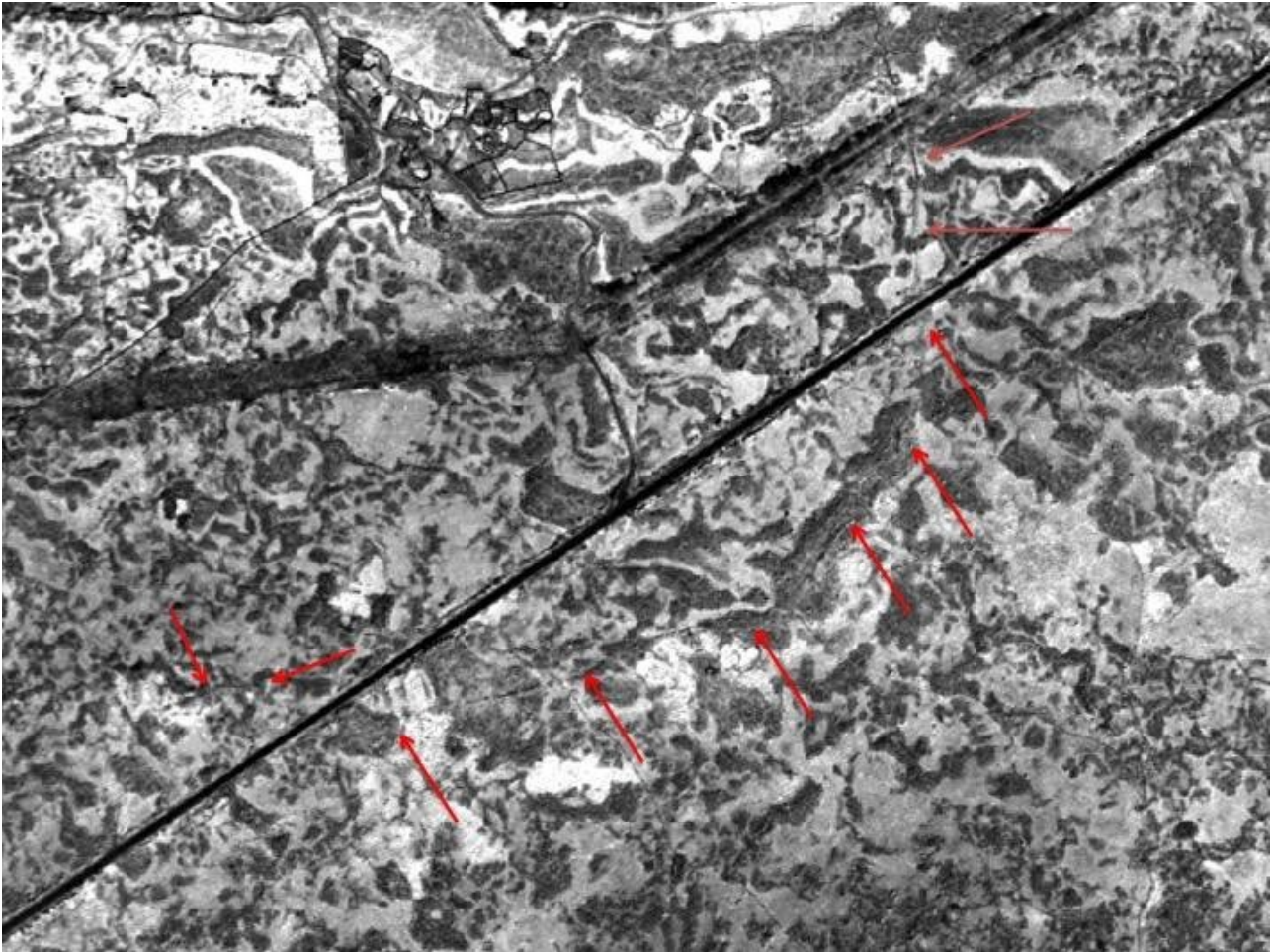
In verde l'anomalia spaziale che corrisponde alla struttura ricercata. Nell'immagine sotto, tratta da *Google Maps*, l'edificio 10 è facilmente riconoscibile e distinguibile.



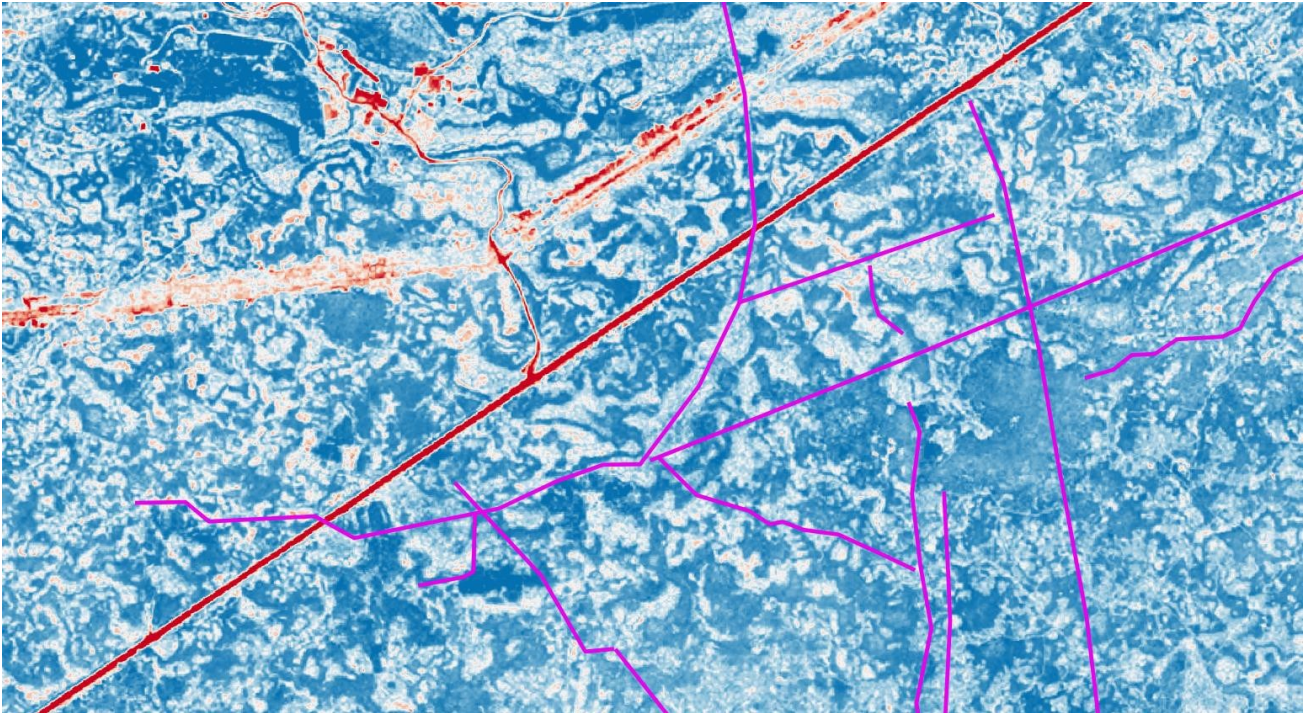
Due tratti con stato di conservazione differente della grande struttura muraria in pietra lavica. La mancata conservazione dell'elevato in alcuni tratti e la larghezza prossima a 1,5m ha fatto avanzare l'ipotesi che si possa trattare di una stradella costruita dagli agricoltori (foto autore).



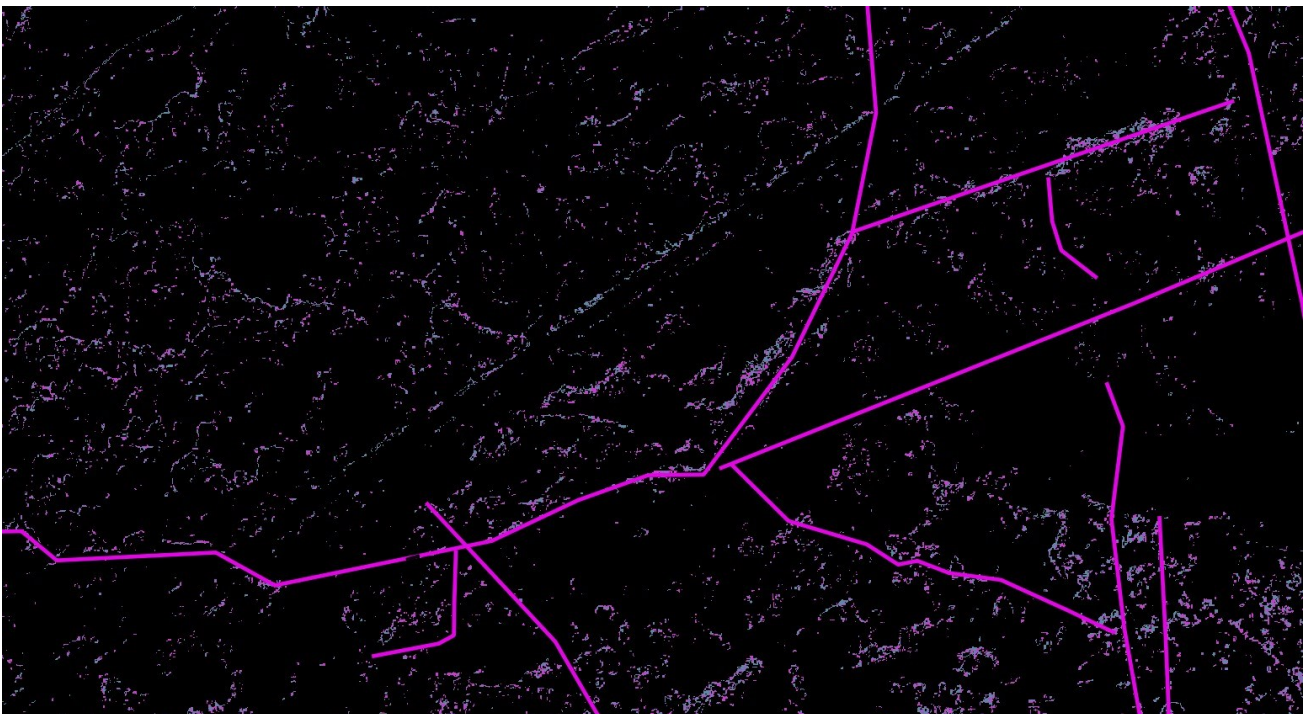
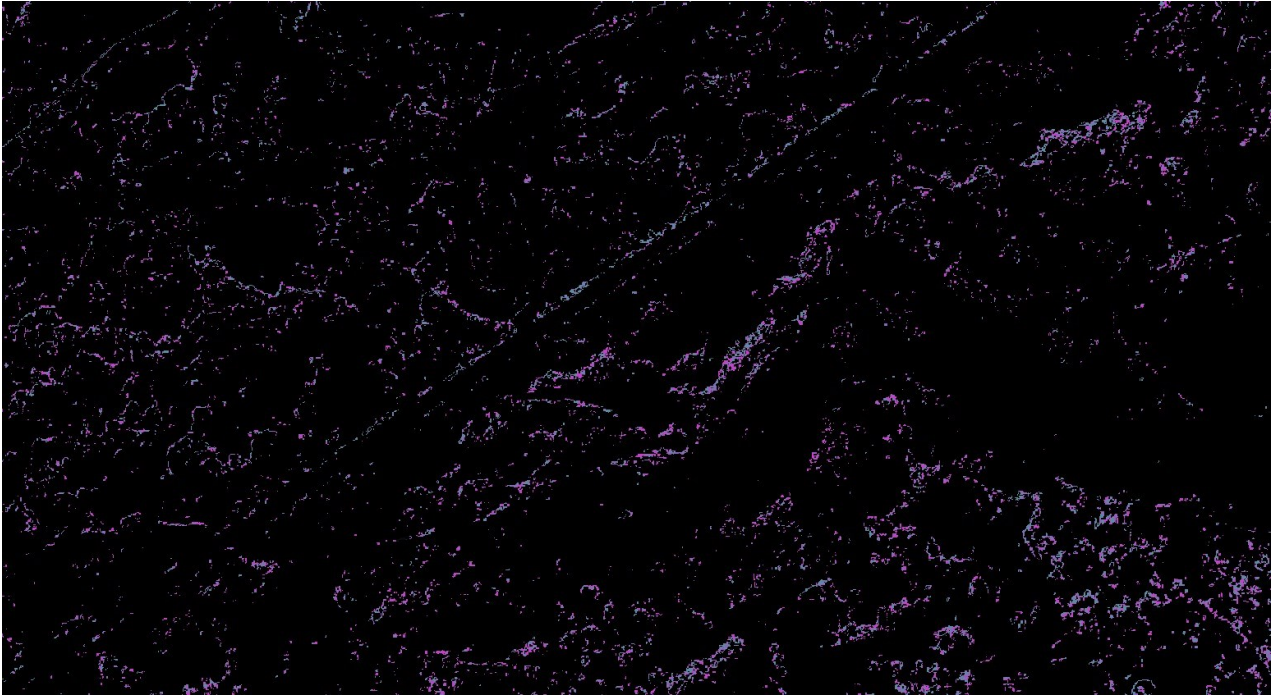
La strada statale separa contrada Edera e Santa Venera da Balze Soprane, posta a Nord dell'arteria. Il muro di *enclosure* è tagliato anch'esso dalla strada ed è individuabile più facilmente sfruttando il NIR (immagine superiore NIR, inferiore NDVI).



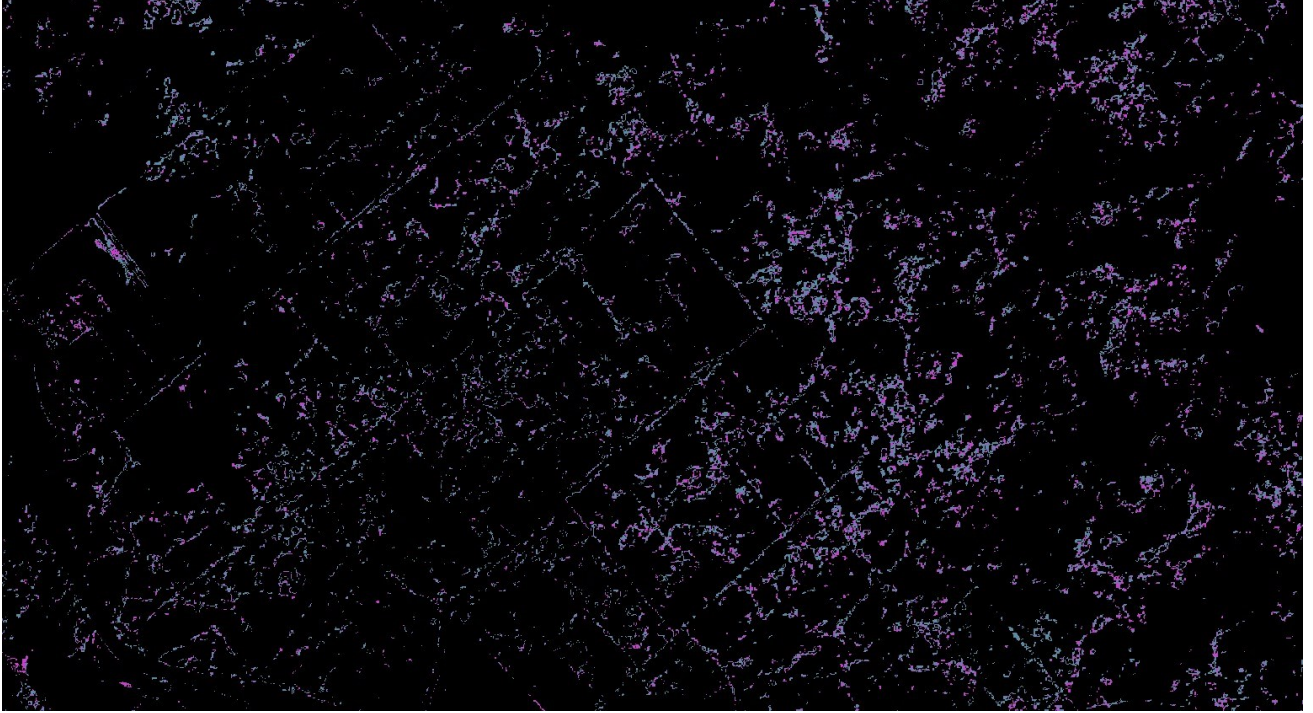
Individuazione dell'anomalia che corrisponde al muro. Evidenti anche le due continuazioni della medesima anomalia oltre la strada statale; un tratto è segnato in rosa poiché non è stato ancora segnalato in bibliografia.



Restituzione di tutte le tracce lineari antropiche (e non necessariamente archeologiche) individuabili attraverso NDVI (in rosso naturalmente la strada statale).



Sopra: classificazione supervisionata con Minima Distanza Media, dettaglio da contrada Santa Venera. Sotto: restituzione delle anomalie lineari precedentemente osservate.



Classificazione supervisionata con Minima Distanza Media, dettaglio da contrada Santa Venera. Si distingue in maniera chiara il sistema di parcellizzazione agraria.