POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

La tecnologia GIS per la gestione dello studio dei materiali lapidei

Original
La tecnologia GIS per la gestione dello studio dei materiali lapidei / Sammartano, G; Spanò, Antonia; Gomez Serito, M. - In: Aquileia, l'insula tra Foro e porto fluviale. Lo scavo del Dipartimento di Studi Umanistici dell'Università di Trieste 1. La strada / Fontana F.. - STAMPA. - Trieste : EUT Edizioni Università Trieste, 2017. - ISBN 978-88-8303-608-8. - pp. 525-564

Availability:
This version is available at: 11583/2718506 since: 2018-11-25T12:12:18Z

Publisher:
EUT Edizioni Università Trieste

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

17 December 2025

Giulia SAMMARTANO, Antonia SPANÒ, Maurizio GOMEZ SERITO

La tecnologia GIS per la gestione dello studio dei materiali lapidei

Cartography has been affected by the information revolution somewhat later than other fields. Early computers were good at storing numbers and text. Maps, in contrast, are complex, and digital mapping requires large data storage capacity and fast computing resources[1].

Sino dal loro affermarsi è stato chiaro il carattere imprescindibile della georeferenziazione dei dati nei Sistemi Informativi Geografici (GIS) e di pari rilevanza è l'interscambio tra dati spaziali e non spaziali: la connessione fra essi infatti, assume maggior significato grazie alla loro localizzazione spaziale.

I GIS sono stati concepiti per consentire la realizzazione di modelli della realtà in forma potenziata e dinamica rispetto alle possibilità offerte dalla cartografia tradizionale, in quanto possono rispondere alle esigenze di generare modelli rappresentativi a più dimensioni: tra le diverse componenti dimensionali, il tempo ha avuto un ruolo chiave e in seguito ai più recenti sviluppi tecnologici, anche la componente 3D ha assunto un ruolo decisamente più significativo.

L'incremento delle capacità di rappresentazione è stata accompagnata dalla possibilità di modellare fenomeni e di derivare scenari simulati dipendenti dall'interazione tra gli oggetti e i fenomeni che tra essi intercorrono (modelli previsionali): in questo quadro, se una delle componenti fondamentali dei GIS sono i dati spaziali, è evidente che le innovazioni/rivoluzioni nella loro produzione, gestione e diffusione sono fondamentali per lo sviluppo parallelo dei sistemi informativi spaziali.

A situazioni affermate come la sostituzione della topografia classica con quella satellitare, lo sviluppo del Remote Sensing satellitare e l'affermazione della cartografia numerica con i nuovi prodotti, principalmente le ortofoto e i modelli del terreno (DTM – *Digital Terrain Model*; DEM – *Digital Elevation Model*), negli ultimi anni hanno completato il quadro la repentina affermazione degli automatismi nella produzione dei dati

[1] Department of Economic and Social Affairs, Statistics Division, *Handbook on geographic information systems and digital mapping*, Series F n. 79, United Nations, New York 2000.

di dettaglio, grazie agli sviluppi della fotogrammetria digitale in collaborazione con gli algoritmi della *Computer Vision*, oltreché il predominio della tecnologia LiDAR in molti settori applicativi, entrambe descritte per il versante della produzione a grandissima scala nei capitoli 2.4 e 2.5 del presente volume.

Inoltre bisogna considerare, che l'informazione è creata, gestita e diffusa da mezzi tecnologici (ICT – *Information and Communication Technologies*) che, per loro natura, richiedono una preventiva fase di analisi, strutturazione e correlazione logica e semantica dei dati che li caratterizzano. Quindi un altro ruolo di primissimo piano è da attribuire all'istituzione delle infrastrutture di dati geografici (SDI – *Spatial Data Infrastructures*) e i conseguenti servizi che impiegano Webgis e server cartografici per comunicare i dati: la diffusione e condivisione di dati geografici mediante questi sistemi, è inoltre possibile grazie all'adozione di standards di interoperabilità.

Questo capitolo ha lo scopo di riportare l'impostazione di una struttura desktop GIS destinata ad organizzare le informazioni inerenti lo studio dei materiali lapidei dello scavo del tratto di cardine di via Gemina; la sua organizzazione ha richiesto l'uso di cartografia di base (topografica) e tematica (geologica) alla scala regionale, nonché l'utilizzo dei dati spaziali della documentazione 3D provenienti dalle campagne di misure e conseguenti la modellazione di prodotti digitali, quali modelli 3D di punti e triangolati, nonché ortofoto. In questo quadro complesso dell'informazione spaziale, si sceglie di fornire alcuni rapidi ed essenziali elementi informativi su alcune tematiche nodali alle quali necessariamente la sperimentazione ha fatto riferimento.

Infrastrutture di dati geografici e standards

L'informazione geografica può giocare un ruolo fondamentale nella società attuale, se esiste, se è facile poter identificare chi la possiede, stimare quanto essa possa risolvere il problema da affrontare, come può essere ottenuta e se può essere integrata con altre informazioni. Per rispondere a queste domande è necessario disporre di una struttura di *policies*, accordi istituzionali, tecnologie, dati e persone che possa rendere possibile la condivisione e l'uso efficiente dell'informazione geografica, disporre cioè di una *Spatial Data Infrastructure* (SDI)[2].

I motivi principali del consentire la disponibilità di dati spaziali di eterogenea natura, sia della collettività sia, ancor più, dei singoli enti cartografici per la reciproca

[2] Groot, Mclaughlin 2000. Un impulso importante allo sviluppo delle SDI è stato fornito sin dagli inizi degli anni 2000 dallo *United Nations Geographic Information Working Group* (UNGIWG). In Europa lo sviluppo di tali sistemi si deve principalmente a *Open GIS Consortium* (Europe) – OGCE e allo *European Umbrella Organisation for Geographic Information*-EUROGI.

condivisione dei dati in possesso sono la protezione dell'ambiente, il miglioramento della sicurezza e dei trasporti, lo sviluppo sociale, il miglioramento dei servizi per i cittadini. È altresì vero, nella sfera del patrimonio culturale, che la diffusa disponibilità di cataloghi di dati strutturati e carte aggiornate, nonché archivi storici più e meno recenti della cartografia di base e tematica, accessibili tramite WebGIS e server cartografici, sia senz'altro un punto di estremo vantaggio per la definizione del contesto territoriale e di tutte le caratteristiche di interazione antropica e di contesto naturale e urbanizzato che contraddistinguono l'area in cui insiste il manufatto soggetto a valutazione, nonché per valutarne le possibili dinamiche evolutive.

L'adozione di una SDI europea è avvenuta tramite il progetto INSPIRE, acronimo di *Infrastructure for Spatial Information in Europe*, la cui direttiva è entrata in vigore nel 2007[3].

In Italia e ovunque sia stata sviluppata l'adozione diffusa di standard condivisi[4], sia per i dati geografici (ISO/TC211) sia per i metadati (ISO19115), cioè per i dati che descrivono i dati, si è migliorata la ricerca, la localizzazione, la selezione e l'interoperabilità semantica dei dati.

L'affermazione delle SDI anche a livello locale, ha consentito alle Regioni italiane di dotarsi dei cataloghi di dati ambientali e territoriali sui quali basare i piani settoriali di pianificazione del territorio e di tutela dell'ambiente e del paesaggio, e fornire i relativi servizi di ricerca e condivisione. Fra i geoservizi disponibili, definiti dall'OGC, sono particolarmente diffusi il *Web Map Service* (WMS), che abilita la visualizzazione e la sovrapposizione simultanea tramite protocollo *http* di geodati o campi fisici rappresentati da mappe *raster* provenienti da più server diversi e distribuiti. Analogamente il *Web Feature Service* (WFS) è formalizzato per il servizio di accesso web a dati vettoriali e relativi metadati.

Benché questo quadro di riferimento possa apparire lontano dall'esperienza della documentazione dello scavo di via Gemina, possiamo invece dire che rispetto al 2009, quando iniziò la collaborazione tra il gruppo di Geomatica del Politecnico di Torino e la direzione dello scavo a cura di Federica Fontana, Università degli Studi di Trieste, l'infrastruttura di dati regionali non era affatto sviluppata quanto lo è oggi. Negli anni 2000 era abbastanza consueto, per lo studio dei siti archeologici, rivolgersi all'informazione satellitare, cosa che fu prontamente considerata e realizzata per lo scavo di via Gemina, acquisendo e producendo un'ortofoto da immagine Quickbird del 2005[5].

[3] In Italia con il D.Lgs. 32/2010 denominato *Attuazione della direttiva 2007/2/CE*, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (INSPIRE).

[4] Lo standard adottato è l'ISO/TC 211 *Geographic information/Geomatics*, che si compone di una lunga serie di sezioni dello standard, pubblicate tra il 2001 e il 2005.

[5] Spanò, Chiabrando, Rinaudo 2012.

Allora la georeferenziazione della rete topografica d'inquadramento per la generazione dell'ortofoto fu ottenuta con i dati della stazione GNSS (Global Navigation Satellite System) di Palmanova, e con le coordinate di un vertice IGM 95 richiesto all'Istituto Geografico militare. Oggi i vertici IGM95 sono disponibili nel Catalogo regionale, e, come altri dati, scaricabili anche in formato *.kml, visualizzabili su browser tramite il software Google Earth.

Quando nel 2012 si sperimentò per la prima volta la produzione di ortofoto da fotogrammetria UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) sul sito archeologico di via Gemina, non era ancora disponibile il libero accesso alle ortofoto a scala regionale[6], così come in quegli anni non erano disponibili le risorse digitali della cartografia geologica. Si riportano le ortofoto del 2007 e del 2014, che consentono di visualizzare l'aggiornamento dello scavo (fig. 1).

Cataloghi digitali e Sistemi informativi per i Beni culturali

I sistemi di catalogazione e diffusione dei dati di enti dell'Amministrazione statale diversi da quelli che gestiscono come missione primaria l'informazione spaziale, quali quelli preposti alla tutela del patrimonio culturale, impiegano servizi geografici e piattaforme Web analoghe a quelle descritte per la cartografia di base e tematica. Il Servizio catalogazione, formazione e ricerca dell'ERPAC (*Ente regionale per il patrimonio culturale della Regione Friuli Venezia Giulia*) gestisce il *Sistema informativo regionale del patrimonio culturale del Friuli Venezia Giulia* (SIRPAC)[7]; esso utilizza i servizi WMS e WFS per visualizzare le principali basi cartografiche regionali sulle quali è possibile navigare i datasets dei beni culturali regionali, classificati secondo lo standard definito dell'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) del Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo (MiBACT)[8]. La scheda archeologica digitale completa di metadati riguardante il sito urbano di via Gemina ha codice identificativo (ID) 206[9].

---

[6] Le ortofoto sono prodotte dalla Protezione Civile Friuli Venezia Giulia per il volo del 2012, da AgEA per il volo del 2011 e da CGR SpA per i voli del 1998, 2003 e 2007. Ortofoto 20 cm 2014, Consorzio Agea. http://www.regione.fvg.it/rafvg/cms/RAFVG/ambiente-territorio/conoscere-ambiente-territorio/FOGLIA4/.

[7] http://servizi.informcity.it/gis/cake/icpro_sitbec/.

[8] L'attività di catalogazione è oggi normata secondo l'art. 17 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (d.lgs. 41/2004 s.m.i.) Il comma 4, in particolare, individua gli attori del processo affermando che … *il Ministero, le regioni e gli altri enti pubblici territoriali curano la catalogazione dei beni culturali loro appartenenti e, previe intese con gli enti proprietari, degli altri beni culturali*. Sostanzialmente Regioni, ICCD e CEI (quest'ultima provvedendo al catalogo dei beni ecclesiastici) si coordinano con il MIBACT.

[9] http://www.ipac.regione.fvg.it/aspx/ViewProspEstesa.aspx?idAmb=122&tp=vRArchSem&tsk=SI&idS

L'accesso a schede informatizzate organizzate secondo standard catalografici, mediante ricerche alfanumeriche su catalogo o geografiche (WebGis) per fini di ricerca, divulgazione e valorizzazione del patrimonio regionale è senz'altro un metodo evoluto e ampiamente impiegato.

Le direzioni intraprese dal Ministero italiano su queste tematiche sono però ancora più ambiziose: in passato, la Carta del Rischio, il sistema informativo territoriale nato da un lungo processo di raccolta e informatizzazione di dati negli anni '90 per rispondere alla necessità di conservazione e tutela del Patrimonio Culturale, ha risposto nella sua conversione a WebGis (2002-2005) all'esigenza di conoscenza diffusa e omogenea della consistenza del Patrimonio distribuito sul territorio e soprattutto del suo stato di integrità e di rischio, definendo i gradi di vulnerabilità in relazione alla pericolosità territoriale[10].

Parallelamente, a partire dal 2004, l'ICCD ha dato vita al progetto SIGECweb[11], il sistema informativo generale del Catalogo, che ottimizza le funzionalità del precedente sistema, adotta i nuovi standard e implementa i nuovi soggetti predisposti alla catalogazione, integrando il versante 'geografico' delle tecnologie ICT e garantendo quindi la georeferenziazione dei dati. I dati sono ricercabili e navigabili, grazie alle relazioni tra dati e oggetti, consentendo anche interrogazioni statistiche su grandi moli di dati[12]. L'interoperabilità, prevista sin dalle fasi di progetto, consente il collegamento con altri progetti del Ministero, e attualmente è in corso lo sviluppo dell'integrazione con il progetto 'Vincoli in rete', realizzato dall'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro, che oltre a costituire un ponte tra SigecWeb e la carta del Rischio, integra anche SITAP, il Sistema informativo della Direzione Generale Belle Arti e Paesaggio[13].

A conferma dell'interesse e della presa di coscienza della necessità di far uso di standard, sistemi e linguaggi che travalichino i confini nazionali, sono attualmente in corso progetti finanziati dalla Comunità Europea per direzionare i sistemi verso standard riconosciuti internazionalmente. Mentre il versante geografico e cartografico sarà sicuramente ancorato alla direttiva europea INSPIRE, molti progressi dovranno essere compiuti nel campo degli standard per i beni culturali, per i quali la sola classificazione è

cheda=206&pNum=0&idsttem=10&tipol=&OGTN=&local=aquileia&DTZGSI=&searchOn=0&order=0

[10] http://www.cartadelrischio.it/.

[11] http://www.iccd.beniculturali.it/index.php?it/118/sistema-informativo-generale-del-catalogo-sigec.

[12] Recentissima, del 2016, l'applicazione sviluppata sulla piattaforma open source Dkan, espone, tramite l'interfaccia OpenICCD, dataset riferiti a diverse tipologie di contenuti: dati di catalogo, statistiche, soggetti produttori, vocabolari, schemi di tracciati schedografici in formato XML.

[13] http://vincoliinrete.beniculturali.it/VincoliInRete/vir/utente/login.

già caratterizzata da una certa disomogeneità e l'unico standard disponibile, il CIDOC CRM, riguarda i beni museali[14].

Componente 3D nei GIS intra-site in relazione alle nuove tecnologie digitali

Le ricerche in campo archeologico hanno beneficiato da lungo tempo degli strumenti della Geomatica per l'archiviazione e la gestione dei dati spaziali provenienti dai rilievi di scavo e, più recentemente da acquisizioni digitali 3D, fotogrammetriche o da scansioni laser. L'indagine archeologica si può avvalere quindi della possibilità di collegare alle informazioni geometriche in forma vettoriale o *raster* le interpretazioni alfanumeriche prodotte dallo scavo stratigrafico, insieme a una serie di informazioni correlate, come immagini e archivi esterni di dati tipici della raccolta di dati prevista dallo studio archeologico sul campo. Il GIS è stato sperimentato negli ultimi anni secondo diverse procedure durante le operazioni di scavo e documentazione, per la gestione e la rappresentazione 2D e 3D degli oggetti e delle unità stratigrafiche, e come tentativo di diventare parte integrante dell'indagine archeologica, che si basa principalmente sulla strutturazione di legami tra dati tematici e dati spazio-temporali[15], al fine di supportare e sveltire le procedure di catalogazione e lettura interpretativa. I punti più interessanti a favore di questo approccio sono sicuramente la possibilità di gestire, archiviare dati e relazionare ad essi la componente temporale e 3D (non solo 2.5D – coordinate X, Y ed elevazione – tipica del GIS); si espande quindi l'opportunità di avere disponibile, in uno spazio metrico digitale, una visione diacronica del sito aggiornabile nel tempo che fotografa condizioni di stato di fatto che vengono modificate in corso di scavo, il quale per sua natura si configura come azione distruttiva, rimuovendo per fasi successive le stratigrafie.

Se da un lato la tridimensionalità della rappresentazione è quella che meglio può sostenere le osservazioni *intra-site* e le procedure di interpretazioni nel caso di oggetti e stratigrafie archeologiche più o meno complesse, la bidimensionalità, o 2.5D è tipica della rappresentazione cartografica nei Sistemi Informativi Geografici, ed è sempre stata quella meglio implementata nelle piatteforme più comuni di progettazione e modellazione GIS. Con gli avanzamenti della ricerca in tal senso, i modelli 3D acquisiti con le tecniche di documentazione digitali possono essere ottimizzati e codificati per la gestione digitale degli oggetti ritrovati e delle stratigrafie di scavo in un formato e secondo un linguaggio condiviso e standardizzato. La modellazione 3D da rilievi *reality-based* offre dunque la possibilità di catalogare e gestire i modelli, anche quelli multi-temporali

[14] http://www.cidoc-crm.org/official_release_cidoc.html.
[15] Katsianis *et alii* 2007.

grazie alla loro georeferenziazione, in uno spazio 3D effettivo navigabile e non solo rappresentare i fenomeni tramite dati *raster* ed entità puntuali, lineari, areali, proprie della cartografia numerica. Entrambi questi indirizzi sono di fatto campi aperti di ricerca[16].

*Una struttura GIS per il tratto di cardine dell'*insula *di via Gemina*

Tradizionalmente, l'organizzazione e la realizzazione di un GIS sono legate alla progettazione e adozione delle diverse possibili sue componenti principali: i dati, le componenti hardware e software ed il contesto organizzativo. Ovviamente come accennato nei paragrafi precedenti, possono essere molto complessi i gradi di condivisione, gli standard di archiviazione e comunicazione dei dati: la valutazione delle ultime tre componenti comporta ad esempio la previsione della fruizione, per esempio Web o in una rete intranet, così come è implicato il *workflow* della produzione dei dati, della loro elaborazione e presentazione, i livelli di utenza, i privilegi e la proprietà dei dati.

In questo contributo scegliamo di concentrarci sui dati e sulla loro fonte, oltre che indicare che lo scopo di questa sperimentazione è sicuramente quella di analisi e studio di uno scavo archeologico con taglio interdisciplinare, mirato ai materiali ed alla loro provenienza, nonché l'uso di basi geometriche alla scala dello scavo derivate dai sistemi innovativi descritti nei capitoli 2.4 e 2.5 del presente volume.

Il quadro organizzativo adottato è quello della scala di rappresentazione, necessariamente collegata al tipo di dati impiegati: sarà proposto un punto di vista territoriale che mette in relazione i materiali di scavo con le rispettive provenienze documentate dai dataset delle litologie del territorio rappresentati alla scala regionale che saranno a loro volta relazionati agli elementi architettonici rappresentati alla grandissima scala dello scavo archeologico.

Si propone preliminarmente l'organizzazione e realizzazione di mappe tematiche che mettono in relazione il contesto territoriale attuale e quello antico, secondo un'esperienza formativa realizzata diversi anni fa (2011) in occasione della tesi di laurea di Daniela Maero, avente per titolo *Lettura e rappresentazione della città antica di Aquileia e di una sua* domus *tramite l'organizzazione di un sistema informativo territoriale*.

[16] Katsianis 2008, Drap *et alii* 2009, Gallotti *et alii* 2011, Apollonio, Gaiani, Benedetti 2012, Dell'Unto *et alii* 2016, Drap *et alii* 2017.

La morfologia del territorio e le vie di accesso alla città

Prima di ripercorrere schematicamente alcuni studi inerenti le vie d'accesso alla città ci è sembrato opportuno visualizzare le caratteristiche morfologiche del territorio aquileiese, per supportare e rappresentare tramite l'orografia della zona il carattere di città costiera e dotata di porto marittimo dell'antica Aquileia.

La mappa (fig. 2) rappresenta il modello digitale del terreno a scala regionale del territorio aquileiese, tematizzato secondo un *range* di colore e sovrapposto alle principali componenti paesaggistiche attuali: il reticolo idrografico naturale e artificiale, la rete viaria e l'edificato (CTRN – Carta Tecnica Numerica Regionale, scala 1:5000). È interessante notare che le aree più chiare identificano quote al di sotto del livello del mare. I percorsi fluviali sono chiaramente identificabili dalla quota bassa del letto del corso d'acqua rispetto al terreno circostante. Molte aree coltivate si trovano ad una quota inferiore al livello del mare e si comprende il ruolo chiave del fitto reticolo di canali per il drenaggio dei terreni. Questa semplice constatazione aiuta la comprensione della variabilità lungo i secoli dell'assetto idrografico della zona lacunare, ed il relativo arretramento della linea di costa[17].

Altrettanto interessante risulta l'osservazione di un'altra mappa (fig. 3): tramite una procedura consolidata di georeferenziazione, operata sulla carta archeologica di Luisa Bertacchi[18], e la sua conseguente vettorializzazione, è possibile osservare la sovrapposizione dell'edificato antico sullo stesso *dataset* del modello del terreno regionale. Essa mostra come l'antica Aquileia sia collocata a quote superiori rispetto al territorio circostante: emerge chiaramente come tutto il perimetro della città romana sia compreso su di un'area sopra il livello del mare, tra 1,5 m e 4 m s.l.m. La successiva mappa (fig. 4), che sovrappone l'ortofoto *Quickbird* già citata, mostra lo sviluppo della città moderna prevalentemente a sud-ovest dell'abitato antico, a quota decisamente inferiore.

Dal momento che l'approvvigionamento dei materiali lapidei per la costruzione delle strade e degli organismi edilizi della città è in stretta relazione con le vie d'accesso, si propone la redazione di alcune mappe generate dall'utilizzo degli strati informativi della carta tecnica regionale e *dataset* di ipotetici tracciati fluviali e stradali antichi, desunti dalla rilettura di fonti bibliografiche.

Aquileia, come i principali centri costieri, ebbe il privilegio di disporre di vie di comunicazione eterogenee che le permisero di sviluppare una centralità sia politico-militare che commerciale. Alle vie terrestri si univano infatti i percorsi fluviali, endola-

[17] Balletti 2016.
[18] Bertacchi 2003.

gunari e marittimi. Questa caratteristica era propria dei principali porti antichi dell'area alto adriatica.

La prima elaborazione (fig. 5) riguarda il tracciato viario antico[19]; necessariamente, il dettaglio della CTRN in scala 1:5000 consente l'identificazione prevalente dei tracciati antichi in ambito e in prossimità del contesto urbano.

La questione degli antichi percorsi fluviali è molto complessa e dibattuta. Il problema principale è l'estrema variabilità dell'assetto idrogeologico della zona che ha visto nei secoli lo spostamento dei fiumi principali, Natisone compreso. La situazione attuale non rispecchia infatti quella antica e non spiegherebbe come possa essere sorto un così importante porto fluviale su quello che attualmente è un fiume di modesta entità.

Gli studi partono sia dalla lettura dell'assetto cittadino[20] sia dallo studio degli insediamenti di età romana nella laguna di Grado, sorti lungo i canali naturali del sistema deltizio del fiume ed aventi sia funzione commerciale a supporto degli scali portuali sia, nella zona più interna, funzione abitativa[21].

Le ultime due mappe (figg. 6-7) elaborate nel 2011 non riportano gli aggiornamenti di Franca Maselli Scotti[22], ma hanno potuto guidare l'interpretazione delle provenienze dei materiali da costruzioni che probabilmente giungevano in città tramite vie d'acqua. Le carte presentano rispettivamente la prima il reticolo viario principale della città antica (sono segnalati i percorsi principali, la via Annia e la via Giulia Augusta, la cosiddetta via Gemina e il decumano a sud del foro) e il reticolo fluviale secondo l'ipotesi di Marie-Brigitte Carre e Franca Maselli Scotti. La seconda mappa riporta il consueto confronto con la situazione attuale rappresentata dagli strati informativi della CTRN Friuli Venezia Giulia.

A. S., G. S.

[19] Magnani 2007.
[20] Carre, Maselli Scotti 2001, Bertacchi 2003, Maselli Scotti 2014.
[21] Gaddi 2001.
[22] Maselli Scotti 2014.

Provenienze dei materiali lapidei dello scavo [23]

L'inquadramento geologico del contesto della città fa riferimento a quanto di utile le formazioni di monte possono aver offerto per la sua costruzione[24]. Tale contesto è ricco di varietà litologiche impiegate sulla base di specifiche caratteristiche e in base a criteri che si evolvono nel tempo. Esso ha innanzi tutto un interesse locale, anche se alcuni dei materiali qui riconosciuti hanno fatto parte di una cultura costruttiva allargata a territori vasti anche lontani. I materiali caratteristici dell'area analizzata (Tabella 1) sono:

– La *trachite euganea*, pietra vulcanica proveniente dalle cave dalla provincia di Padova sui Colli Euganei ('Provincia magmatica terziaria' databile all'oligocene del Veneto occidentale), utilizzata in età romana per i basolati stradali di un'area molto vasta che trova gli estremi verso est ad Aquileia e Ancona, ma che si distribuisce in particolare lungo l'asse della via Emilia e lungo quello del Po con sporadici impieghi fino in Piemonte[25]. Tale trachite di colore grigio, caratterizzata da grana fine, presenta una tessitura molto omogenea e deve la sua millenaria fortuna all'ottima resistenza a ogni forma di degrado: da quello di tipo chimico, legato alla presenza di umidità, sali e inquinanti, a quello meccanico come l'usura e lo schiacciamento. Il suo impiego per i basoli del cardine in esame è solo uno dei tanti esempi del sistema viario dell'intera città di Aquileia che fu interamente basolato con forniture portate appositamente dalle cave padovane, verosimilmente per via d'acqua. L'analisi di dettaglio sulla provenienza della trachite dei basolati di Aquileia per campioni prelevati da basoli del secondo cardine a est del foro in corrispondenza della Casa dei fondi ex Cossar[26] danno come esito le cave di Monselice e di Monte Oliveto che sono quelle che più comunemente hanno fornito le varietà destinate ai basolati stradali (altre cave erano specializzate per la produzione di macine e/o elementi architettonici).

– La *pietra di Aurisina*, è un calcare di colore grigio chiaro, con tendenza a sbiancarsi, ricco di resti fossili del Cretaceo superiore che ne punteggiano la massa con toni di grigio di intensità variabile. Estratto da una caratteristica formazione del Carso triestino, in cui sono ancora attive alcune cave a una quindicina di chilometro dal capoluogo, fu impiegato in età romana come materiale da costruzione da decorazione architettonica. La sua diffusione in età romana non è molto diversa da quella della

[23] Feruglio 1929, Previato *et alii* 2014, *Note illustrative* 2008, Cucchi, Piano 2013.
[24] Cucchi, Piano 2013.
[25] Frisa, Gomez Serito, Zanda 2002.
[26] Previato *et alii* 2014.

Tabella 1 – Sintesi dei materiali da costruzione dello scavo e loro provenienza

Materiale	Provenienza	Approvvigionamento
Trachite euganea	Colli Euganei (Pd), Veneto	Ovest, via acqua
Pietra di Aurisina	Carso triestino	Locale
Calcare nero	Alpi carniche meridionali	Locale, dal bacino dell'Isonzo
Pietra arenaria	Costa triestina – Istria	Sud, via acqua

trachite euganea e la sua presenza è documentata oltre che nell'area di produzione, sull'asse della via Emilia fino a Milano. La fornitura delle crepidini del cardine in esame proviene dal reimpiego di materiale architettonico rilavorato i cui elementi superstiti mostrano i caratteri di parti di trabeazione; non è chiaro se in origine facessero parte della Casa dei Putti danzanti o di altro edificio.

I materiali che si presentano come anomalie, che si ipotizzano come risultato di 'migrazioni' sono:

– Il *calcare nero*, mostra le caratteristiche di una sedimentazione che denuncia momenti di emersione con livelli e sacche rossastri a minerali ossidati, aspetto tipico di calcari del giurassico superiore che affiora in limitati settori delle Alpi Carniche meridionali. Non si può escludere che, data la pezzatura ridotta e una lavorazione quasi assente degli elementi riconosciuti, l'approvvigionamento di tale materiale possa essere avvenuto in giacitura secondaria nell'alveo dell'Isonzo o di uno dei suoi principali affluenti. L'ipotesi sarebbe sostenuta dalla prossimità ai siti di cantiere sensibilmente maggiore rispetto a ipotetiche cave di monte localizzate dell'entroterra, non solo molto più distanti, ma in siti che avrebbero richiesto anche un lavoro di estrazione ben più impegnativo della raccolta e cernita in alveo. L'impiego di questo materiale 'povero' si trova principalmente nei resti delle murature e delle fondazioni della Casa dei Putti danzanti, con la 'migrazione' in alcuni elementi nel cardine come reimpiego di materiale per manutenzioni in epoca tarda. Date le caratteristiche di applicazione, il suo impiego si mantiene certamente in uno stretto ambito locale. Esso pare invece che non sia da confondere coi calcari neri da cui si ricavavano le tessere da mosaico. Tale attività richiedeva infatti una lavorazione precisa e seriale che è possibile soltanto con materiali sufficientemente stratificati e isorientati da cui poter ricavare, in sequenza, piccole lastre da cui distaccare successivamente brevi listelli di forma parallelepipeda da suddividere infine in tessere cubiche.

– L'*arenaria*, proveniente con ogni probabilità dalle cave impostate nelle formazioni eoceniche della costa triestina-istriana; gli impieghi suggeriscono un arrivo tardo di tale materiale in corrispondenza all'ultima fase di V secolo d.C. che, a dispetto di una maggiore distanza di approvvigionamento, comunque avvenuto per via d'acqua, mostra l'interessante caratteristiche di un marcato aspetto lastroide che lo rende ideale per lastricati interni, zoccolature ma anche murature.
  È presente in abbondanza nell'area lastricata con pozzo, in alcuni ambienti della Casa dei Putti danzanti, nelle parti superiori dei resti delle strutture e in alcuni basoli nella zona sud del cardine, nelle zone di discontinuità relative al tardo rifacimento e rialzamento di una parte cospicua del lastricato stradale.

– La *pietra d'Istria*, riconosciuta nelle canalette nell'ambiente giardino a nord della Casa dei Putti danzanti, come pure in alcuni elementi ben squadrati, probabilmente anch'essi di reimpiego, presenti nei muri delle botteghe. Malgrado il pregio, la sua scarsa presenza nella Casa non deve stupire perché conferma il suo ridotto impiego negli edifici di Aquileia già evidenziato in precedenti studi.

– Il *marmo pentelico*, materiale che si distingue in due principali varietà: lo statuario impiegato prevalentemente in scultura e il bianco/grigio comunemente impiegato nell'architettura monumentale. È tra i materiali di più elevata qualità impiegati nell'architettura antica, è qui stato riconosciuto come reimpiego nel cardine, dove ne sono stati rinvenuti alcuni piccolissimi pezzi. La sua citazione ha un significato con riferimento al precedente impiego più che per l'ultimo, peraltro assolutamente occasionale e non specifico.

M. G. S.

Per una lettura in chiave geologica e geografica dei materiali lapidei impiegati nella città e in particolare nel cardine romano, e oggi documentati nello scavo, è stato utile visualizzare alla scala regionale e transfrontaliera alcuni *dataset* disponibili grazie all'organizzazione di Infrastrutture di Dati Spaziali, e selezionati dai principali portali cartografici e Web GIS nazionali internazionali; tali dati a scala regionale della zona nord orientale di Friuli Venezia Giulia e Veneto, insieme a quelli della Slovenia e Croazia, al confine con la Regione Friuli Venezia Giulia (Tabella 2), sono stati consultati, visualizzati, interrogati e dove possibile raccolti in formato *raster*, *shapefile* o servizi WMS.

Tabella 2 – Raccolta dei dati cartografici disponibili consultati

Dato cartografico	Scala	Formato	Fonte Web
FRIULI VENEZIA GIULIA			
Unità lito-cronostratigrafiche	1:150000	shp, wms, wfs, mdb, kml	*irdat.regione.fgv.it*
Carta geologica d'Italia	1:100000	web	*sgi.isprambiente.it – cartografia geologica*
Carta geofisica		web	*sgi.isprambiente.it – geomapviewer*
Carta litologica	1:100000		
Carta geologica	1:100000, 1:500000; 1:1000000		
Carta idrogeologica			
Carta geologica	1:1250000		
Elementi idrografici			
Litologia	1:100000	web	*europe-geology.eu*
Carta geolitologica	1:500000	web,wfs	*geoportale nazionale*
Carta geologica	1:500000		
SLOVENIA			
Litologia	1:100000; 1:1000000	web	*europe-geology.eu*
Carta geologica	1:100000	jpg	*geo-zs-si*
Struttura geologica	1:1000000	wms	*prostor4.gov.si (geoportale sloveno)*
Lito-stratigrafia	1:100000	wms	
Unità geologiche superficiali	1:100000	wms	
Mappa geologica	1:100000	web	*http://www.geoportal.gov.si – http://biotit.geo-zs.si/ogk100/*
CROAZIA			
Carta geologica	1:300000	web, wms	*webgis.hgi-cgs.hr/gk300*
Carta geologica	1:50000	*da comprare*	*http://www.hgi-cgs.hr/ogk50.html*

L'EGDI, *European Geological Data Infrastructure*[27] offre la possibilità di consultare e interrogare una serie complessa e multi-scala di *dataset* riguardanti l'intera geografia europea, uniformati secondo la normativa INSPIRE ove possibile (fig. 8). L'Agenzia Europea per l'Ambiente per l'Unione Europea (EEA)[28] fornisce un Modello di Elevazione Digitale europeo *open-source* secondo la proiezione ETRS89; la superficie del DSM calcolata sulla base del *dataset* EU-DEM è stata elaborata dal programma Copernicus[29]. A questo sono stati aggiunti i confini nazionali, i capoluoghi e i limiti amministrativi regionali e provinciali italiani da EUROSTAT[30].

La 'Carta Geologica nazionale' scala 1:300 000 della Croazia è visualizzabile e interrogabile solo tramite il portale WebGIS[31] dell'istituto Nazionale di Geologia[32] ma non scaricabile (fig. 9).

GeoZS, l'agenzia nazionale geologica della Slovenia[33] offre un'immagine *raster* non georiferita della 'Carta Geologica Nazionale' in scala 1:1 000 000 (fig. 10), corredata da legenda interpretativa degli strati suddivisa per ere geologiche. La carta è stata importata nello spazio GIS e georiferita nel sistema WGS84 e proiezione UTM 33N.

L'IRDAT – Infrastruttura Regionale dei Dati Ambientali e Territoriali[34], portale della Regione Friuli Venezia Giulia, offre la possibilità di scaricare una serie di prodotti cartografici (fig. 11) e in questo caso è stato consultato e scaricato le 'Unità lito-cronostratigrafiche' alla scala 1:50000. Anche la Rregione Veneto mette a disposizione un portale cartografico WebGIS[35] dove poter consultare, visualizzare e scaricare *dataset* relativi a tematismi naturali e antropici (fig. 12). In questo caso la 'Carta Litostratigrafica' del Veneto alla scala 1:250 000 è stata composta scaricando i *dataset* suddivisi per provincia attraverso un Catalogo dei dati[36] aperto per la ricerca e scarico in formato *shapefile*, *raster* e anche tramite servizio di visualizzazione WMS. Sono stati in seguito integrati e uniformati i database in funzione dei tematismi relativi alla geolitologia delle aree interessate dalle indagini di provenienze dei materiali: l'area del padovano e l'area friulana carsica al confine con Croazia e Slovenia. Infine una serie di mappe è stata elaborata a differenti

[27] http://www.europe-geology.eu/.

[28] EEA, European Environment Agency, https://www.eea.europa.eu/.

[29] Da: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem.

[30] http://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/administrative-units-statistical-units/nuts

[31] http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/.

[32] http://www.hgi-cgs.hr/geo_proba.html.

[33] GeoZS, Geological Map of Slovenia (2013) 1:1000000. Da: http://www.geo-zs.si/index.php/en/.

[34] http://irdat.regione.fvg.it/WebGIS/GISViewer.jsp?template=configs:ConfigMAAS/CartografiaGeologica.xml.

[35] http://gisgeologia.regione.veneto.it/website/geol%5F250k/viewer.htm.

[36] http://idt.regione.veneto.it/app/metacatalog/.

scale per inquadrare le aree di provenienza nel territorio nazionale e, in seguito, in due differenti *focus*.

Nella figura 13 un inquadramento geologico, attraverso in modello ombreggiato del DEM europeo EU-DEM rispetto alla città di Aquileia, della posizione delle maggiori aree di cava da cui si ipotizza la provenienza dei materiali da costruzione analizzati nell'area di scavo di via Gemina. Nel *focus* della figura 14 l'area dei Colli Euganei nel padovano presenta sedimenti di trachiti dell'Oligocene (rosso) e due cave note di tale materiale (Monte Oliveto, Monselice). Nel *focus* della figura 15 invece l'area più a est al confine con la Slovenia, ove è stata individuata l'antica cava romana di Aurisina in una presenza dei calcari del Cretaceo superiore. Più a nord l'area delle Alpi Carniche sull'alveo dell'Isonzo, possibile bacino emerso del Giurassico superiore, per la provenienza del calcare nero. Più a sud, ancora, sulla costa triestina dell'Istria, è individuata un'area di emersione eocenica che ha dato certamente origine agli elementi di arenaria ritrovati nel cardine.

Il GIS del cardine

L'organizzazione dei dati in un GIS, in questo caso riferito a un'area archeologica di scavo, può essere impostata con un approccio a diverse scale di indagine. Questo *workflow* di solito può permettere di leggere in maniera comparata, come parte integrante dei fenomeni a scala più vasta sul territorio, i dati a grandissima scala raccolti ed elaborati con rilievi digitali sull'area di interesse, come quelli presentati nel GIS descritto in questo paragrafo.

I dati raccolti in un Sistema Informativo Geografico sono segnati dalla loro forte valenza spaziale, che li distingue da una informazione vettoriale pura; le informazioni alfanumeriche dei metadati sono non solo relazionate l'un l'altra come per un classico *DataBase* ma associate univocamente al dato geometrico vettoriale grazie a rapporti semantici e topologici, e questo le distingue da semplici informazioni tabellari raccolte in un sistema a database. Per questi motivi i dati cartografici in un sistema GIS, sono sistemi complessi di dati interrogabili, tematizzabili e interpretabili. Nel caso di sistemi di dati più complessi e organizzati in piattaforme on-line, essi possono essere anche aggiornabili e implementabili con l'adattamento alle finalità multiple nel sito di indagine.

Come è stato presentato nei paragrafi precedenti, le informazioni spaziali con cui è strutturato un GIS possono essere innanzitutto provenienti da altre infrastrutture di dati spaziali (SDI – *Spatial Data Infrastructure*) e integrate nel database. Inoltre possono essere sicuramente create *ex novo* sulla base di acquisizioni finalizzate a documentazioni e interpretazioni dell'area di interesse. In entrambi i casi le informazioni posso essere consultate nel database spaziale sotto forma di dato 2D, 2.5D, 3D: *shapefile*, *raster*, oppure

tramite servizi di visualizzazione da connessioni server WMS (*Web Map Service*) secondo le prescrizioni INSPIRE che favoriscono l'implementazione dei servizi di consultazione e diffusione di cartografia standardizzata e condivisa.

Le entità vettoriali e *raster* sono distinte da un apparato di informazioni che li qualificano: la geometria, la topologia e gli attributi definiscono un dato spaziale; esistono poi, come già richiamato, i metadati che le descrivono e le accompagnano nella loro consultazione e utilizzo. Da un lato la conformazione del suolo e degli elementi di rilievo caratterizzanti l'area di scavo possono essere descritti dalle entità in formato *raster,* dove ogni pixel è associato a un valore numerico, così come possono essere *raster* i documenti cartografici o mappe digitalizzati che possono essere importati nello spazio GIS e georiferibili tramite l'associazione di coordinate spaziali in un sistema di riferimento noto (formato interoperabile di georeferenziazione .tfw). Dall'altro lato gli elementi vettoriali sono atti a descrivere nelle tre dimensioni i contenuti di uno spazio di interesse, tramite l'uso di punti, linee e aree che descrivono nel dettaglio oggetti, caratteristiche o fenomeni: a ogni entità possono essere associate in maniera univoca una serie infinita di attributi che li caratterizzano, e tramite i quali possono essere rappresentati secondo tematismi, e anche trattati nei loro legami topologici con altri dati spaziali[37].

I dati possono essere organizzati secondo uno schema tipico di progettazione per database: *Modello concettuale*, per la definizione degli scopi e la scelta dei dati; *Modello di Entità e Relazioni*, per la formalizzazione delle entità e delle relazioni che le legano; *Modello Logico*, responsabile della identificazione degli attributi delle entità e dei campichiave che legano le entità secondo le relazioni predefinite.

Nel caso dello schema alla base del GIS sul cardine presentato qui di seguito, le entità geometriche sono state concretizzate a partire dai prodotti 3D ottenuti dal rilievo metrico integrato e gli attributi quali-quantitativi assegnati riguardano sia la loro geometria intrinseca secondo la loro distribuzione spaziale, che la caratterizzazione architettonica e la natura del materiale da costruzione. Questo al fine di avere una rappresentazione comprensiva dei materiali e della loro continuità spaziale allo stato attuale nello scavo.

G. S., A. S.

[37] La topologia esprime le relazioni spaziali tra le geometrie vettoriali (punti, polilinee e poligoni) collegate o adiacenti in un GIS. Alcuni esempi di relazioni topologiche sono l'adiacenza, l'inclusione, la condivisione di archi tra poligoni, condivisione di nodi tra archi *etc.*, necessarie per eseguire corrette analisi spaziali.

Analisi degli elementi architettonici

L'area di interesse per l'organizzazione del GIS alla scala architettonica riferita alla Casa dei Putti danzanti viene circoscritta alla strada (fig.16), uno dei cardini romani della città antica, con il suo basolato e le crepidini; essa si relaziona con gli ambienti delle botteghe attraverso la porzione di porticato antistante di cui permangono i basamenti a ridosso della strada stessa.

Gli oggetti analizzati possiedono molte informazioni circa la loro natura, talvolta la loro origine e anche il loro reimpiego da utilizzi precedenti. Si individuano principalmente tre tipi di elementi:

– *I basoli del sedime stradale del cardine* (fig. 17): il sedime della strada, in origine interamente basolato, mostra una prima grande lacuna sulla mezzeria dove, con ogni probabilità, si è proceduto all'asportazione dei materiali della struttura fognaria, operazione che con la decadenza e l'abbandono delle città romane è avvenuta in maniera sistematica. Le lacune laterali visibili nella zona sud sembrano in relazione con l'evoluzione degli edifici adiacenti, fino alla nuova sistemazione di una parte di questo – lato est – ma su un livello rialzato rispetto al sedime originale, come per eliminare il dislivello prodotto dalla crepidine, i cui elementi finiscono mescolati insieme agli altri basoli. L'originario allineamento sembra riproposto con elementi calcarei squadrati e ben lavorati conservati però sporadicamente di cui non è chiara la funzione.

– *Le crepidini di bordo del cardine* (fig. 18): sul lato est la crepidine appare sensibilmente meglio conservata e continua, con elementi che hanno prevalentemente subito il logoramento degli agenti ambientali, in altre parole, hanno subito un degrado 'naturale'. Sul lato ovest, al contrario, gli elementi della crepidine sono stati smussati, ridotti e asportati con il reimpiego nei basamenti di colonna davanti alle botteghe.

– *I basamenti dei pilastri* (fig. 19): i basamenti dei pilastri del portico sono impostati in corrispondenza della crepidine di cui reimpiegano parzialmente i materiali. Tale riuso mette in vista, in particolare nel primo pilastro verso nord, una lavorazione che denuncia un precedente e originario impiego dell'elemento. Si osserva così una significativa e illuminante stratificazione di materiali eterogenei così come per tutte le botteghe, che si ipotizzano anch'esse costruite con materiale di riuso. Nel primo basamento nord (fig. 19 prima a sinistra), si possono distinguere quindi tre 'fasi di vita'. I. Fu blocco decorativo scolpito, forse elemento parietale di basamento; II. Fu poi blocco squadrato in secondo momento posto a completamento della crepidine

della strada; III. Fu infine blocco reimpiegato integrato nel basamento del pilastro del portico come pietra da costruzione (concio già squadrato).

I basamenti sud presentano invece differenze da quelli nord, innanzitutto nella loro posizione di allineamento in rapporto alle crepidini, a differenza di quelli nord inseriti in asse a esse, e si ipotizza siano segno di uno degli ingressi alla Casa dei Putti danzanti o comunque a un ambiente relativo a essa.

M. G. S.

Estrazione e dei dati spaziali 3D

Il rilievo 3D integrato terrestre e aereo eseguito grazie al contributo delle successive missioni ha dato origine a un modello ad alta risoluzione della Casa dei Putti danzanti, e nello specifico del cardine romano e degli elementi architettonici che lo compongono.

L'estrazione delle informazioni tridimensionali è stata operata su una superficie triangolata (*mesh*), da cui sono state estratte le linee di interruzione di continuità della superficie (*breaklines*) del modello del terreno sotto forma di profili vettoriali spaziali chiusi, secondo gli oggetti lapidei leggibili con le informazioni radiometriche sulla superficie triangolata texturizzata. Le operazioni sono state eseguite sia con una vettorializzazione manuale che una estrazione semi-automatica di bordi di aree riconosciute omogenee e delimitate da cambi di curvatura grazie ad algoritmi basati sulle *feature extraction* tramite *region growing* (fig. 20).

La vettorializzazione assistita è stata poi classificata secondo una lettura semantica degli oggetti lapidei individuati dalle *breaklines*: sono stati infatti distinti tre tipi principali di elementi architettonici che sono divenuti attributi delle entità:

– i blocchi compositi dei basamenti dei pilastri;
– le crepidini di bordo del cardine;
– i basoli del sedime stradale del cardine;
– altro.

Si è proceduto in un secondo momento a una classificazione degli elementi 3D creati secondo le indagini litologiche integrate e le interpretazioni sui materiali lapidei ritrovati per risalire ai tipi litici e ai movimenti alla base di 'migrazioni' documentate di elementi architettonici nell'area di scavo. A ogni elemento è stato assegnato un attributo riguardante il materiale lapideo riconosciuto. L'indagine sulla consistenza litologica degli elementi di scavo ha poi studiato la provenienza storica dei materiali in funzione dell'area di derivazione degli stessi.

Le entità rappresentate da polilinee 3D (fig. 21a) sono state create in un software dedicato per il trattamento di nuvole di punti e mesh 3D (3D Reshaper by Tecnodigit: http://www.3dreshaper.com), e in seguito gestiti e ottimizzati in ambiente CAD (fig. 21b). Infine sono stati importati nel database GIS attraverso l'uso di un software Open Source QuantumGIS (QGIS 2.18 Las Palmas: http://www.qgis.org/it/site): qui è possibile eseguire operazioni avanzate di calcolo numerico, classificazione per attributi e analisi spaziali grazie alla caratteristica della georeferenziazione dei dati geografici (fig. 21c).

La struttura dei dati e la lettura delle informazioni

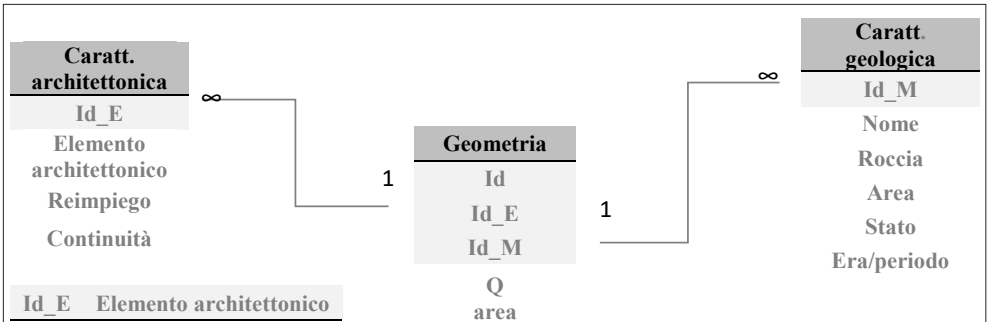
Le entità geometriche 3D sono individuate nel database come univoche grazie a un codice alfanumerico (fig. 22a) assegnato durante la gestione degli elementi nello spazio CAD: questo è l'attributo ID identificativo degli elementi. A ogni elemento numerato corrisponde una sua rappresentazione attraverso tre entità geometriche e il campo comune è l'attributo ID:

– lineare,
– areale,
– puntuale.

Attraverso gli strumenti GIS, per ogni polilinea viene calcolata un'area da cui è possibile estrarre le informazioni geometriche relative ad esempio alla superficie; da quest'ultima viene calcolato un punto detto '*centroide*' corrispondente al baricentro della geometria. Grazie agli strumenti di calcolo spaziale in GIS, è possibile eseguire operazioni di intersezione di attributi, attraverso cui viene associato puntualmente l'attributo di quota 'Q' (fig. 22b) ai punti corrispondenti sulla base del modello del terreno a grande scala calcolato dal rilievo metrico 3D. Ogni entità univoca 'Id' è stata codificata poi secondo gli attributi riguardanti la caratterizzazione geometrica, architettonica e quella geologica del materiale, attraverso uno schema logico come da Tabella 3. La connessione tra le tabelle avviene attraverso le chiavi Id_E e Id_M.

Nella prima mappa (fig. 23a) è osservabile una rappresentazione globale del cardine e delle sue entità geometriche sovrapposte all'ortofoto aerea (risoluzione= 3mm/px GSD – *Ground Sampling Distance*) e, nello zoom (fig. 23b), esse si visualizzano in dettaglio sul DEM in formato *raster* integrato al modello ombreggiato. Nella figura 24 il modello digitale sotto forma di modello triangolato TIN (*Triangular Irregular Network*) a partire dalle *breaklines* 3D estratte in precedenza.

Tabella 3 – Relazioni tra le entità del database e specificazione degli attributi delle tabelle Analisi e rappresentazione: mappe tematiche



Id_E	Elemento architettonico
BA	Basamento
BS	Basolo
CR	Crepidine
A	altro

Id_M	Materiale_lapideo	Roccia	Area	Stato	Era/Periodo
TE	TRACHITE EUGANEA	Trachite	Colli euganei Padova	Italia	Quat. Oligocene
PA	PIETRA di AURISINA	Calcare	Carso, Trieste	Italia	Cretacico superiore
CN	CALCARE NERO	Calcare	Alpi carniche, valle Isonzo	Slovenia	Giurassico superiore
A	PIETRA ARENARIA	Arenaria	Istria, costa	Italia/Slovenia	Terz. Eocene
MP	MARMO PENTELICO	Marmo	Atene	Grecia	-
PI	PIETRA D'ISTRIA	Calcare	Istria-Parenzo	Croazia	-
M	MISTO	-	-	-	-
NC	Non classificato	-	-	-	-

Nelle rappresentazioni, sotto forma di mappe tematizzate (fig. 25), possiamo considerare la distribuzione spaziale degli elementi della strada in relazione alla Casa dei Putti danzanti e allo spazio nord delle botteghe. È ben visibile nella mappa *a* la continuità architettonica dei basamenti dei pilastri che un tempo sorreggevano il portico delle botteghe, che invece è perduta nella parte sud ancora in corso di scavo, dove si ipotizza ci fosse un ulteriore successivo ingresso alla Casa dei Putti danzanti.

Tali discontinuità (evidenziate anche in fig. 25, mappa *b*) attribuiscono al sedime della strada, una serie di rimaneggiamenti e perdita di coerenza del basolato stradale.

Anche la continuità materica dei tipi litici del cardine è stata mappata (fig. 24, mappa c). La tessitura del basolato in trachite euganea osservabile nella mappa, riferita alla

zona nord, si evidenzia come interrotta nell'asse baricentrico e nella zona meridionale a causa di successivi rattoppi e asportazioni di materiale.

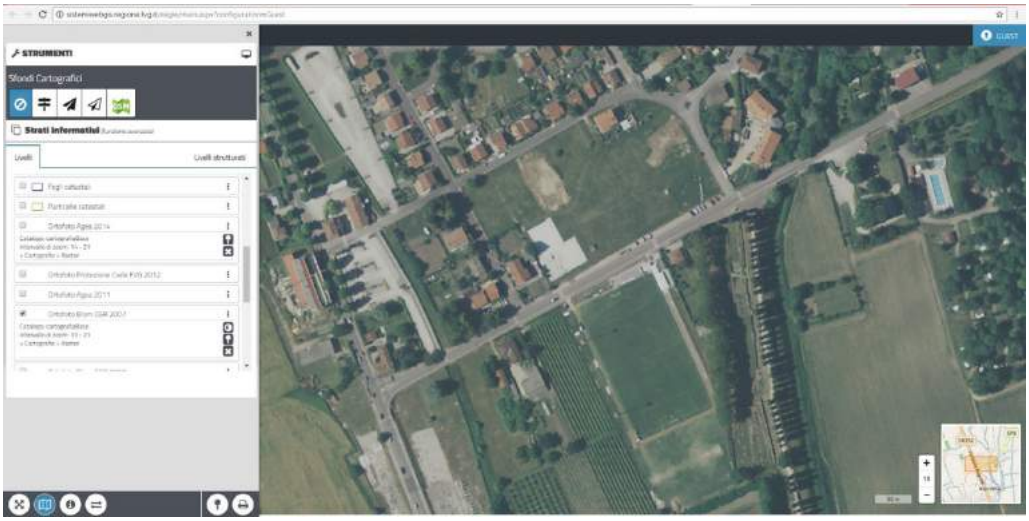
Questo fenomeno motiva l'esistenza di molte 'migrazioni' e reimpieghi di elementi e ha caratterizzato gran parte del materiale da costruzione studiato nello scavo dell'i*nsula* di via Gemina.

G. S., A. S.

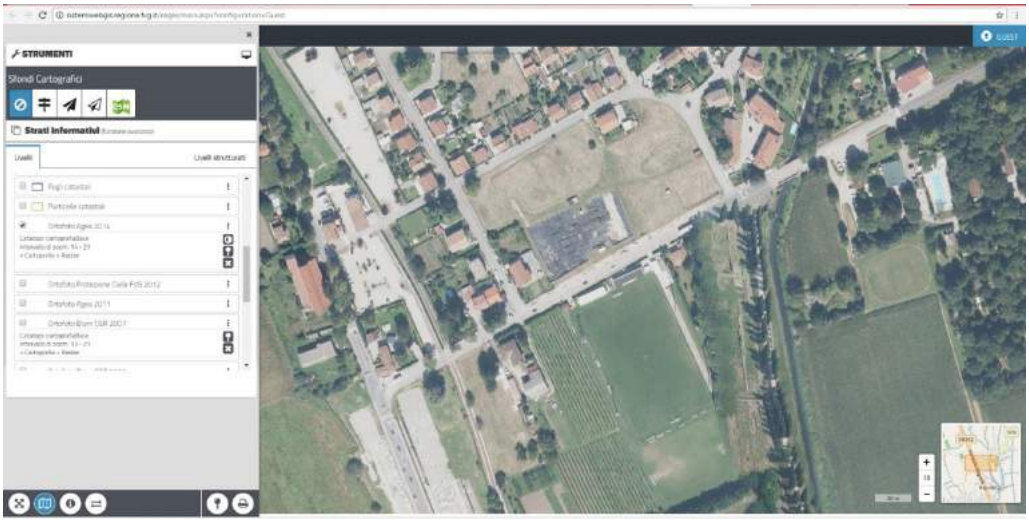
ILLUSTRAZIONI

Fig. 1 Visualizzazioni delle ortofoto aeree del 2007 (a) e del 2014 (b) tramite il webGis della Regione Friuli Venezia Giulia, nell'area dello scavo di via Gemina.
Fig. 2 Mappa delle componenti principali del paesaggio sovrapposte al modello digitale del terreno a scala regionale del territorio aquileiese, tematizzato secondo range di colore. Le aree più chiare indicano una quota al di sotto del livello del mare (da Maero 2011).
Fig. 3 Editing della carta di Luisa Bertacchi (georeferenziazione, vettorializzazione e conversione in formato GIS) e sovrapposizione al modello del terreno regionale, per l'evidenziazione della collocazione dell'abitato antico ad una quota superiore rispetto al territorio circostante (da Maero 2011).
Fig. 4 Superimposizione dell'ortofoto satellitare con i dataset della carta tecnica regionale (da Maero 2011).
Fig. 5 Mappa dei percorsi antichi (in rosso). Toponomastica, percorsi fluviali e urbanizzato derivano dalla CTRN e sono relativi allo stato attuale (CTRN 1:5000) (da Maero 2011).
Fig. 6 Rappresentazione in ambiente GIS della struttura viaria dell'antica città di Aquileia: l'edificato antico principale e le fortificazioni, il reticolo viario antico ed il tracciato delle antiche vie d'acqua secondo la ricostruzione di Marie-Brigitte Carre e Franca Maselli Scotti. Quest'ultima prevede il collegamento tra il fiume di Terzo e la Natissa, che scorre a sud ovest della città (da Maero 2011).
Fig. 7 Confronto tra l'assetto antico e l'attuale. La moderna città di Aquileia si sviluppa principalmente a sud ovest dell'antica. Il tracciato della antica via Giulia Augusta è mantenuto mentre la via Annia è ripresa solo parzialmente in un percorso moderno. Via Gemina muta inclinazione e taglia l'antico isolato della Casa dei Putti danzanti (da Maero 2011).
Fig. 8 Alcuni dataset consultabili sul webGIS di EGDI, European Geological Data Infrastructure.
Fig. 9 La 'Carta Geologica nazionale' in scala 1:300000 della Croazia consultabile sul portale geografico nazionale.
Fig. 10 La 'Carta Geologica Nazionale' in scala 1:1000000 redatta da GeoZS, l'agenzia nazionale geologica della Slovenia.
Fig. 11 Il portale WebGIS del Friuli Venezia Giulia, IRDAT - Infrastruttura Regionale dei Dati Ambientali e Territoriali, per consultazione e scaricamento, da cui è stato acquisito il dataset delle 'Unità lito-cronostratigrafiche' alla scala 1:50000.
Fig. 12 La 'Carta Litostratigrafica' del Veneto alla scala 1:250000 dal catalogo Dati geografici della Regione Veneto.
Fig. 13 Mappa di inquadramento dell'area nord orientale con i confini nazionali e regionali e il DEM-EU. Le principali aree di cava dalle quali si ipotizza la provenienza dei materiali litici da costruzione impiegati nel cardine e mappati nel GIS.
Fig. 14 Area dei Colli Euganei nel padovano dove sono visibili i bacini di trachite dell'Oligocene.
Fig. 15 Area Carsica di confine del Friuli Venezia Giulia in cui si localizza l'antica cava romana di Aurisina e le aree presunte di provenienza di arenaria (costa triestino-istriana) e calcare nero (bacino dell'Isonzo nel confine carsico).

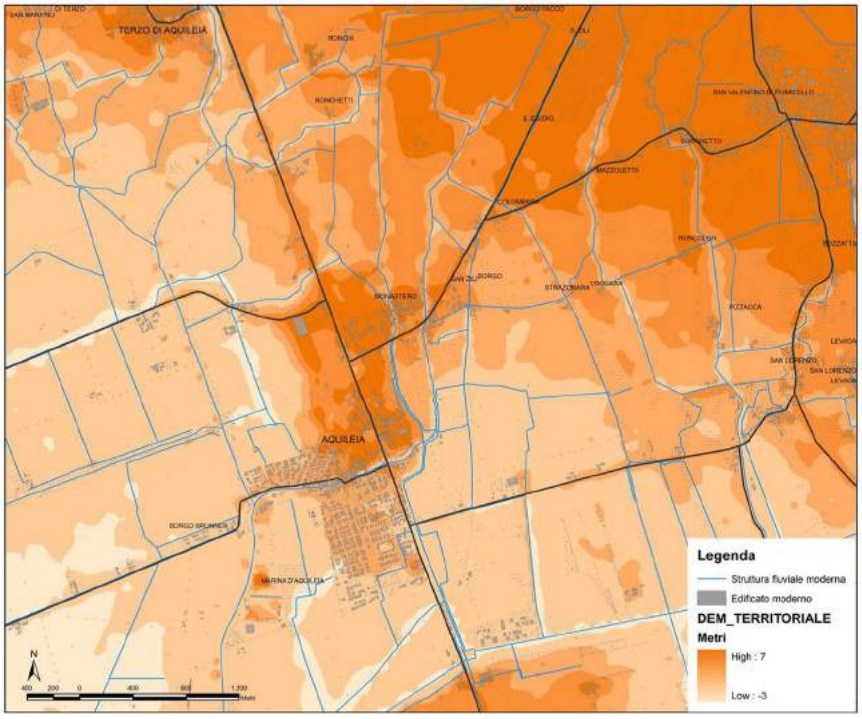
Fig. 16 Inquadramento dell'area di interesse del GIS (giallo) all'interno della zona occupata dal cardine e dalle botteghe (arancio) (Politecnico di Torino).
Fig. 17 Porzioni di cardine: solchi lasciati sui basoli dal passaggio delle ruote; omogeneità di materiale e aree non lastricate nella zona nord; discontinuità di tipi litici nella zona sud orientale (Politecnico di Torino).
Fig. 18 Parti di crepidini del cardine: in particolare, nella prima, un blocco architettonico reimpiegato nella strada (Politecnico di Torino).
Fig. 19 Primo e secondo basamento nord dei pilastri del porticato affacciante sul cardine; secondo basamento sud (Politecnico di Torino).
Fig. 20 Una vettorializzazione semi-automatica e un tracciamento manuale del profilo del basolo (Politecnico di Torino).
Fig. 21 Alcune immagini dal workflow operativo attraverso i software impiegati. a) 3D reshper per la vetotrializzazione 3D mauale e semi-automatica. b) lo spazio CAD per la gestione dei profili e la gestione e classificazione per *layer*. c) Il progetto GIS con QuantumGIS (Politecnico di Torino).
Fig. 22 Le geometrie rappresentate tramite punti, linee, aree. a) L'elemento areale e il codice 'ID' univoco e b) il *centroide* di ogni geometria etichettato con l'attributo di quota estratto dal valore altimetrico corrispondente del DEM (Politecnico di Torino).
Fig. 23 Vettorializzazione degli elementi del cardine: 23a) rappresentazione sovrapposta all'ortofoto rigorosa da volo UAV (GSD= 3mm/px) e 23b) DSM integrato con il modello ombreggiato nello zoom (Politecnico di Torino).
Fig. 24 Modello del terreno triangolato TIN calcolato a partire dalle *breaklines* 3D vettorializzate dal rilievo metrico integrato (Politecnico di Torino).
Fig. 25 Mappe tematiche dell'area del cardine romano. Rappresentazione delle entità geometriche del cardine secondo una tematizzazione per: 25a) elementi architettonici 25b) continuità del sedime stradale 25c) materiali lapidei da costruzione impiegati (Politecnico di Torino).


STRUMENTI
Sfondi Cartografici
Strati informativi
Livelli
Livelli strutturati
GUEST

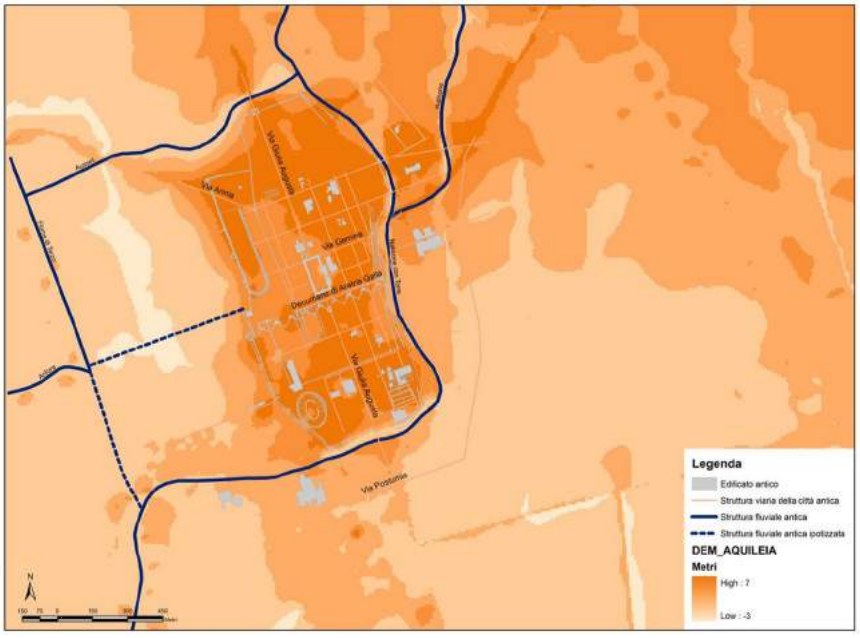
1a


STRUMENTI
Sfondi Cartografici
Strati informativi
Livelli
Livelli strutturati
GUEST

1b

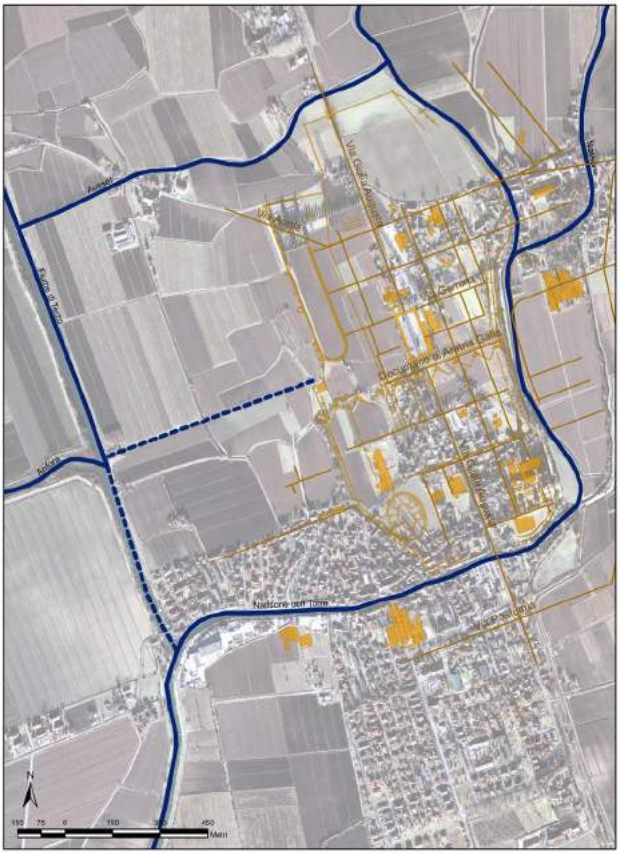

TERZO DI AQUILEIA
RONCHI
RONCHETTI
BONATTERO
AQUILEIA
BORGO SPILIMBERGO
MARINA D'AQUILEIA
PIZZACCA
Legenda
Struttura fluviale moderna
Edificato moderno
DEM_TERRITORIALE
Metri
High : 7
Low : -3

2

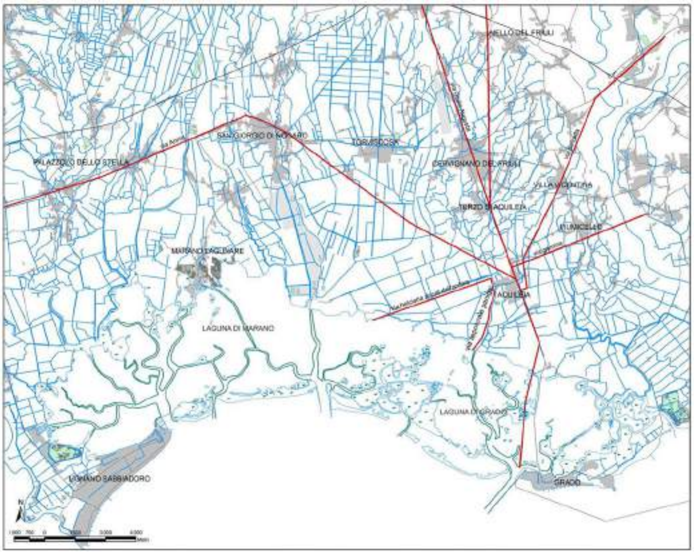

Via Aurelia
Via Gemina
Via Postumia
Legenda
Edificato antico
Struttura viaria della città antica
Struttura fluviale antica
Struttura fluviale antica ipotizzata
DEM_AQUILEIA
Metri
High : 7
Low : -3

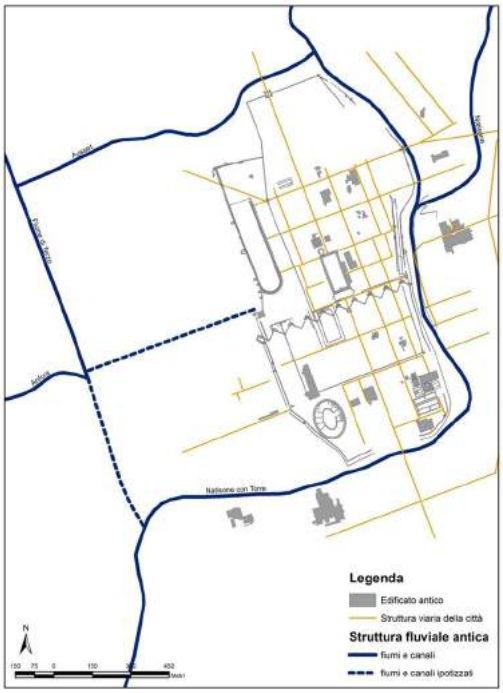
3

4


Via Giulia Augusta
Via Annia
Via Gemina
Anfora
Natissa
Metri

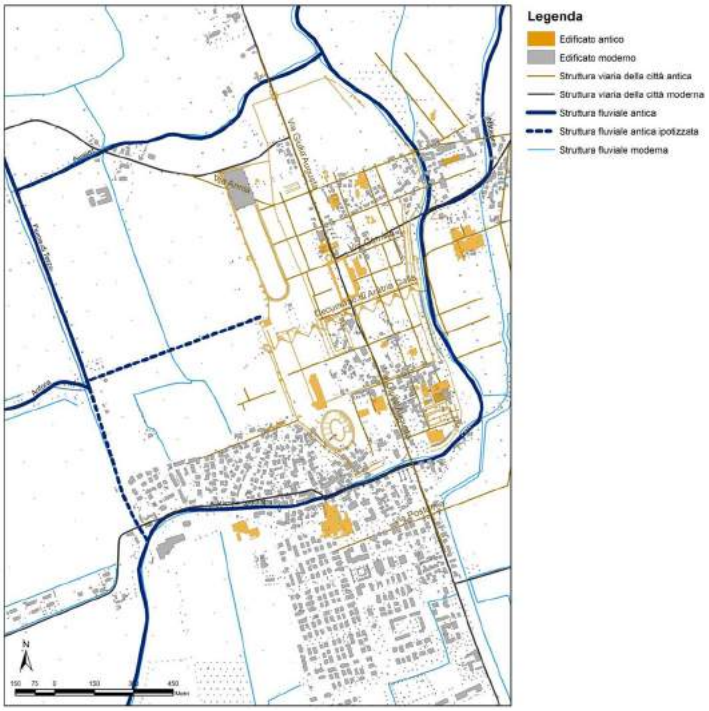
5

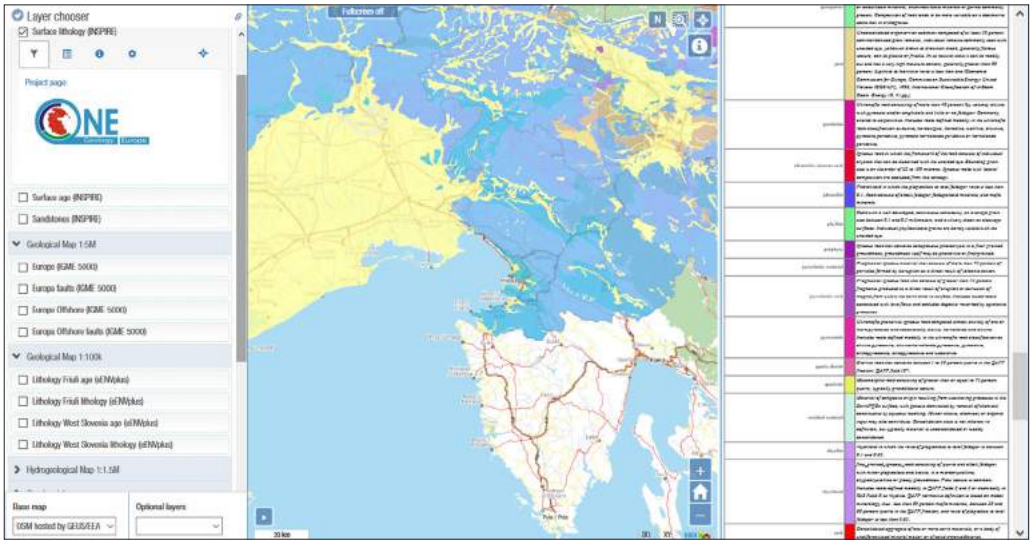

AIELLO DEL FRIULI
PALAZZOLO DELLO STELLA
SAN GIORGIO DI NOGARO
TORVISCOSA
CERVIGNANO DEL FRIULI
VILLA VICENTINA
TERZO DI AQUILEIA
FIUMICELLO
MARANO LAGUNARE
AQUILEIA
LAGUNA DI MARANO
LAGUNA DI GRADO
LIGNANO SABBIADORO
GRADO


Legenda
Edificato antico
Struttura viaria della città
Struttura fluviale antica
fiumi e canali
fiumi e canali ipotizzati

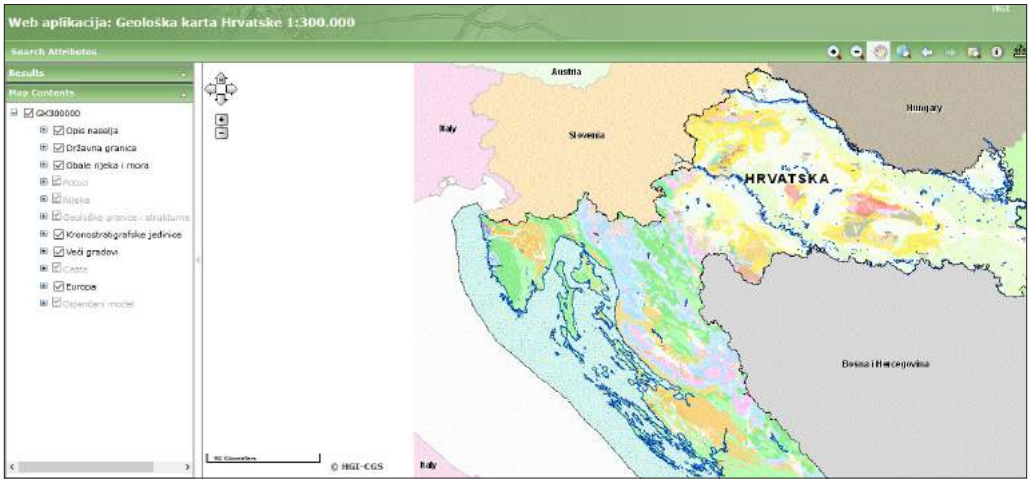
6

7

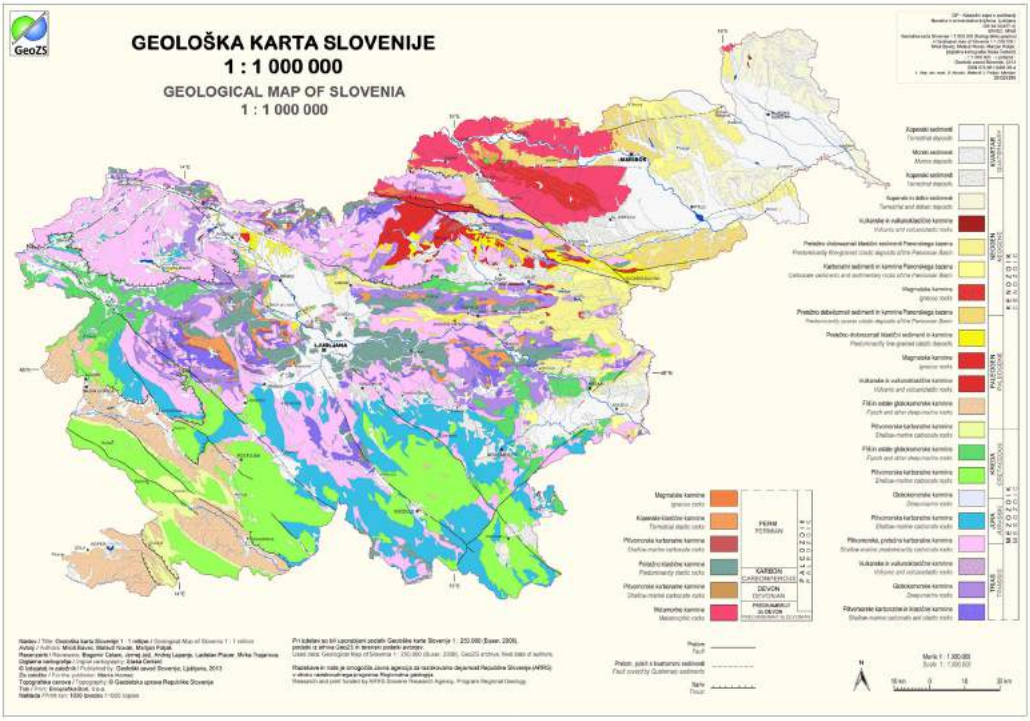

Legenda
Edificato antico
Edificato moderno
Struttura viaria della città antica
Struttura viaria della città moderna
Struttura fluviale antica
Struttura fluviale antica ipotizzata
Struttura fluviale moderna


Layer chooser
Surface lithology (INSPIRE)
Surface age (INSPIRE)
Sandstones (INSPIRE)
Geological Map 1:5M
Europe (GME 5000)
Europe faults (GME 5000)
Europe Offshore (GME 5000)
Europe Offshore faults (GME 5000)
Geological Map 1:100k
Lithology Friuli age (eEMYplus)
Lithology Friuli lithology (eEMYplus)
Lithology West Slovenia age (eEMYplus)
Lithology West Slovenia lithology (eEMYplus)
Hydrogeological Map 1:1.5M
Base map
OSM hosted by GEUS/EEA
Optional layers

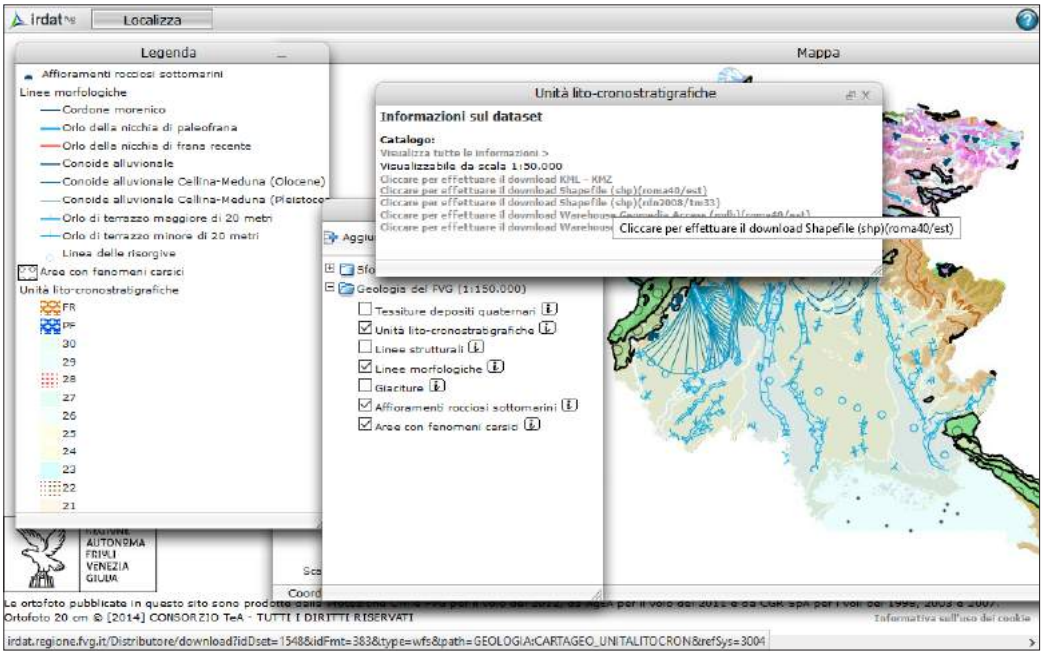
8


Web aplikacija: Geološka karta Hrvatske 1:300.000
Search Attributes
Results
Map Contents
GK300000
Opis nasalja
Državna granica
Obale njeka i mora
Rijeka
Europe
Austria
Hungary
Italy
Slovenia
HRVATSKA
Bosna i Hercegovina
© HGI-CGS

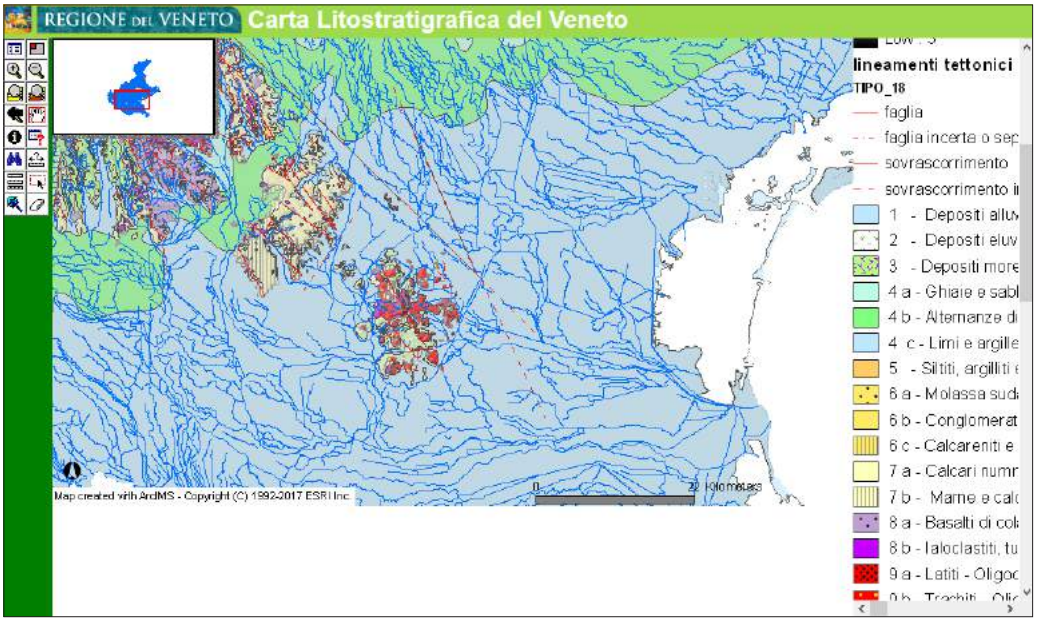
9


GeoZS
GEOLOŠKA KARTA SLOVENIJE
1 : 1 000 000
GEOLOGICAL MAP OF SLOVENIA
1 : 1 000 000

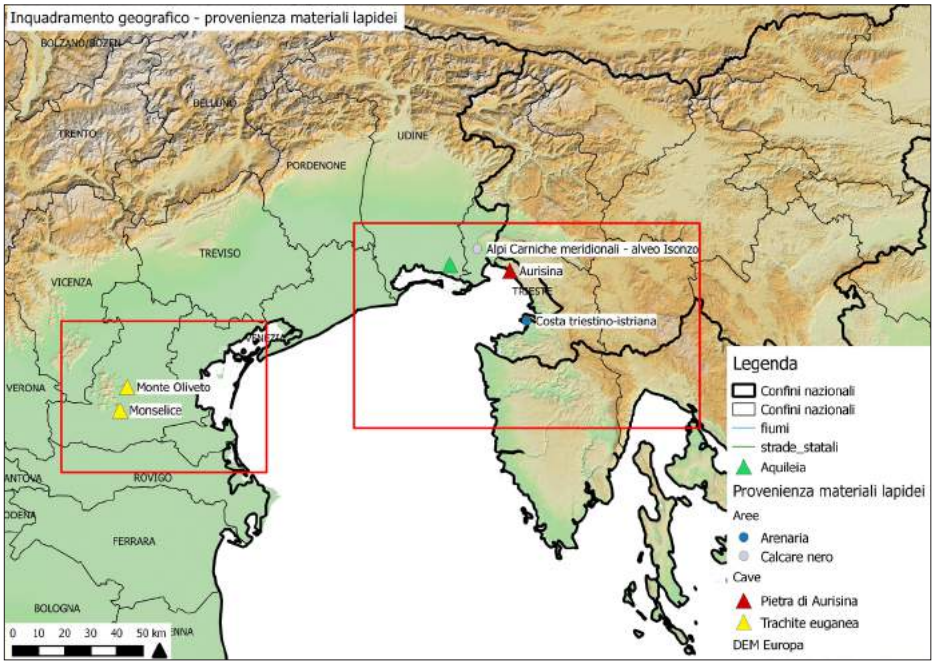
10


Irdat
Localizza
Legenda
Affioramenti rocciosi sottomarini
Linee morfologiche
Cordone morenico
Orlo della nicchia di paleofrana
Orlo della nicchia di frana recente
Conoide alluvionale
Conoide alluvionale Collina-Meduna (Olocene)
Conoide alluvionale Collina-Meduna (Pleistocene)
Orlo di terrazzo maggiore di 20 metri
Orlo di terrazzo minore di 20 metri
Linea delle risorgive
Aree con fenomeni carsici
Unità litho-cronostratigrafiche
FR
PF
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
Mappa
Unità litho-cronostratigrafiche
Informazioni sul dataset
Catalogo:
Visualizza tutte le informazioni >
Visualizzabile da scala 1:50.000
Cliccare per effettuare il download KML - KMZ
Cliccare per effettuare il download Shapefile (shp)(roma40/est)
Cliccare per effettuare il download Shapefile (shp)(utm2008/fuso33)
Cliccare per effettuare il download Warehouse
Cliccare per effettuare il download Shapefile (shp)(roma40/est)
Geologia del FVG (1:150.000)
Tessiture depositi quaternari
Unità litho-cronostratigrafiche
Linee strutturali
Linee morfologiche
Giaciture
Affioramenti rocciosi sottomarini
Aree con fenomeni carsici
REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA
Ortofoto 20 cm © [2014] CONSORZIO TeA - TUTTI I DIRITTI RISERVATI
Informativa sull'uso dei cookie
irdat.regione.fvg.it/Distributore/download?idDset=1548&idFmt=383&type=wfs&path=GEOLOGIA:CARTAGEO_UNITALITOCRON&refSys=3004

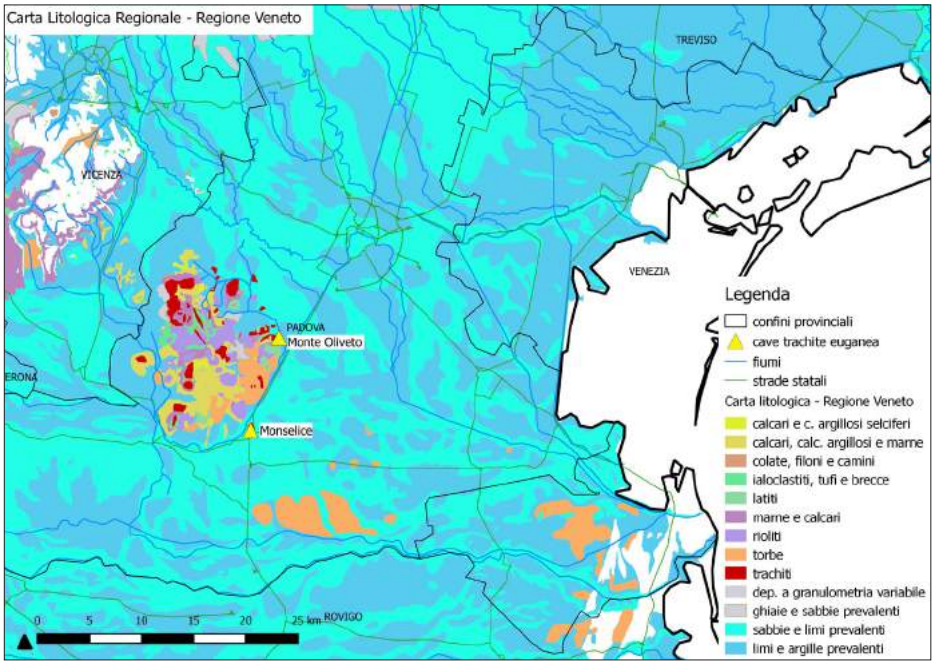
11


REGIONE DEL VENETO
Carta Litostratigrafica del Veneto
lineamenti tettonici
TIPO_18
faglia
faglia incerta o sep
sovrascorrimento
sovrascorrimento i
1 - Depositi allu
2 - Depositi eluv
3 - Depositi more
4 a - Ghiaie e sabl
4 b - Alternanze di
4 c - Limi e argille
5 - Siltiti, argilliti
6 a - Molassa sud
6 b - Conglomerat
6 c - Calcareniti e
7 a - Calcari numr
7 b - Marne e calc
8 a - Basalti di col
8 b - Ialoclastiti, tu
9 a - Latiti - Oligoc
Map created with ArcIMS - Copyright (C) 1992-2017 ESRI Inc.
0
20 Kilometers

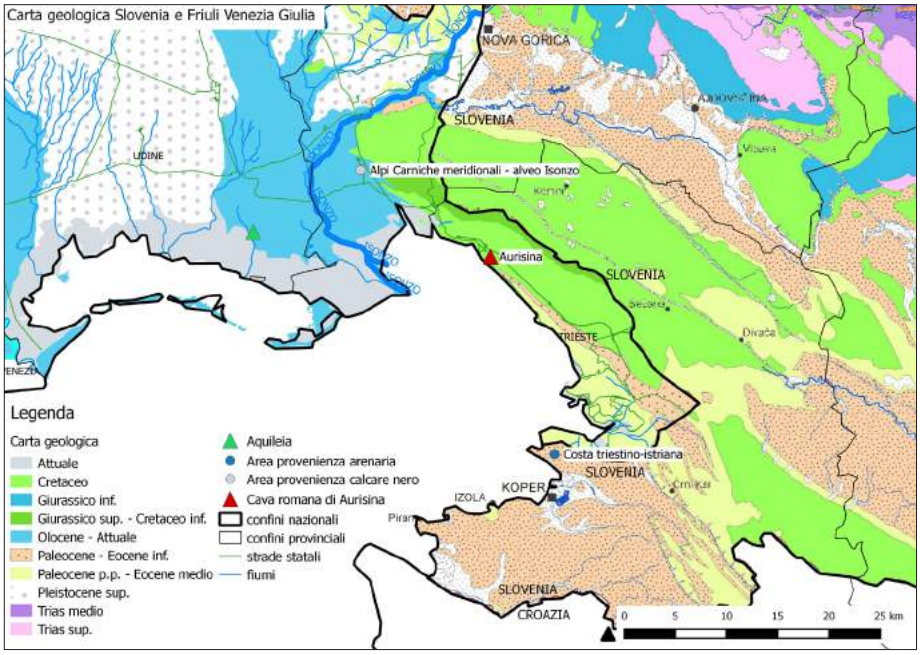
12


Inquadramento geografico - provenienza materiali lapidei
BOLZANO/BOZEN
BELLUNO
TRENTO
UDINE
PORDENONE
TREVISO
VICENZA
PADOVA
VERONA
ROVIGO
FERRARA
BOLOGNA
Alpi Carniche meridionali - alveo Isonzo
Aurisina
TRIESTE
Costa triestino-istriana
Monte Oliveto
Monselice
0 10 20 30 40 50 km
Legenda
Confini nazionali
Confini nazionali
fiumi
strade_statali
Aquileia
Provenienza materiali lapidei
Aree
Arenaria
Calcare nero
Cave
Pietra di Aurisina
Trachite euganea
DEM Europa

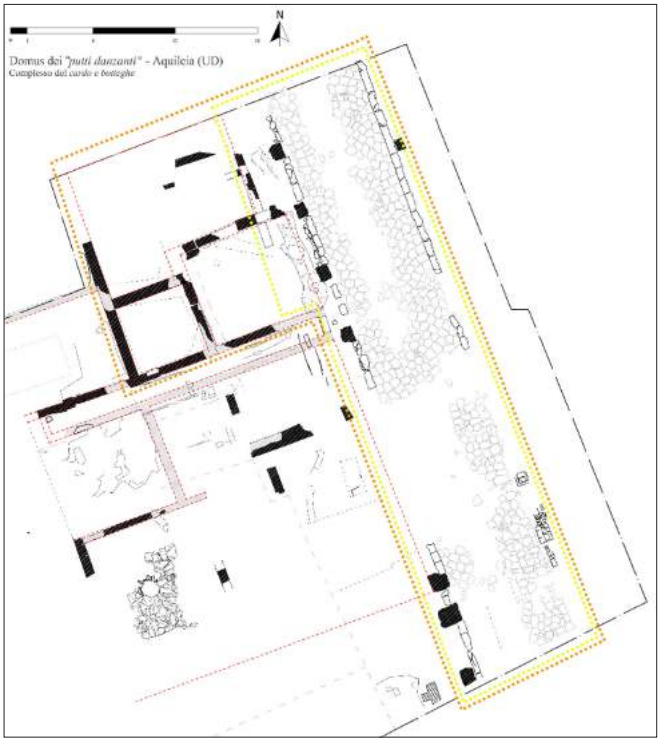
13


Carta Litologica Regionale - Regione Veneto
TREVISO
VICENZA
VENEZIA
PADOVA
Monte Oliveto
Monselice
ROVIGO
0 5 10 15 20 25 km
Legenda
confini provinciali
cave trachite euganea
fiumi
strade statali
Carta litologica - Regione Veneto
calcari e c. argillosi selciferi
calcari, calc. argillosi e marne
colate, filoni e camini
ialoclastiti, tufi e brecce
latiti
marne e calcari
rioliti
torbe
trachiti
dep. a granulometria variabile
ghiaie e sabbie prevalenti
sabbie e limi prevalenti
limi e argille prevalenti

14


Carta geologica Slovenia e Friuli Venezia Giulia
NOVA GORICA
SLOVENIA
UDINE
Alpi Carniche meridionali - alveo Isonzo
Aurisina
SLOVENIA
TRIESTE
Divača
Costa triestino-istriana
SLOVENIA
KOPER
IZOLA
Piran
SLOVENIA
CROAZIA
0 5 10 15 20 25 km
Legenda
Carta geologica
Attuale
Cretaceo
Giurassico inf.
Giurassico sup. - Cretaceo inf.
Olocene - Attuale
Paleocene - Eocene inf.
Paleocene p.p. - Eocene medio
Pleistocene sup.
Trias medio
Trias sup.
Aquileia
Area provenienza arenaria
Area provenienza calcare nero
Cava romana di Aurisina
confini nazionali
confini provinciali
strade statali
fiumi

15


N
Domus dei "putti danzanti" - Aquileia (UD)
Complesso del cardo e botteghe

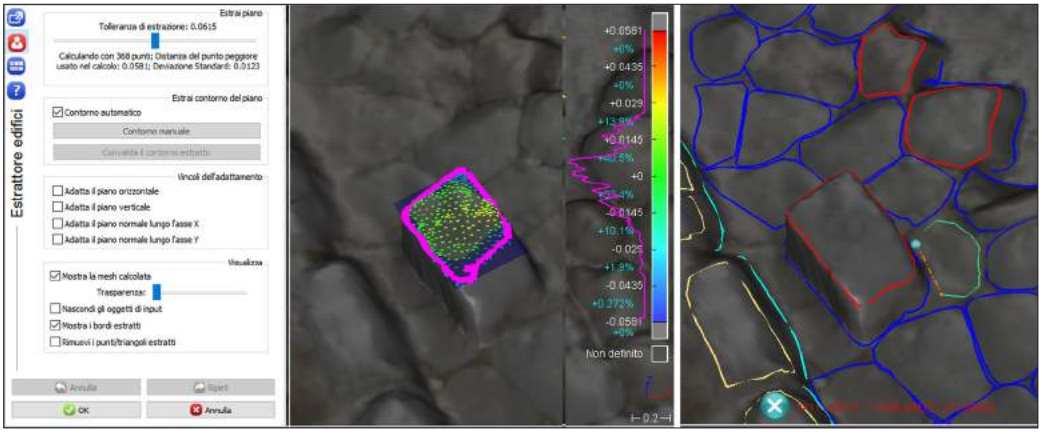
16

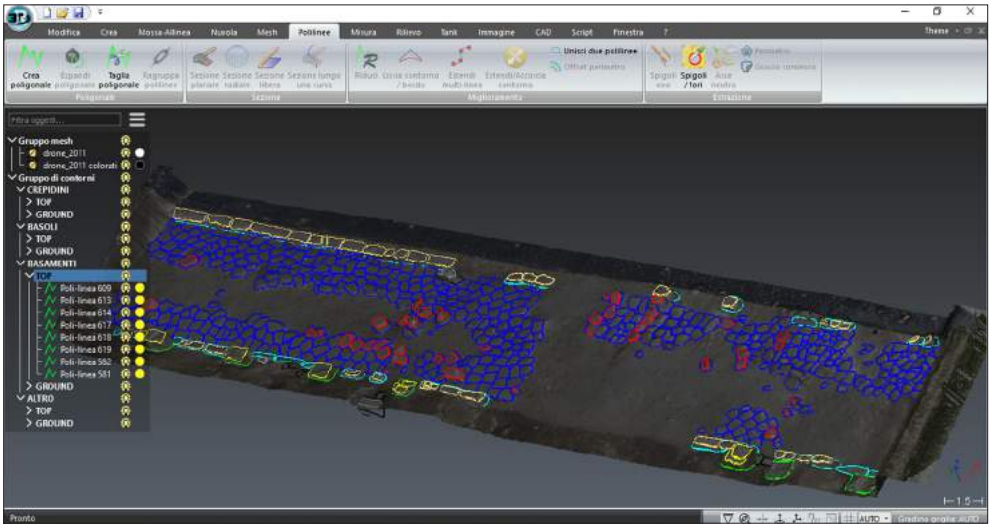
17

18

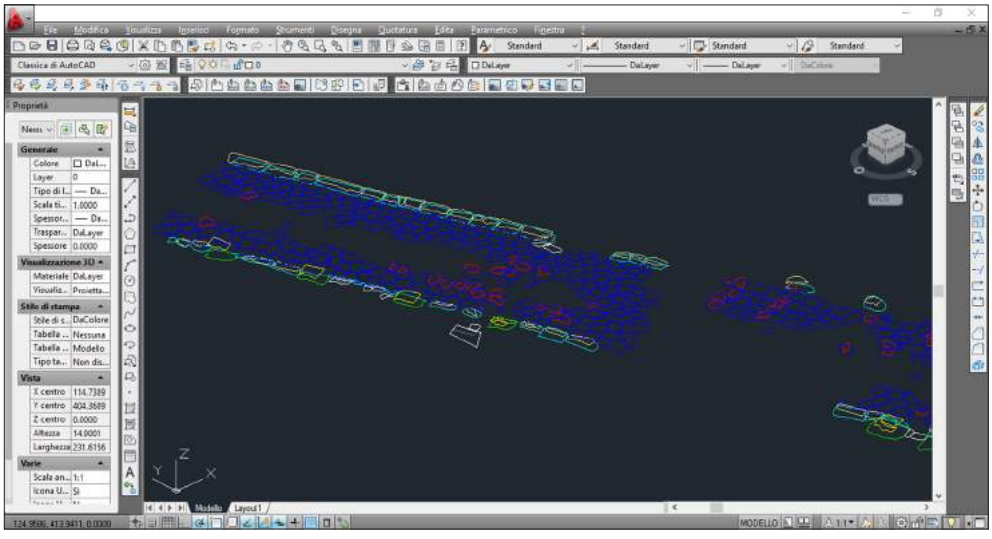
19

20

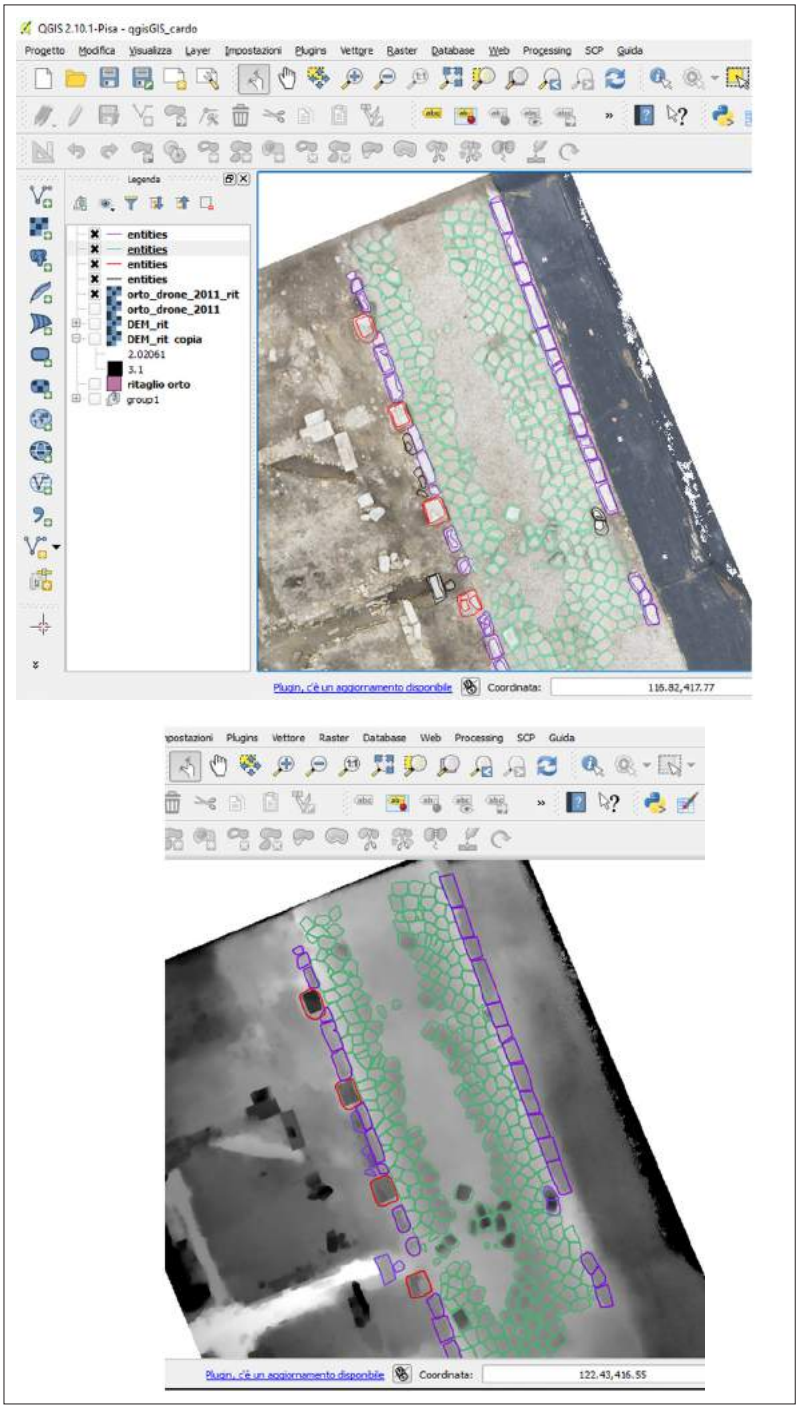

Estrattore edifici
Estrai piano
Tolleranza di estrazione: 0.0615
Calcolando con 368 punti; Distanza del punto peggiore usato nel calcolo: 0.0581; Deviazione Standard: 0.0123
Estrai contorno del piano
Contorno automatico
Contorno manuale
Convalida il contorno estratto
Vincoli dell'adattamento
Adatta il piano orizzontale
Adatta il piano verticale
Adatta il piano normale lungo l'asse X
Adatta il piano normale lungo l'asse Y
Visualizza
Mostra la mesh calcolata
Trasparenza:
Nascondi gli oggetti di input
Mostra i bordi estratti
Rimuovi i punti/triangoli estratti
Annulla
Ripeti
OK
Annulla
+0.0581
+0%
+0.0435
+6%
+0.029
+13.9%
+0.0145
+0.6%
+0
-0.0145
+10.1%
-0.029
+1.8%
-0.0435
+0.272%
-0.0581
+0%
Non definito



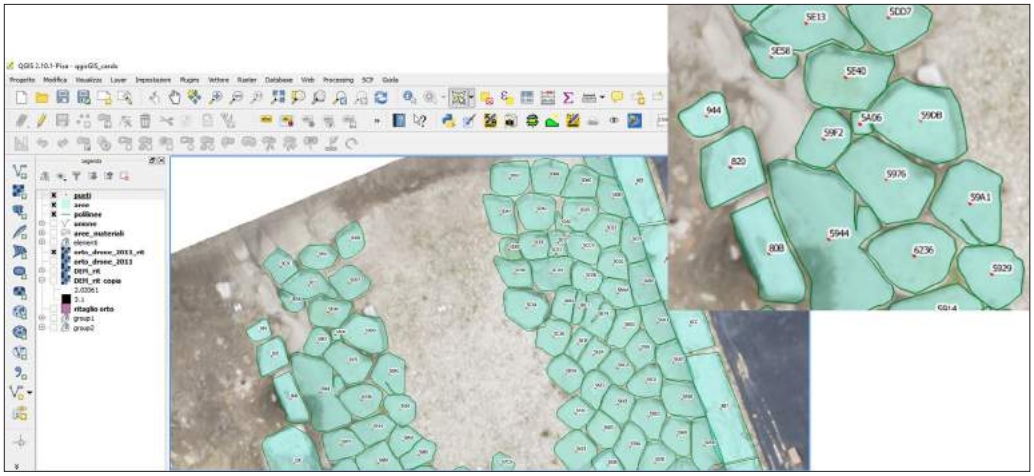
21a



21b


QGIS 2.10.1-Pisa - qgisGIS_cardo
Progetto Modifica Visualizza Layer Impostazioni Plugins Vettore Raster Database Web Processing SCP Guida
Legenda
entities
entities
entities
entities
orto_drone_2011_rit
orto_drone_2011
DEM_rit
DEM_rit copia
2.02061
3.1
ritaglio orto
group1
Plugin, c'è un aggiornamento disponibile
Coordinata:
116.82,417.77
Impostazioni Plugins Vettore Raster Database Web Processing SCP Guida
Plugin, c'è un aggiornamento disponibile
Coordinata:
122.43,416.55

21c


SE13
5DD7
5E58
5E40
944
5406
59D8
59F2
820
5976
59A1
5944
808
6236
5929

22a

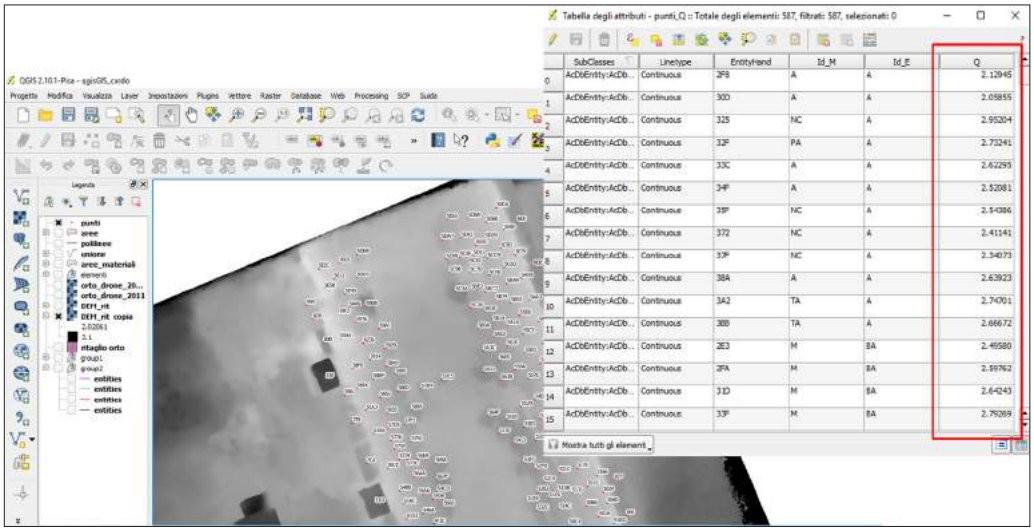
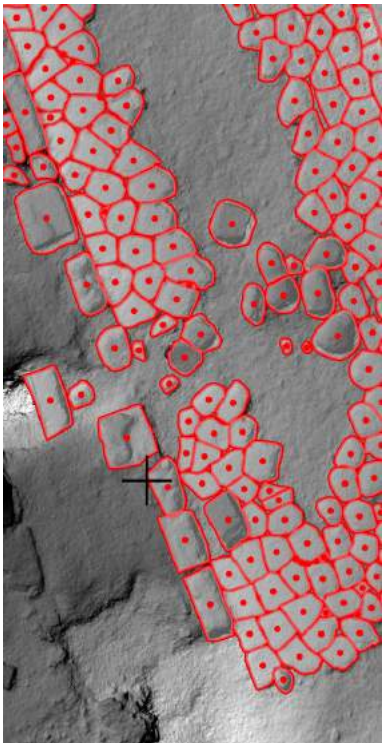


Tabella degli attributi - punti_Q :: Totale degli elementi: 587, filtrati: 587, selezionati: 0
SubClasses
Linetype
EntityHand
Id_M
Id_E
Q
Mostra tutti gli elementi

22b

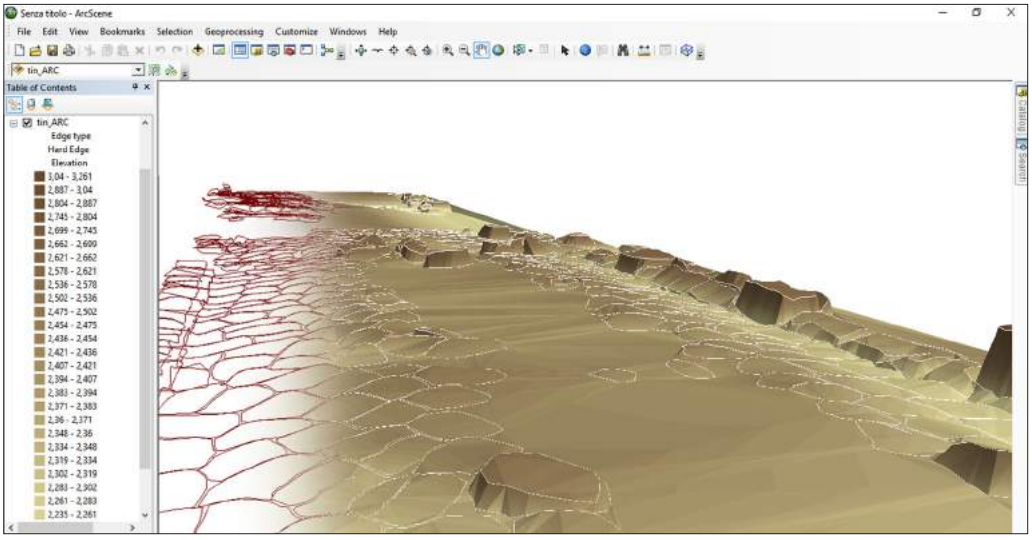
110
120
410
400
390
380
0 1 2 3 4 5 m

23a

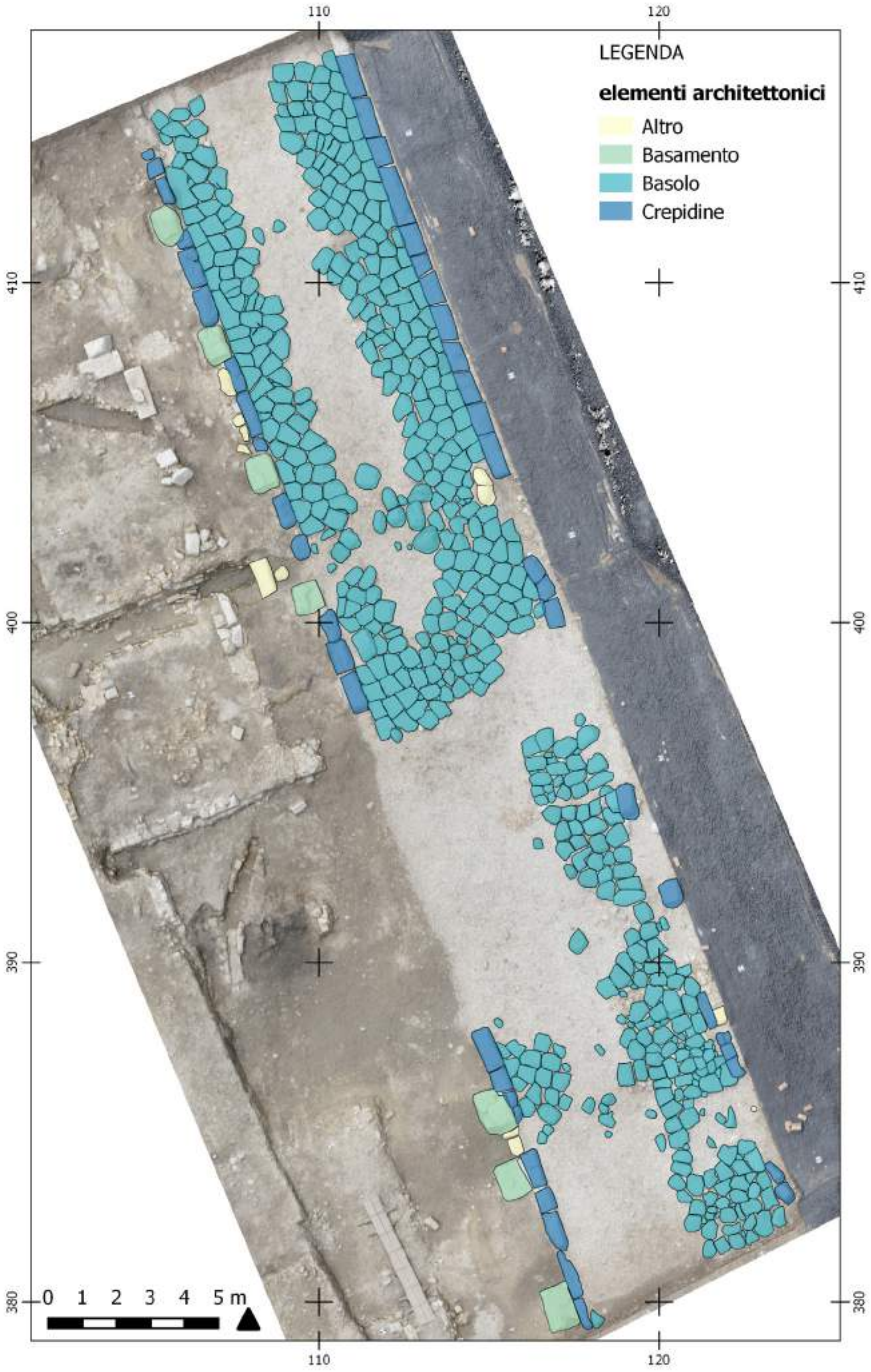


23b

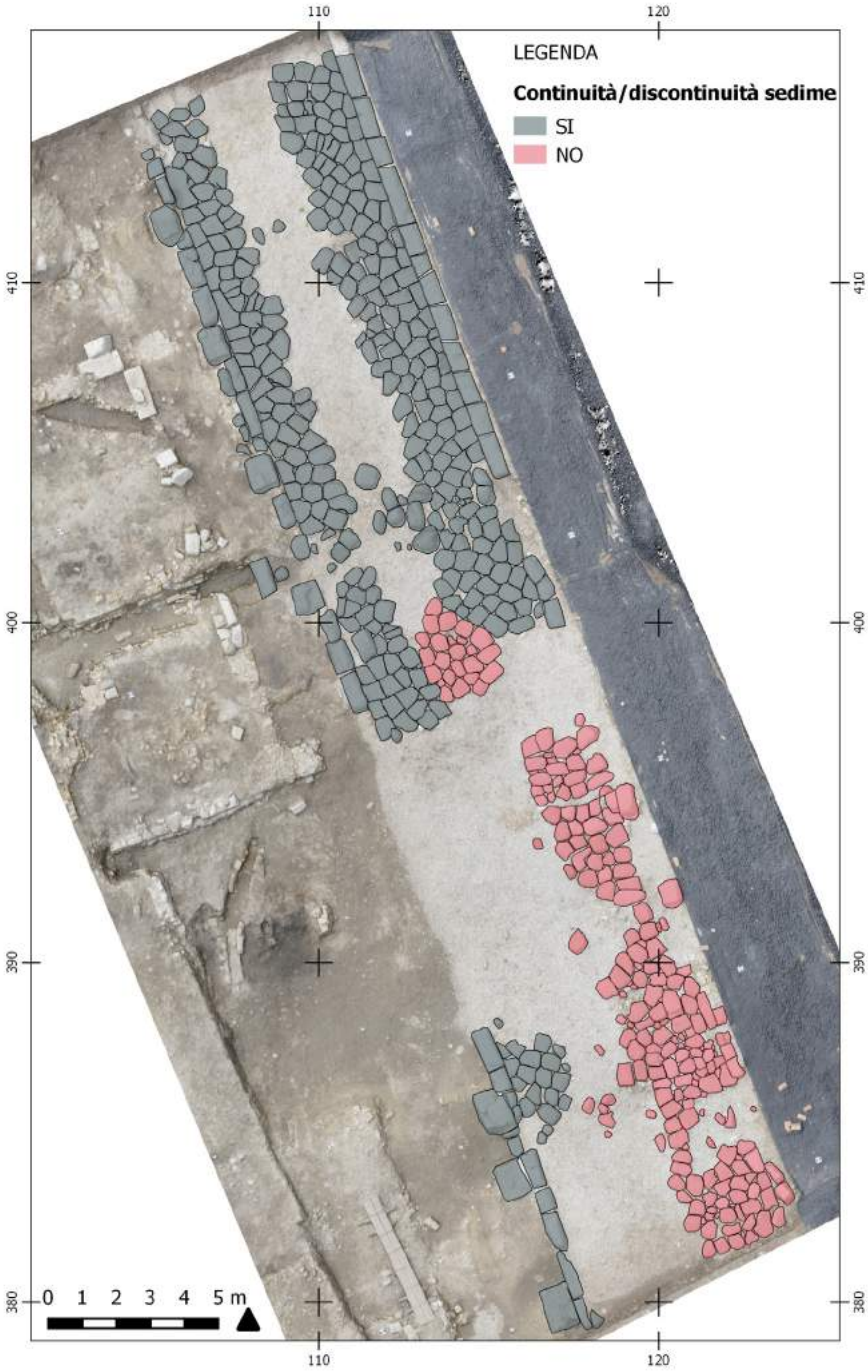
24


Senza titolo - ArcScene
File Edit View Bookmarks Selection Geoprocessing Customize Windows Help
tin_ARC
Table of Contents
tin_ARC
Edge type
Hard Edge
Elevation
3,04 - 3,261
2,887 - 3,04
2,804 - 2,887
2,745 - 2,804
2,699 - 2,745
2,662 - 2,699
2,621 - 2,662
2,578 - 2,621
2,536 - 2,578
2,502 - 2,536
2,475 - 2,502
2,454 - 2,475
2,436 - 2,454
2,421 - 2,436
2,407 - 2,421
2,394 - 2,407
2,383 - 2,394
2,371 - 2,383
2,36 - 2,371
2,348 - 2,36
2,334 - 2,348
2,319 - 2,334
2,302 - 2,319
2,283 - 2,302
2,261 - 2,283
2,235 - 2,261
Catalog
Search

25a


110
120
LEGENDA
elementi architettonici
Altro
Basamento
Basolo
Crepidine
410
400
390
380
0 1 2 3 4 5 m

25b


110
120
LEGENDA
Continuità/discontinuità sedime
SI
NO
410
400
390
380
0 1 2 3 4 5 m

25c

110
120
LEGENDA
Tipi litici
Arenaria
Misto
Marmo Pentelico
n.c.
Pietra di Aurisina
Trachite Euganea
410
400
390
380
0 1 2 3 4 5 m