UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRIESTE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
DOTTORATO DI RICERCA IN GEOMATICA E SISTEMI INFORMATIVI TERRITORIALI
XXI°CICLO (ICAR06)

LE STRUTTURE FLUVIALI DEL PORTO ROMANO DI AQUILEIA

IMPLEMENTAZIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO PER LA GESTIONE DI DATI ARCHEOLOGICI, DATI LASER SCANNER, PROFILI GEORADAR, ANALISI STRATIGRAFICHE

Dottorando:
Ing. Massimo IANSIG

Tutore:
Chiar.mo Prof. Raffaela CEFALO
(Università degli Studi di Trieste)

Co-tutore:
Chiar.mo Prof. Marie Brigitte CARRE
(CNRS Aix en Provence)

Coordinatore:
Chiar.mo Prof. Giorgio MANZONI
(Università degli Studi di Trieste)

a.a. 2007/2008

La tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale concorrono a preservare la memoria della comunità nazionale e del suo territorio e a promuovere lo sviluppo della cultura.

D.Lgs. 22/01/2004 n.42,recante il
" Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio"
(art.1, comma 2)

Indice

Premessa. 6

Abstract. 7

Capitolo 1. Il progetto

1.1 Introduzione. 9

1.2 Le ricerche sul Porto Fluviale. 9

1.3 Scelta di una struttura SIT. 14

1.3.1. Analisi dei dati. 15

1.3.2. Organizzazione del progetto. 17

1.4 Basi cartografiche, dati vettoriali e raster. 24

1.4.1 Formati vettoriali e raster. 24

1.4.2 Cartografia vettoriale di riferimento. 25

1.4.3 Cartografia raster. 26

1.5 Georeferenziazione. 28

1.5.1 Esempio di Georeferenziazione. La mappa archeologica del '34. 30

1.6 Database. 35

Capitolo 2. I dati coinvolti

2.1 La cartografia storica. 43

2.2 I dati geofisici e paleogeomorfologici. 52

2.2.1 I dati geofisici indiretti. 60

2.2.2 Area di indagine. 61

2.2.3 Interpretazione dei dati georadar. 66

2.2.4 Interpretazione dei profili geoelettrici. 68

2.2.5 Il Ground Penetrating Radar (GPR). 71

2.2.5.1 Principi di funzionamento. 72

2.2.6 Indagini geoelettriche. 77

2.2.6.1 La resistività elettrica delle rocce. 78

2.3 I dati laser scanner. 81

Capitolo 3. Le possibili evoluzioni

3.1 WebGis. *87*

3.2 Mapserver. *91*

3.3 PostGis. *93*

3.4 MS4W. *94*

Capitolo 4. La storia degli scavi

4.1 Le Strutture Portuali. *97*

4.2 La storia di Aquileia. *106*

Conclusioni. *110*

Allegati. *112*

Bibliografia. *155*

Premessa

Obiettivo di questa Tesi di Dottorato di Ricerca è stato quello di individuare e fornire agli archeologi dell'École Française de Rome, del CNRS Aix en Provence, e più in generale agli studiosi impegnati sul territorio aquileiese, uno strumento informatico adatto all'organizzazione, archiviazione, visualizzazione, studio e confronto delle esperienze multidisciplinari maturate in questo territorio nel corso degli anni. Il contesto in cui si sono evolute e sovrapposte queste esperienze è quello relativo all' individuazione e caratterizzazione delle strutture del Porto Fluviale romano.

La ricerca, inserita nell'ambito di un progetto PICS (Programme International de Coopération Scientifique), è partita dai più recenti risultati ottenuti proprio in questo contesto e si è inoltrata nel XIX e XX secolo per individuare e acquisire, presso Istituzioni, Dipartimenti ed Enti, sia italiani che esteri, materiale documentale e tecnico di supporto. La consistente mole di informazioni reperite è stata organizzata in un SIT pensato e costruito in un clima di costante collaborazione e confronto con l'utente finale, l'archeologo. Fin dall'inizio dell'esperienza si è, infatti, imposto di realizzare non tanto un'applicazione informatica, quanto uno strumento per la gestione di dati archeologici come mezzo di ricerca per la produzione di nuova conoscenza. I risultati ottenuti rappresentano il primo passo verso un'auspicata condivisione di informazioni in una piattaforma comune e verso la maggiore integrazione tra discipline tecniche ed umanistiche.

Abstract

The objective of this PhD thesis was to provide the archaeologists of the École Française de Rome, of CNRS Aix en Provence, and all those who carry out research on the territory of Aquileia with a tool enabling them to organize, store, visualize, share and compare the findings of a multitude of disciplines involved - their common subject being the ancient structures of the Fluvial Port of Aquileia. The study was carried out in the framework of a PICS-project and is based on the most recent findings on Roman Time - Aquileia, yet covering its complete history until the 19th and 20th century. Several institutions, departments and bodies both in Italy and abroad have been consulted for documents and technical support material. The result was an exhaustive collection of documents that was successively re-organised in a SIT-system, which had been created through constant exchange and consultation with the final user - the archaeologist himself. From the very outset the objective was not to create a mere IT application, but rather a tool for the efficient management of archaeological data which may in itself become an instrument for research and lead to new findings. The study ultimately proposes itself as a first step towards a better sharing of information through a common platform and better integration of technical and humanistic disciplines.

Abbreviazioni

- CNRS *Centre National de la Recherche Scientifique (Aix en Provence)*
- CTRN *Carta Tecnica Regionale Numerica*
- DBMS *Data Base Management System*
- DICA *Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale*
- DISGAM *Dipartimento di Scienze Geologiche, Biologiche e Marine*
- DSA *Dipartimento di Scienze dell'Antichità*
- EFR *Eçole Francaise de Rome*
- ETL *Extract, Transform, Load*
- GIS *Geographic Information System*
- GPR *Ground Penetrating Radar*
- GPS *Global Positioning System*
- ICCD *Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione*
- INFN *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare*
- MAN *Museo Archeologico Nazionale di Aquileia*
- MGR *Muon Ground Radiography*
- OGS *Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale*
- PICS *Programme International de Coopération Scientifique*
- SARA *Subaquea Archeologia Romana Aquileia*
- SIGEC SI*stema nazionale per l'acquisizione e la GEstione integrata delle Conoscenze sul patrimonio culturale italiano*
- SIT *Sistema Informativo Territoriale*
- SQL *Structured Query Language*

Capitolo 1
Il progetto

1.1 Introduzione.

Il primo aspetto di questa esperienza è stato quello di individuare e chiarire quali fossero gli obiettivi della ricerca condivisi con *l' École Française de Rome (EFR)* e il *CNRS*: la realizzazione di un supporto informatico in grado di riunire ed organizzare tutti i dati e le informazioni riguardanti le strutture del Porto Fluviale romano di Aquileia. Le caratteristiche e la qualità di questo supporto non sono state definite in questa fase preliminare ma si sono concretizzate solo nel prosieguo del progetto, una volta individuati e raccolti tutti i dati disponibili. Il passo successivo è stato quello di circoscrivere il contesto nel quale si sarebbe concretizzata questa esperienza, individuare quante e quali fossero le ricerche svolte sul territorio e utili al perseguimento dell' obiettivo, quali i soggetti e le istituzioni coinvolte e quali le possibili fonti di dati ed informazioni.

1.2 Le ricerche sul Porto Fluviale.

Il Porto Fluviale di Aquileia è considerato, nella letteratura archeologica, uno degli esempi meglio conservati del mondo romano.
Lo studio di questo complesso ha visto negli ultimi anni l'avvicendamento di ricerche multidisciplinari volte alla ricostruzione del paesaggio antico ed in particolare del sistema integrato delle vie d'acqua.

Già in passato vecchie ipotesi sulla portualità aquileiese ponevano sulla carta topografica di Pietro Kandler (1869)[1] due grandi zone portuali ad est e ad ovest del *cardo maximus,* rispettivamente il "porto delle navicelle" e il "porto delle navi". Kandler si basa sulle osservazioni fatte dai fratelli Zuccolo nel 1806,

[1] KANDLER P., *De Aquileia romana*, "Atr", 12 (1869-1870), pp. 93-140.

evidenziando l'origine artificiale del canale Anfora e le divagazioni del fiume Isonzo ipotizzando una quantomeno parziale circumnavigabilità della città.

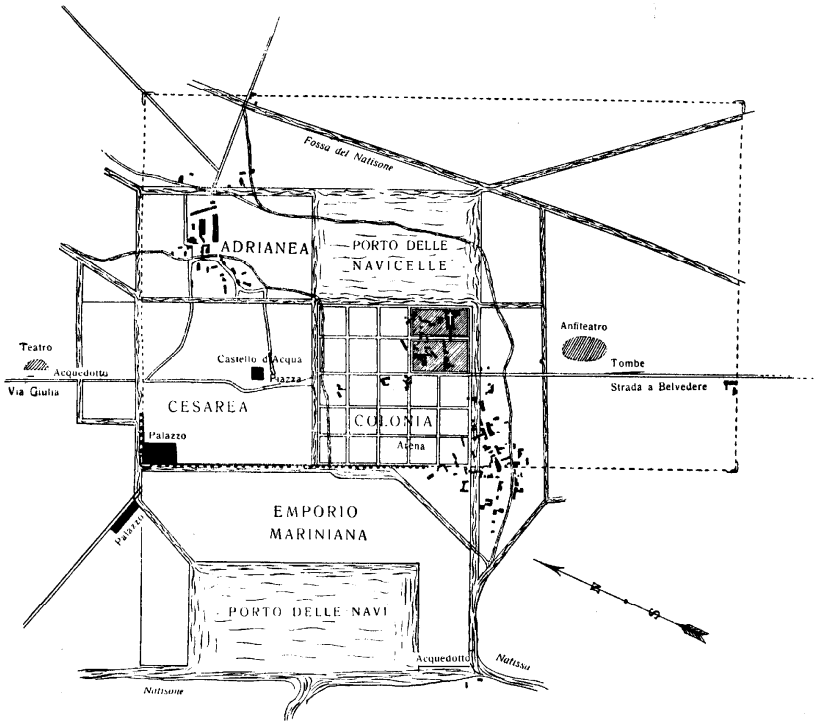


Fig. 5 - Pianta di Aquileja romana. (Indicazioni del Dott. Kandler).

1. Carta topografica Kandler(1869).

Le ricerche odierne si basano sulle esperienze di Giovanni Brusin che, sulla scorta delle scoperte del Kandler, tentò di correlare i resti con le fonti antiche. E' infatti l'archeologo Giovanni Brusin che negli anni '30 riconosce e scava il porto fluviale e sempre a lui va riconosciuto il merito della valorizzazione dell'imponente manufatto con la realizzazione della passeggiata archeologica posizionata nell'alveo del fiume ed ottenuta con il materiale di risulta dello scavo stesso. I dati archeologici in attualmente disponibili derivano quasi esclusivamente dagli scavi fatti nella prima metà del XX secolo grazie ai quali sono state mese in luce strutture conservate su un fronte lungo alcune centinaia

di metri[2]. Questa imponente operazione di scavo ha fatto di Aquileia uno dei siti meglio conosciuti per quanto attiene alle strutture portuali; tuttavia le tecniche allora impiegate impediscono di precisare e datare con esattezza le modificazioni di questo complesso.

Negli anni '90 è iniziato, sotto l'impulso del Ministero per i beni e le Attività Culturali[3] in collaborazione con diversi partner dell'Università di Trieste appartenenti ai Dipartimenti di Scienze Geologiche, Biologiche e Marine (DISGAM) e di Ingegneria Civile ed Ambientale (DICA)[4] , un programma che si propone di definire l'evoluzione dei paesaggi recenti e in particolare della rete idrografica. Si sono associati di seguito gli archeologi e gli storici che hanno lavorato dopo il 1991 ad uno scavo archeologico programmato sul sito del porto fluviale[5], i geografi dell'Université Paris-7[6] e, infine, il Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste[7]. Questo partenariato è stato formalizzato nel 2001 con la firma di un accordo di studi e di ricerca, rinnovato nel 2006. Dal 2005 al 2007, questo programma ha beneficiato di un finanziamento accordato dal CNRS[8] nell'ambito di un "Programme International de Coopération Scientifique" (PICS) dal titolo "Recherches paléoenvironnementales sur le territoire d'Aquilée (Italie nord-orientale) dans l'Antiquité "[9].

---

[2] CARRE M. B., MASELLI SCOTTI F, *Il porto di Aquileia: dati antichi e ritrovamenti recenti,* in "Antichità Altoadriatiche", XLVI (2001), Trieste 2001, pp. 211-243.

(*) Centre Camille Jullian, CNRS – Aix – Marseille Université.

(**) Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università degli Studi di Trieste. (***) Dipartimento di Scienze dell'Antichità dell'Università degli Studi di Trieste.

[3] Progetto SARA (Subaquea Archeologia Romana Aquileia) condotto da F. Maselli Scotti, direttore del Museo Archeologico Nazionale di Aquileia, per la Sovrintendenza pei i Beni Archeologici del Friuli – Venezia Giulia.

[4] R. Marocco (geologo), N. Pugliese (paleontologo), M. Pipan e S Prizzon (geofisici) per il DISGAM; G. Manzoni e R. Cefalo per il DICA.

[5] Scavo dato in concessione all' *École Française de Rome* (EFR), diretto da C. Zaccaria, professore di epigrafia (Dipartimento di Scienze dell'Antichità - DSA - dell'Università di Trieste) e M. B. Carre (Centre Camille Jullian - CCJ, CNRS – Aix – Marseille Université). Al DSA sono associati P. Maggi e F. Oriolo, post-dottorande all'EFR, C. Rousse, dottoranda al CCJ, M. Sternberg e C. Machebeuf.

[6] G. Arnaud Fassetta (équipe "Dynamique des milieux et risques", PRODIG, CNRS – Université Paris-7) e I. Siché, dottoranda.

[7] Prof. G. Giannini

[8] Centre National de la Recherche Scientifique

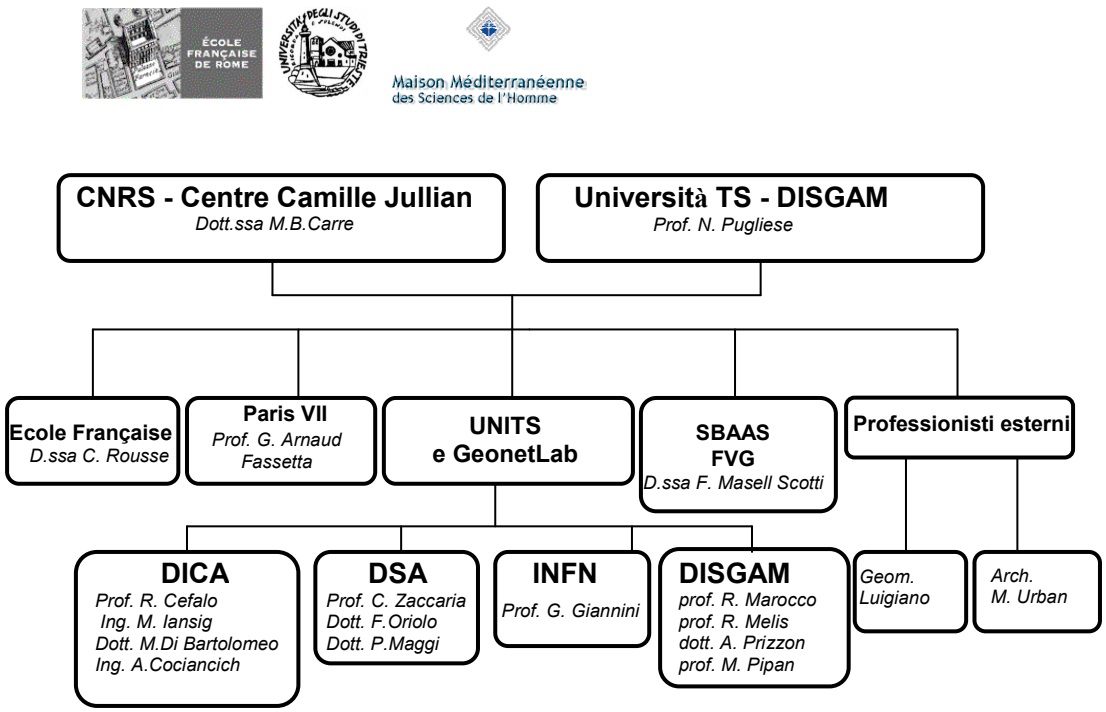
[9] Ricerche paleoambientali sul territorio di Aquileia nell'antichità. PICS 3064 del CNRS, coordinato da M. B. Carre e N. Pugliese.

Le ricerche si fondano su elementi molto vari, che vanno dal sondaggio geomorfologico alla ricostruzione dei tracciati dei "paleocanali", dalla prospezione di superficie allo scavo archeologico, dalla cartografia storica al rilievo laser scanner da elicottero. I principali obiettivi scientifici delle ricerche svolte in questi anni sono molteplici:

- georiferire con precisione *le vestigia archeologiche* sul territorio di Aquileia. L'obiettivo perseguito dagli archeologi è quello di posizionare le evidenze archeologiche in relazione alla rete idrografica, associata alla rete viaria, ai ponti e alle vestigia attinenti ai corsi d'acqua. È necessario differenziare ciò che può essere georiferito con tecniche topografiche classiche e satellitari (*GPS*) da ciò che è di pertinenza dei documenti d'archivio (rilievi e disegni di scavo) relativi a vestigia scavate nel passato, spesso ricoperte e referenziate in rapporto al catasto antico;
- posizionare i *dati geologici e geomorfologici* (stratigrafia dei carotaggi; carta geomorfologica della laguna in corso d'archiviazione dal DISGAM); posizionare i *dati geofisici* (le principali sezioni GPR, immagini 3D, carte di resistenza e anomalie magnetiche, carte dei fondali delle zone sommerse);
- creare una carta *dell'idrografia antica e recente* che tenga conto degli elementi appena elencati.

Archeologo, geodeta, geofisico, geologo, storico. Questo il profilo dell' eterogeneo mondo degli specialisti che esercitano o hanno esercitato negli anni le loro esperienze di studio e di ricerca ad Aquileia, spesso senza un coordinamento comune e senza una condivisione dei risultati ottenuti. Queste prime osservazioni hanno permesso, infatti, di individuare non tanto la

tipologia dei dati disseminati sul territorio, quanto l'organigramma delle istituzioni e dipartimenti coinvolti e di evidenziare quello che si sarebbe dimostrato il maggiore vincolo nel prosieguo della ricerca: la diversità delle fonti e, in misura maggiore, la difficoltà di accesso e di condivisione di alcune tipologie di dati ***(2)***. Inoltre, l'esigenza evidenziata di posizionare le vestigia archeologiche anche rispetto alla cartografia del passato, in particolar modo quella catastale, ha aperto un ulteriore filone della ricerca: il censimento e l' acquisizione della cartografia storica diffusa sul territorio.



2. Organigramma PICS 3064.

Parallelamente lo scrivente si è mosso alla ricerca di esempi e di esperienze simili nella gestione di informazioni archeologiche scoprendo che l'informatizzazione è oggi uno dei principali argomenti di discussione in Archeologia. A livello disciplinare, stenta però ad affermarsi come un sistema di documentazione necessario ed imprescindibile per governare la mole enorme di dati prodotti. La crescita e lo sviluppo di queste esperienze si abbinano

soprattutto a rare iniziative singole e non su progetti organici. Questa ricerca si è quindi evoluta in un ambito pressoché inesplorato ma ricettivo a proposte innovative per la gestione del dato archeologico.

1.3 Scelta di una struttura SIT.

Da queste considerazioni si sono evolute le prime ipotesi sui requisiti e sulle prestazioni del supporto informatico condizionate dai principali vincoli evidenziati:

- la diversità delle fonti, causa di problemi relativi alla coerenza e dell'incrocio delle informazioni;
- le scale di rappresentazione in funzione delle domande specifiche di ciascun specialista (archeologo, geodeta, geofisico, geologo, storico, etc.);
- georeferenziabilità e georeferenziazione del dato ovvero del suo posizionamento rispetto un sistema di riferimento cartografico opportuno.

Per rispondere a questi vincoli, la scelta di Sistema Informativo Territoriale (SIT) che permetta di integrare a diversi livelli di precisione i dati di ciascun tematismo, rappresenta la soluzione ottimale, oltre a definire, finalmente, un punto di raccolta di tutte le informazioni inerenti le strutture portuali.

I SIT connotano una particolare tipologia di raccolta di dati relativi ad un territorio nella quale gli archivi sono ordinabili e rintracciabili in funzione del loro riferimento spaziale, della loro localizzazione, attraverso la loro georeferenziazione. La loro finalità non risiede tanto nella costituzione di collezioni di dati, quanto nella precisa funzione di fornire un valido supporto alle decisioni, all'orientamento delle scelte nel governo del territorio, sfruttando la capacità di stabilire ed elaborare relazioni spazio-temporali dinamiche e interattive. Risultano pertanto uno strumento insostituibile nell'analisi delle trasformazioni del territorio e nella gestione efficace e sistematica di tutti i tipi di dato archeologico. La georeferenziazione permette di posizionare in modo preciso e quindi di sovrapporre le evidenze archeologiche, su una base

cartografica comune. Permette inoltre di definire ulteriori strati informativi per il posizionamento di dati storici, idrografici, geofisici, fotografici onorando l'ingente mole di informazioni fino ad oggi prodotte.

1.3.1 Analisi dei dati.

Individuato il percorso da seguire e le fonti accreditate, il passo successivo, a tratti il più difficoltoso, è stato quello di acquisire i dati per analizzarne i contenuti e le caratteristiche: tipologia, quantità, qualità, formato, georeferenziabilità, sistema di riferimento. Complessivamente sono state enucleate 15 tipologie di informazioni variamente suddivise ***(3):***

Tipologia	Formato	Georeferenziabilità
Dati georadar	raster	No
Dati laser scanner	raster	Si
Dati gps	vector	Si
Testi archeologici	testo	No
Foto archeologiche	raster	No
Mappe archeologiche raster *georiferite*	raster	Si
Mappe archeologiche raster *non georiferite*	raster	No
Mappe archeologiche vector	vector	Si
Dati carotaggi	raster	Si
Profili stratigrafici	raster	Si
Mappe catastali	raster	No
Cartografia antica *georiferita*	raster	Si
Cartografia antica *non georiferita*	raster	No
Dati di archivio	testo	No
Immagini di archivio	raster	No

3.Tipologia dati coinvolti.

Particolare attenzione è stata posta all'analisi del requisito di georeferenziabilità del dato a prescindere dal sistema di riferimento adottato. In particolare si è valutato quali dati fossero già georeferenziati e quali fossero georeferenziabili o non georeferenziabili, per le inevitabili conseguenze sulla elaborazione, sulla visualizzazione e sulle eventuali campagne di georeferenziazione in situ.

Tutti i dati strettamente archeologici, riferiti in buona parte alla campagna di scavi S.A.R.A., godono di una georeferenziazione puntuale, ovvero di una coordinata baricentrica rispetto alla struttura osservata, in coordinate Gauss-Boaga. I dati di posizionamento dei carotaggi sono per loro natura puntuali, in coordinate Gauss-Boaga per quanto riguarda le campagne di rilievi eseguiti negli anni '90. Gli ultimi carotaggi eseguiti in località Monastero e Beligna nel 2003 sono stati posizionati dalla sezione di Topografia (prof. R. Cefalo) del DICA con la campagna di rilievi *gps* nell'estate 2006 e successivamente trasformati in coordinate Gauss Boaga integrando così il dbase dei carotaggi lacunoso in merito agli ultimi rilievi. Analogo sistema di riferimento è stato utilizzato per i profili georadar e geoelettrici e per i rilievi laser scanner. Partendo da questi presupposti tutte le strutture georeferenziate vengono indicate sulla cartografia di riferimento del SIT attraverso l'individuazione di una entità spaziale *point*, ovvero attraverso la posizione di un punto senza alcuna informazione dimensionale.

Diverso l'approccio per le mappe e la cartografia storica raster ottenute da scansione. Ogni elemento della cartografia deve, infatti, essere importato nel progetto come nuovo tema e successivamente referenziato rispetto al sistema cartografico nazionale Gauss-Boaga con un opportuno procedimento di georeferenziazione. Tale procedura impone di individuare dei punti noti, detti punti di controllo, distribuiti in modo uniforme nell'ambito delle singole mappe e noti nei due sistemi per poter generare un file rettificato da utilizzare come layer indipendente.

Analizzate le caratteristiche dei dati, bisogna definirne le reciproche relazioni attraverso la costruzione di un database spaziale. Questa fase è stata gestita a stretto contatto con gli archeologi coinvolti e coerentemente con gli standard normalmente adottati ed imposti dalla Soprintendenza FVG per la catalogazione dei beni archeologici in ambito aquileiese. Purtroppo il mancato impiego di uno standard ICCD *(Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione)* per la catalogazione dei beni archeologici limita l'eventuale evoluzione ed integrazione del database spaziale con altri archivi geografici ma ,al contempo, non stravolge le normali abitudini degli archeologi coinvolti e le l'assetto dei dati, in formato cartaceo, già in loro possesso. Partendo da questa struttura di base è stato quindi necessario correlare tutti i dati non strettamente archeologici con opportune relazioni individuate e condivise con gli esperti coinvolti. Ad ogni entità geografica corrisponde quindi un record o una serie di record in relazione tra loro. Nelle tabelle del *database* è incluso un identificativo corrispondente all'oggetto "entità spaziale" rappresentato nel nostro caso dal punto. L'identificativo costituisce la chiave di connessione tra informazioni, fotografie, testi e altri attributi e l'entità contenuta nel nostro caso all'interno della tabella cardine *Unità Topografica* rappresentativa della informazione archeologica minima.

Da queste considerazioni sulle caratteristiche dei dati, sulle loro reciproche relazioni, sui requisiti di visualizzazione indicati dai futuri fruitori è iniziata la costruzione del SIT. La scelta del software è ricaduta su ArcGIS 9.1 prodotto dalla ESRI in quanto disponibile presso il DICA e per la possibilità di fruire di corsi di formazione direttamente presso l'Ateneo triestino. Al SIT è stato collegato un database relazionale sviluppato in Access 2003 (cap.1.6).

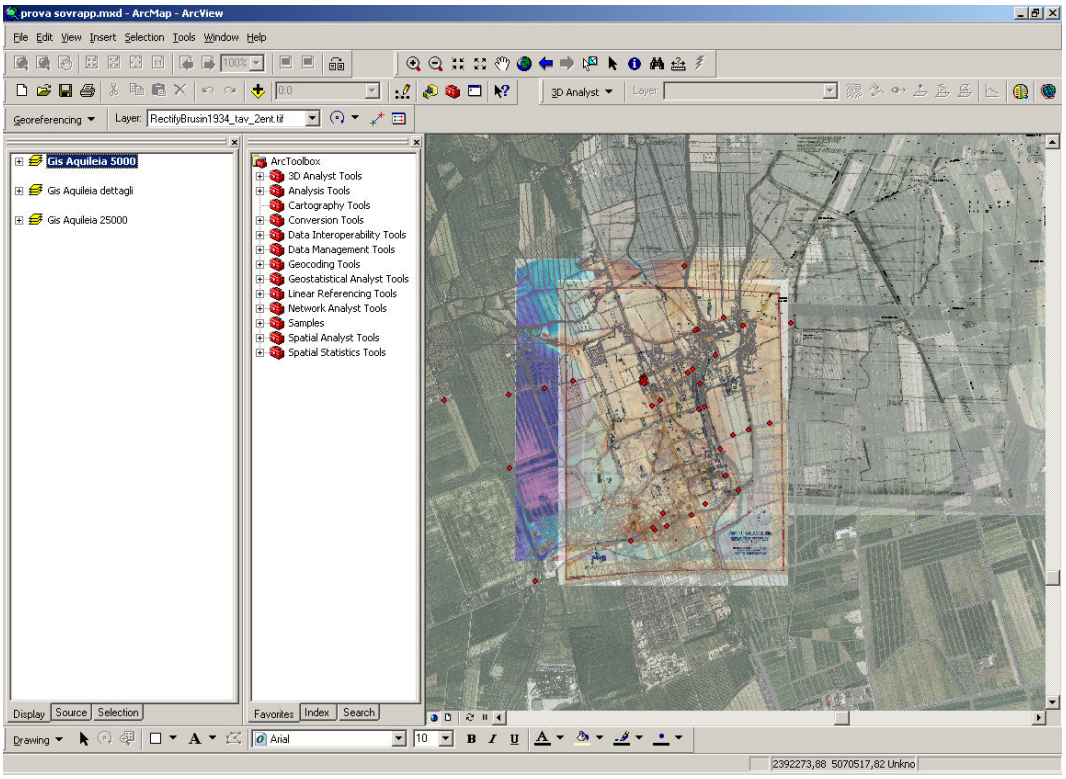
1.3.2 Organizzazione del progetto.

Il principale elemento discriminatorio nell'organizzazione del progetto sono state la cartografia storica e le basi cartografiche vettoriali a disposizione. Il progetto è stato infatti suddiviso in due sottoprogetti di piccola e grande scala

per trattare tipologie di cartografia storica differente. Successivamente il sottoprogetto impostato su base cartografica 1:5000 è stato ulteriormente suddiviso per l'analisi in dettaglio delle porzioni di territorio più densamente popolate da informazioni. Il progetto del Porto Fluviale è quindi suddiviso in tre *Data Frame:*

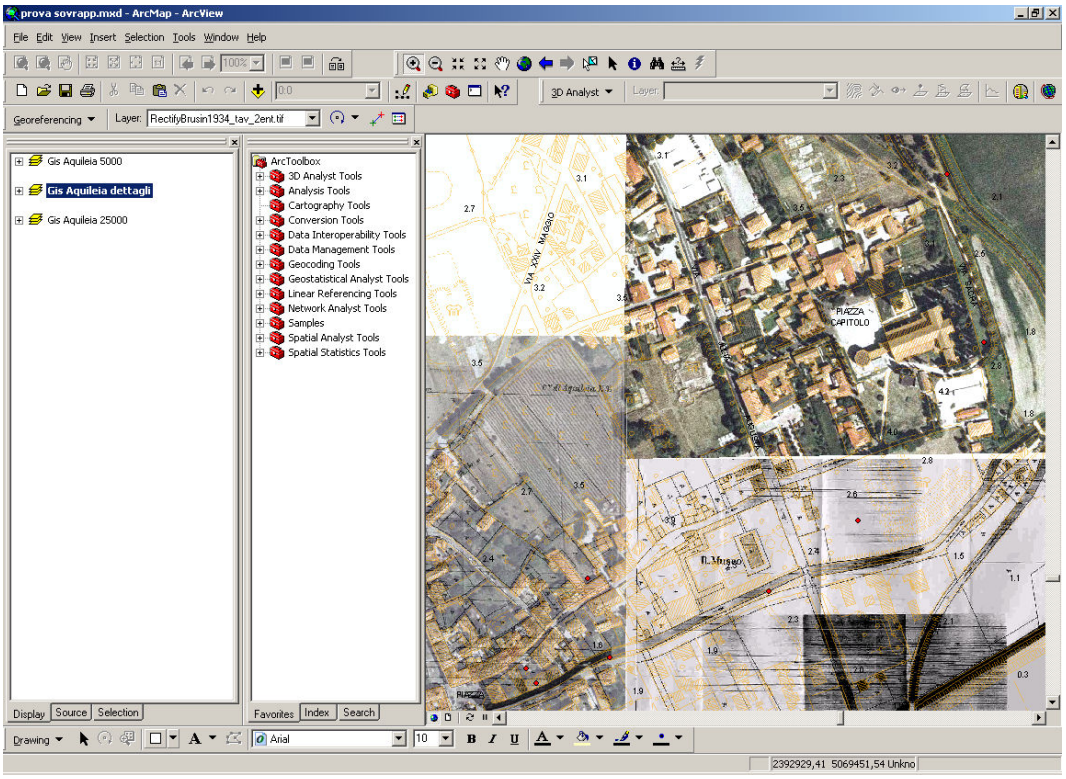
- un *Data Frame* generale su base cartografica CTRN 1:5000 che contiene tutta la cartografia storica riguardante i dati catastali, le mappe archeologiche di Aquileia relative al XIX e XX secolo, il rilievo del porto del Brusin, l'ortofoto e i dati laser scanner ognuno nella sua originaria estensione;
- un *Data Frame* di dettaglio su base cartografica CTRN 1:5000 che enuclea le porzioni di territorio più significative dal punto di vista della sovrapposizione dei dati utilizzando solamente le parti della cartografia storica più utili all'analisi dell'oggetto della ricerca;
- un *Data Frame* su CTR 1:25000 che prende in considerazione una porzione più ampia di territorio tra i fiumi Corno a ovest e Isonzo a est, la linea Cervignano – Villa Vicentina a nord e il mare Adriatico a sud e tenta un difficile confronto con la cartografia storica del XVIII secolo a causa dello scarso contenuto geometrico delle mappe georiferite.

Il *Data Frame* generico su base 1:5000 fornisce una visione d'insieme di tutto il materiale recuperato sovrapposta ai fogli 109011, 109012, 109013, 109014 che abbracciano una porzione di territorio che si estende ad est fino a Fiumicello, a nord fino a Terzo d'Aquileia, ad ovest fino all'imbocco del canale Anfora e a sud fino alla zona di Beligna. Oltre alla già citata cartografia storica e tecnica opportunamente georiferita e rappresentata dai supporti riproposti integralmente, compaiono tutte le informazioni archeologiche puntualmente georiferite e individuate dalla simbologia ArcMap. La visione d'insieme è garantita da differenti livelli di trasparenza dei diversi layers sovrapposti ***(4).***

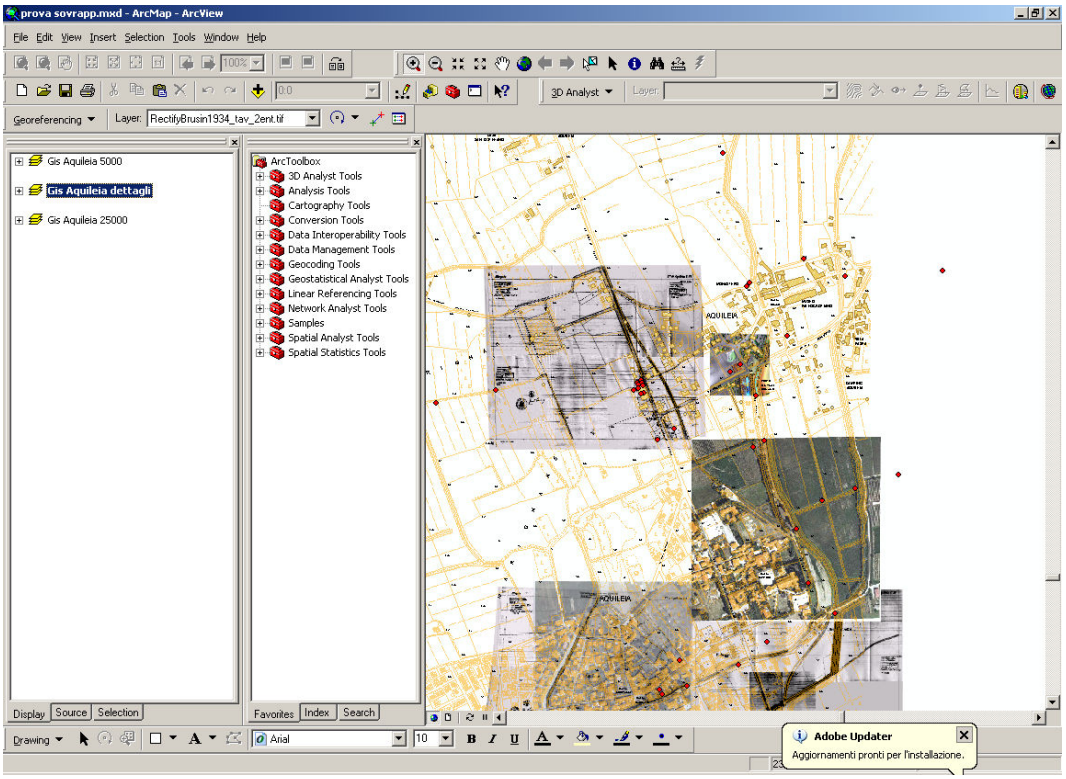


4. SIT Aquileia, Data Frame "generico".

Il dettaglio della singole zone d'interesse è apprezzabile nel successivo *Data Frame* sempre su base 1:5000. Questa porzione del progetto rappresenta già un prima conseguenza delle osservazioni, valutazioni, scelte operate sul *Data Frame* precedente e quindi un primo positivo risultato dell'applicazione del SIT. Dall'analisi della densità e della sovrapposizione di dati effettuate nella prima porzione di progetto sono state, infatti, enucleate le parti del territorio e le informazioni più interessanti ed utili ai fini della ricerca. In questo *Data Frame* sono state ridimensionate o eliminate porzioni di cartografia non necessaria, aggiunti ulteriori elementi di mappe storiche nelle zone di maggiore interesse, testate differenti sovrapposizioni, verificata la congruenza tra informazioni catastali e archeologiche ***(5a_b).***

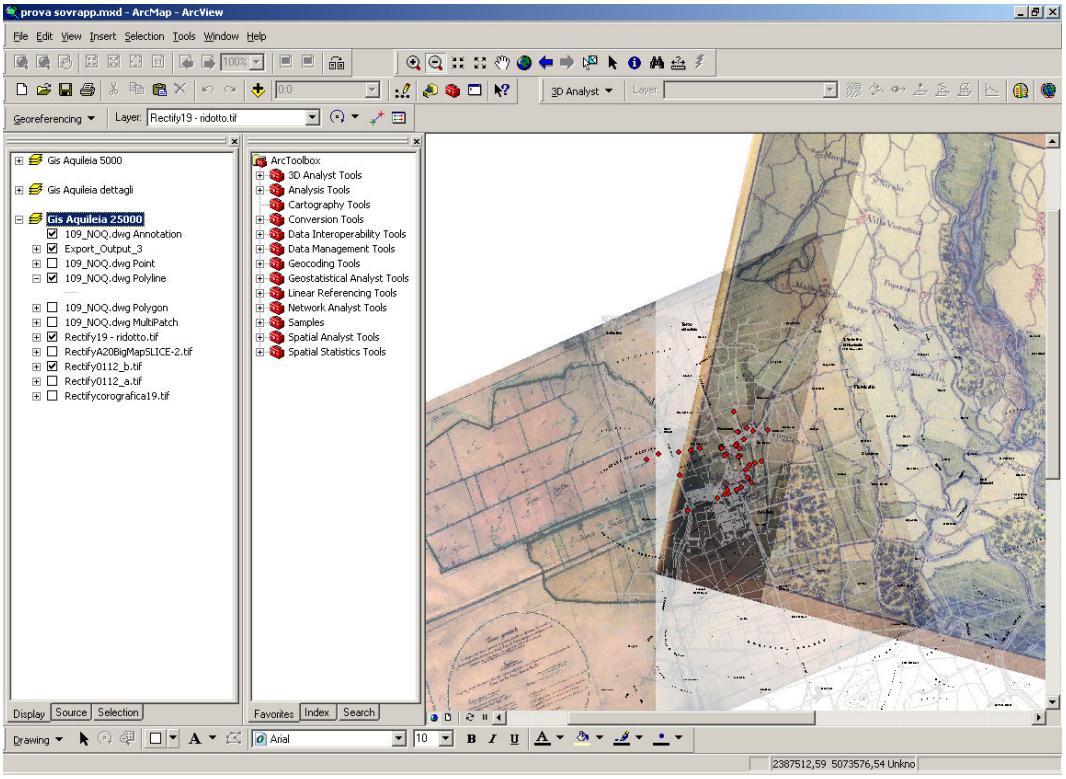


5a. SIT Aquileia, Data Frame di dettaglio.



5b. SIT Aquileia, Data Frame di dettaglio.

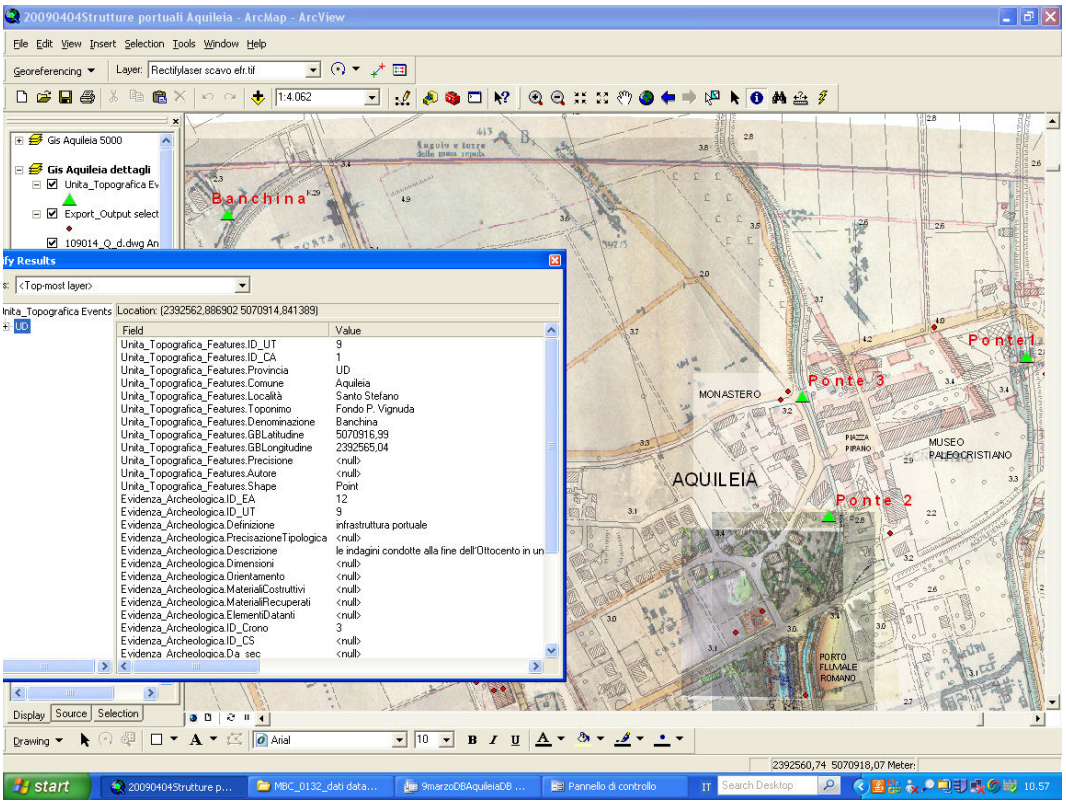
Diverso l'approccio al terzo *Data Frame* su base cartografica 1:25000. L'obiettivo è quello di raccogliere tutta la cartografia di piccola scala onorando così le mappe storiche del XVIII sec. fino ad ora raccolte, verificare le loro caratteristiche geometriche e valutarne la georeferenziabilità. I primi risultati, però, restituiscono mappe molto deformate dalla fase di georeferenziazione e quindi difficilmente sovrapponibili agli altri layers ***(6).***



6. SIT Aquileia, Data Frame su 1:25000.

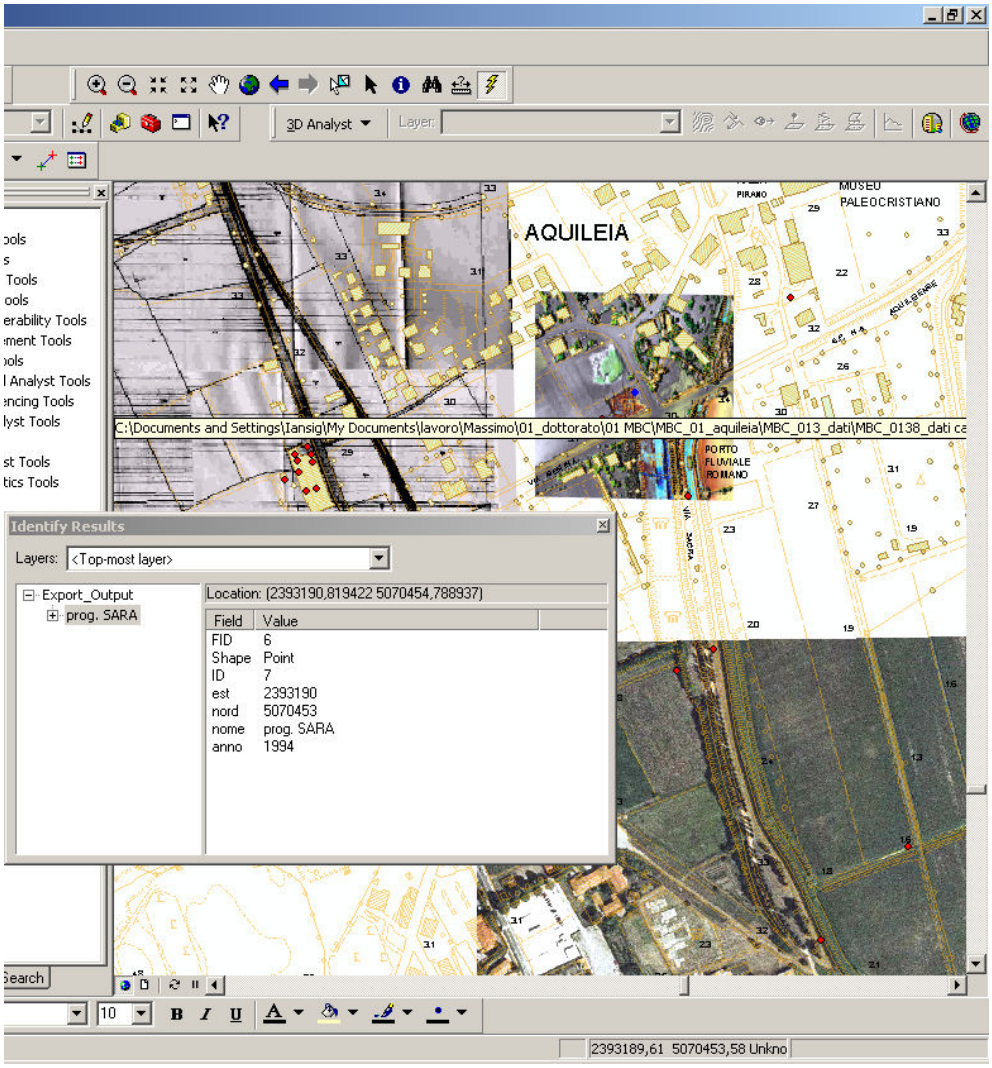
Parte della ricerca prosegue con la creazione di layers frutto di operazioni di *clip* su alcune mappe storiche, laser scanner e ortofoto partendo da *buffers* creati sui dati puntuali riguardanti i carotaggi. Considerato che l'obiettivo archeologico principale di questo progetto è lo studio e l'analisi delle strutture portuali del contesto aquileiese sulla base degli eterogenei dati a disposizione, vengono individuati opportuni intorni dei dati geofisici diretti mediante *buffers* compresi in adeguati intervalli; A partire da questo dato

vengono successivamente enucleate porzioni di territorio mediante una operazione di *clip* sul layer ortofoto. Su questa porzione di territorio, attraverso l'applicazione di *buffers* progressivamente meno estesi si sovrappongono layers derivanti da operazioni di clip rispettivamente su cartografia laser scanner e mappe archeologiche. Si ottengono in questo modo porzioni di mappa archeologica comprese nel raggio di 300 m nell'intorno dei singoli carotaggi, inserite in porzioni di mappa laser scanner nel raggio di 600 m dai carotaggi, inserite a loro volta in porzioni di territorio ritagliate con la prima operazione di clip. I layers sovrapposti sulla mappa catastale permettono in questo modo di visualizzare ed analizzare le sole strutture portuali in relazione diretta con i rilievi geologici diretti e contestualizzarle rispetto al panorama di scavo degli anni '30 confrontandole diacronicamente con il paesaggio attuale.



7. Interrogazione della cartografia mediante lo strumento identifier.

Naturalmente le mappe, opportunamente collegate al database, sono interrogabili attraverso lo strumento *identifier* che permette di accedere alla finestra di descrizione delle singole informazioni afferenti il punto identificato e ad eventuali *links* alla documentazione correlata ***(7).***



8. Links ad ulteriori informazioni collegate al dato.

Questi links permettono ad esempio di accedere alla documentazione relativa alle osservazioni e descrizione dei carotaggi, alle datazioni C14 oppure al video correlato alle fasi del rilievo laser scanner dello scavo EFR a nord del porto ***(8).***

1.4 Basi cartografiche, dati vettoriali e raster.

L' aspetto fondamentale per l'implementazione del SIT ed in particolare per la georeferenziazione del patrimonio archeologico è rappresentato dalla base cartografica; da ciò infatti dipende la successiva costruzione degli strati informativi all'interno del SIT. In questa ricerca le cartografie di riferimento impiegate sono la CTRN 1:5000, la CTR 1:25000, alcuni rilievi in formato DWG eseguiti dalla dott.ssa Bertacchi e dal geom. Luigiano, il rilievo eseguito dall'EFR in collaborazione con il geom. Meng in particolare per la zona a nord del Porto romano. L'intero progetto è riferito al sistema cartografico Gauss-Boaga. Risulta, pertanto, indispensabile che tutta la cartografia, in formato vettoriale o raster, sia riferita o riferibile a tale sistema. Notevole è infatti la sovrapposizione di cartografia storica, opportunamente digitalizzata e georeferenziata, nella costituzione dei diversi livelli informativi oltre, ovviamente, all'impiego di ortofoto 1:5000.

1.4.1 Formati vettoriali e raster.

Un modello dati vettoriale rappresenta aspetti, oggetti, fenomeni, come set di entità spaziali discrete, definite in termini di coordinate. Di un segmento vengono memorizzate le coordinate del punto di inizio, le coordinate del punto di fine ed eventuali attributi. La localizzazione di un punto è descritta da coordinate a due o tre dimensioni. Una linea è definita da una sequenza ordinata di due o più set di coordinate-punto; il percorso di una linea tra due punti da una funzione matematica; un'area da una o più linee che formano un circuito chiuso. Il formato raster, invece, è il formato digitale-numerico utilizzato per rappresentare immagini. Nella fattispecie, essi sono ottenuti dalla scansione di supporti cartacei, mappe, rilievi di scavo o fotografie, mediante scanner.

I supporti raster vengono detti "continui" per distinguerli da quelli vettoriali. Una base raster è, quindi, una trasformazione discreta della realtà. La continuità del dato restituito dipende dalla *risoluzione.* Durante il processo di

scansione (acquisizione in formato raster) un'immagine viene trasformata in una matrice di *pixel* (elemento i-esimo unitario di una immagine, unità elementare di una base raster). L'immagine acquisita è caratterizzata da due parametri: *risoluzione geometrica o campionamento*; *risoluzione radiometrica o quantizzazione*. Il *campionamento* misura la dimensione del pixel ottenuta tramite una griglia sovrapposta all'immagine da digitalizzare. Esso si esprime in *DPI* (Dots Per Inch), cioè in numero di pixel per pollice. La *quantizzazione* è l'assegnazione a ciascun pixel di un valore riferito all'intensità luminosa che costituisce l'immagine; significa convertire i campioni dell' immagine dalla rappresentazione analogica continua a quella discreta. Il numero di colori di un'immagine dipende dal numero di *bit* che descrivono ogni pixel; dato che il bit può assumere solo 2 valori (0,1), il numero di colori è espresso in potenze di 2. Avremo, quindi, immagini a 1 bit (*B/N*, descrizione dell' immagine "0" pixel bianco, "1" pixel nero) usate per cartografia rasterizzata da carte al tratto; immagini a 8 bit (*Grey scale*, toni di grigio) per carte tematiche, ortofoto digitali e altro; immagini a 24 bit (*RGB*) usate per ortofotocarte digitali, carte tematiche, cartografia storica e in genere tutte le immagini digitali.

1.4.2 Cartografia vettoriale di riferimento.

A supporto del progetto di ricerca sul Porto Fluviale Romano, dopo l' analisi della tipologia, della quantità e dell'eterogeneità del materiale a disposizione è stata impiegata come *cartografia numerica vettoriale georiferita e inquadrata nel sistema Gauss-Boaga*:

- CTRN 1:5000 *(Fogli 109011/109012/109013/109014);*
- CNR 1:25000 *(Foglio 109).*

Dal sondaggio sul materiale relativo a esperienze di ricerca sul territorio aquileiese sono stati inoltre individuati ed impiegati ulteriori supporti di *cartografia numerica vettoriale*:

- rilievi eseguiti e *inquadrati in Gauss Boaga* eseguiti dalla dott.ssa Bertacchi negli anni '90, particolarmente utili in una prima fase di analisi del

territorio e ad una sommaria individuazione dei principali manufatti relativi al Porto;

- rilievi *inquadrati in un Sistema Locale* ancora da georiferire in Gauss Boaga, riguardanti la zona del Porto Fluviale e gli scavi a nord oltre la via Gemina eseguiti dall'EFR in collaborazione con il geom. Meng.

1.4.3 Cartografia raster.

Notevole è stato l'apporto di informazioni derivante dalla mole dei dati raster ottenuti da sondaggi e ricerche anche a livello internazionale. La maggior parte del materiale è costituito da cartografia storica non georiferita ma non mancano applicazioni di *cartografia numerica raster georiferita:*

- ortofoto 1:5000 del territorio aquileiese; l'ortofoto digitale a colori si è dimostrata uno strumento tecnico ed organizzativo estremamente versatile e concreto per le attività di monitoraggio e confronto.
- rilievi da laser scanning aereo eseguiti dal prof. Giannini (INFN Università degli Studi di Trieste). Teoricamente dati georiferiti ma, per una non ancora individuata incompatibilità di formato con l'ambiente ArcGis utilizzato nell'implementazione del SIT, georiferiti successivamente con opportune tecniche di georeferenziazione.

Cartografia raster non georiferita. Rientrano in questa categoria tutti i casi di cartografia storica e di documentazione di rilievo di scavo per cui si è dovuto ricorrere alla scansione del supporto cartaceo e/o alla successiva georeferenziazione di quanto ritenuto utile alla costruzione di layers informativi.

Le principali fonti di acquisizione del materiale cartografico non georiferito, costituito da circa 80 documenti suddivisi tra carte geografiche, corografiche, catastali, rilievi archeologici e semplici disegni di scavo, sono state:

1. Biblioteca Statale Isontina di Gorizia

2. Archivio Provinciale di Gorizia
3. Archivio di Stato di Trieste
4. Museo dell'Arcidiocesi di Udine
5. Archivio del Capitolo di Udine
6. Biblioteca Joppi di Udine
7. Museo Archeologico Aquileia
8. Polo Catastale Decentrato di Cervignano del Friuli
9. Archivio di Stato di Venezia
10. Archivio Frangipane di Joannis (comune di Aiello del Friuli)
11. Kriegsarchiv Wien
12. Château de Vincennes - Paris

Nel caso della cartografia numerica raster, ottenuta da scansione dei supporti cartacei, ha assunto notevole importanza il concetto di precisione grafica e di minimo elemento misurabile sull'immagine. Il *dpi* dell'immagine deve infatti essere tale da poter garantire che il pixel risulti di dimensione inferiore al minimo dettaglio rappresentabile sulla carta, ossia del cosiddetto errore di graficismo pari a 0,2 mm moltiplicato per il fattore di riduzione della carta. Appaiono queste, considerazioni fondamentali non tanto per l'individuazione dei singoli beni (rappresentati da strutture in cui l'ordine di grandezza è la decina di metri e il cui posizionamento è puntuale/baricentrico), quanto per la successiva fase di georeferenziazione. Nello stesso ambito si può definire il concetto di scala nominale ovvero il rapporto di scala che avrebbe una carta tradizionale di corrispondente precisione metrica e contenuto qualitativo.

1.5 Georeferenziazione.

Buona parte del procedimento di costruzione del SIT è stata dedicata alla manipolazione delle immagini raster ottenute dai rilievi laser scanner aerei, dalle ortofoto e dalla scansione dell'ingente mole di cartografia storica. Tutto il materiale, prima di assumere lo status di livello informativo indipendente e variamente sovrapponibile sulla base cartografica vettoriale, è stato opportunamente georiferito. Un formato raster infatti è costituito da una matrice di pixel descritta da un contenuto radiometrico e dalla risoluzione ma senza informazioni relative alla sua georeferenziazione. E' necessario quindi associare queste caratteristiche attraverso la generazione di file esterni (*world file*). In ArcMap questa procedura si gestisce attraverso la *georeferencing toolbar.*

Per ogni elemento della cartografia sono stati quindi individuati punti ben visibili *(ground control points)*, invariati nel tempo ed in comune con la base cartografica di riferimento (CTRN/CNR). La procedura prevede di importare il raster nello stesso sistema di riferimento della CTRN o CNR all'interno del progetto e sovrapporlo in corrispondenza dei *ground control points* di coordinate note rispetto alla base cartografica. Questa operazione genera i cosiddetti *links* tra il raster da georiferire e la cartografia di riferimento. Il numero di *links,* minimo tre, dipende dalla precisione ricercata e dal metodo di applicazione matematica che si intende utilizzare per la trasformazione. Generalmente è consigliabile distribuire i *links* in corrispondenza dei vertici del raster e infittirli eventualmente sulla porzione della cartografia maggiormente interessata alla sovrapposizione. Distribuiti i *links,* si può passare alla trasformazione del raster che avviene attraverso un'applicazione polinomiale che può essere del primo, secondo o terzo ordine. Per semplici trasformazioni che prevedano solo rotazioni, deboli distorsioni e variazioni di scala del formato raster è consigliabile limitare il numero di *links* al minimo indispensabile ed affidarsi ad una applicazione del primo ordine o *affine.* L' esperienza insegna che in questo caso il numero ottimale di *links* è quattro, ciò permette di verificare la bontà della sovrapposizione mediante l'analisi dei residui ed al contempo garantisce

tempi ridotti di elaborazione. Viceversa se la sovrapposizione del raster comporta modifiche più consistenti di una semplice rotazione o variazione di scala è consigliabile infittire il numero dei *links* ed applicare trasformazioni di ordine superiore. In questo progetto sono state applicate entrambe le tipologie di trasformazione.

Effettate le trasformazioni, gli elementi cartografici possono essere permanentemente rettificati attraverso l'impiego del comando *rectify*. In questo modo si genera un nuovo raster georiferito che acquisisce lo status di *layer* indipendente in formato ESRIGRID. Il nuovo layer può essere quindi manipolato all'interno del progetto, utilizzato per le sovrapposizioni, esportato in altri progetti ***(9).***

n°	Denominazione/Collocazione	Ente di provenienza	Scala
1	Fogli 6-7-9-10	Polo catastale Cervignano	1:4000
2	Fogli 14-15-23-24	Polo catastale Cervignano	1:4000
3	Foglio 34	Polo catastale Cervignano	1:1000
4	Foglio 36	Polo catastale Cervignano	1:1000
5	Foglio 37	Polo catastale Cervignano	1:1000
6	Foglio 38	Polo catastale Cervignano	1:1000
7	Mappa 011	Archivio Piani	
8	Mappa 012_a	Archivio Piani	
9	Mappa 012_b	Archivio Piani	
10	Corografica 19	Archivio di Stato Trieste	1:28800
11	Fundkarte CG171	Archivio Provinciale Gorizia	
12	Pianta Aquileia401	Archivio Provinciale Gorizia	
13	Sezione19	Chateaux de Vincennes Paris	
14	Brusin1934	MANAq	
15	Brusin1934Porto	CNRS Aix en Provence	
16	Ortofoto Aquileia		
17	Laser Scanner *1st*	INFN Univ.Studi Trieste	
18	Laser Scanner *last*	INFN Univ.Studi Trieste	

9.Elenco raster ad oggi georiferiti.

1.5.1 Esempio di Georeferenziazione. La mappa archeologica del '34.

La procedura per la georeferenziazione della mappa archeologica di Brusin 1934, fondamentale per la possibilità di confronto tra il contesto archeologico e la mappa catastale del tempo, anch'essa georeferenziata con il medesimo procedimento, rispetto alla quale l'archeologo posizionò gli scavi, inizia con l'acquisizione della mappa all'interno del progetto contestualmente alla base cartografica CTRN 1:5000.

1. *Add layer Brusin 1934 dalla toolbar di ArcMap* ***(10)***; Inserito il raster nel progetto, attraverso la toolbar di georeferenziazione si seleziona il nome del raster da georiferire e mediante i tools di georeferencing lo si visualizza.

10. Individuazione GCP su CTRN e raster.

2. *Control points tool*;

Selezionato lo strumento di individuazione links dalla toolbar di georeferenziazione si puntano sul raster punti noti chiaramente visibili. Nel caso proposto sono stati scelti opportuni punti individuati nei frequenti sopralluoghi. I medesimi punti (3+1) sono stati selezionati sulla CTRN ***(11).***

3. *Trasformazione 1° ordine;*

Scelta la trasformazione del primo ordine e raffinati i punti al fine di limitare al massimo gli rms (*root mean square*) si aggiorna la georeferenziazione dalla *georeferencing toolbar* ottenendo un file RGB Composite.

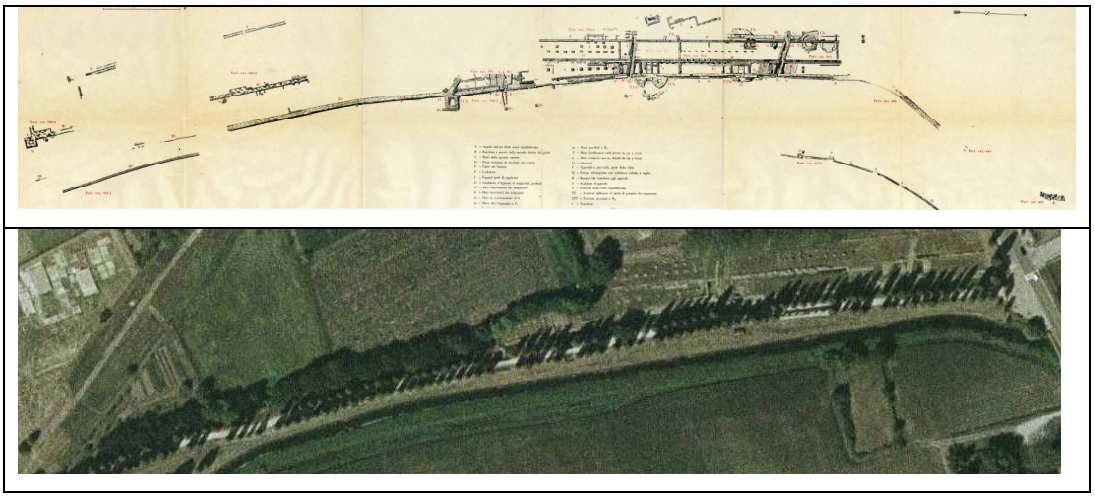
4. *Rectify;*

La trasformazione permanente del file raster in layer avviene tramite l'opzione rectify dal toolbar. Il layer in formato GRID è così disponibile per essere manipolato, attivato, disattivato, sovrapposto ed esportato in altri progetti.

11. Sovrapposizione CTRN, Catasto Storico, Pianta Archeologica 1896.

Approccio simile è stato adottato per la georeferenziazione del formato raster del rilievo di scavo del Porto Fluviale del Brusin. Per questa operazione non sono infatti disponibili sufficienti punti di controllo sulla CTRN dove la zona relativa al porto è sommariamente indicata come zona archeologica. Il rilievo in *situ* dei punti da impiegare per la georeferenziazione è inoltre

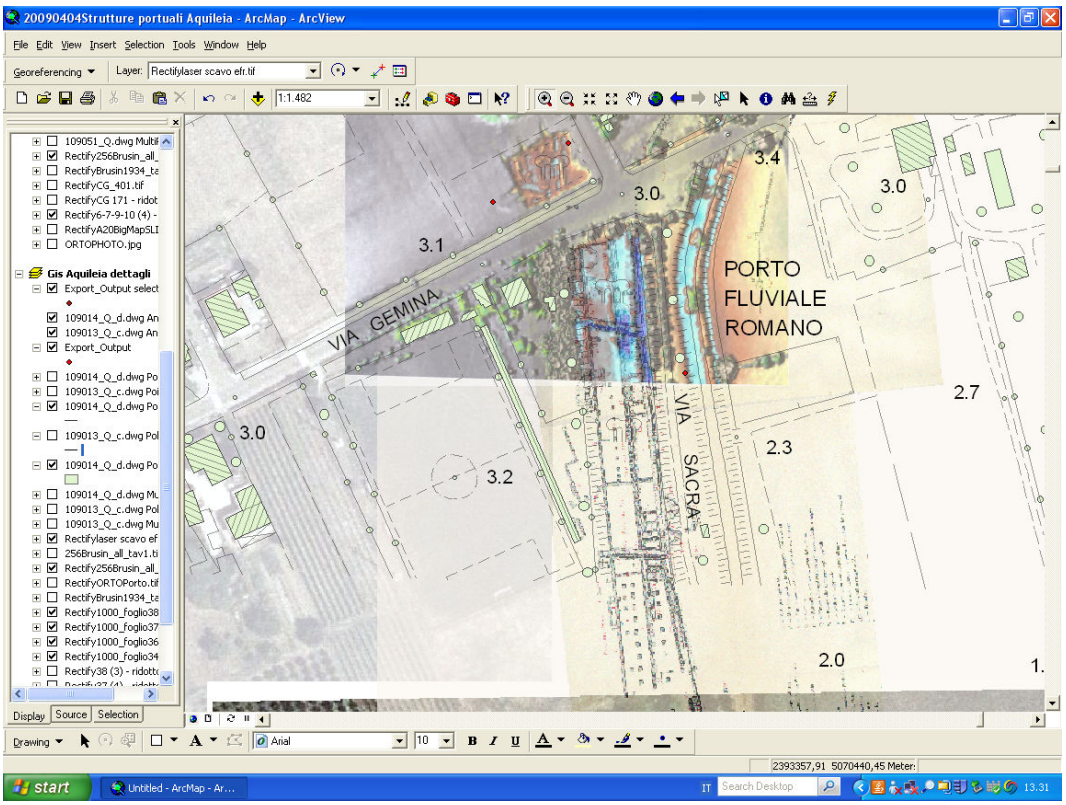
impedito dalla interdizione all'accesso al sito concessa solo passando attraverso estenuanti procedure burocratiche. L'operazione si è basata quindi sull'ausilio e l'integrazione del formato raster ortofoto precedentemente georiferito ***(12).*** Nell'immagine sono, infatti, chiaramente visibili numerosi punti da utilizzare per creare i links con i punti di controllo inviduati sul raster di scavo realizzando cosi una georeferenziazione raster su raster.



12.Rilievo porto anni '30 in formato raster e ortofoto porto.

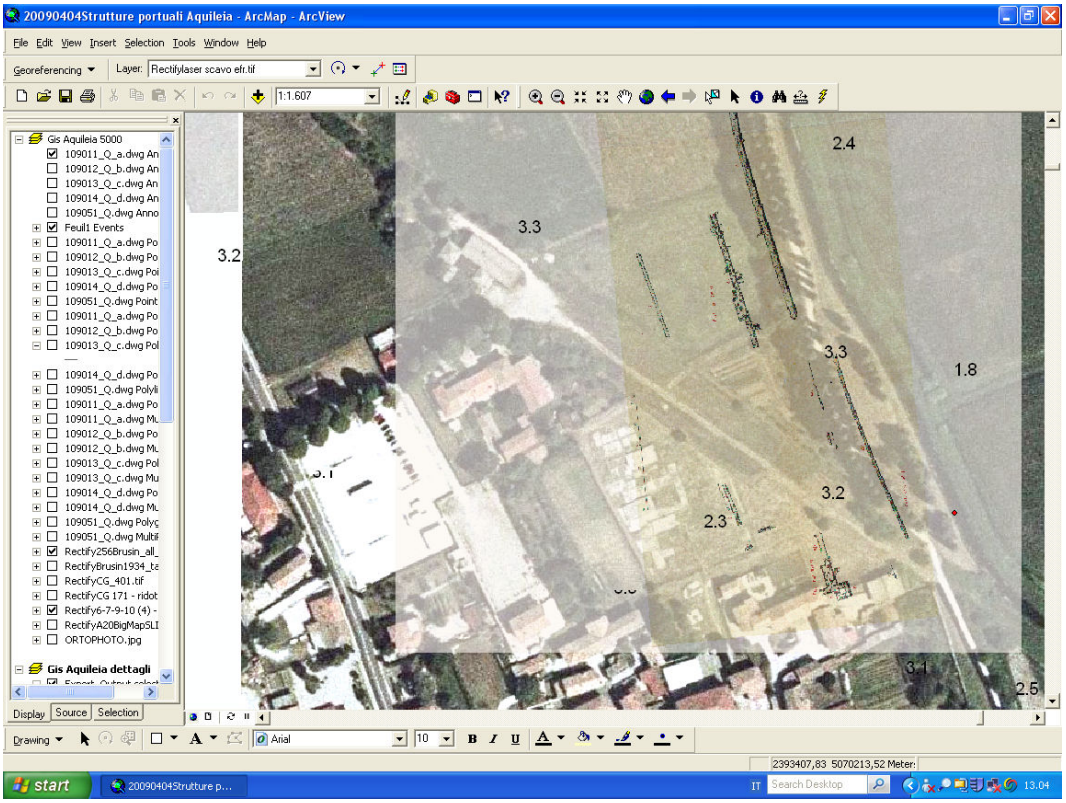
Il risultato ottenuto ha permesso un'importante considerazione scientifica derivante dalla possibilità del confronto diacronico tra gli scavi attuali, condotti dall'EFR a nord del porto, e gli scavi del Brusin attualmente ricoperti ad ovest della banchina del porto. Le strutture scavate nel 1930 sul fondo Cassis, p.c. 512/513, ad ovest della banchina del porto sono costituite da muri paralleli in mattoni con sovrapposte delle basi di pietra rettangolari. Tali basi si allineano su due file, alla distanza di 4 m, orientate parallelamente in direzione nord-sud. In origine delimitavano, probabilmente, un magazzino come testimoniato dai reperti raccolti durante lo scavo. Il dato certo evidenziato da questa georeferenziazione è che l'orientamento è il medesimo dei resti delle abitazioni individuate durate lo scavo condotto dall'*EFR* a nord del porto, ciò che permette di proporre la preesistenza di questa costruzione alla costruzione del porto fluviale monumentale, almeno nella sua prima fase ***(13).*** L'ulteriore

risultato scientifico raggiunto è la possibilità di verifica diretta della congruità tra la mappa catastale dell'epoca e i rilievi di scavo ad essa riferiti.



13. Rilievo anni '30 georiferito.

Inoltre la georeferenziazione dello scavo del Porto Fluviale del Brusin permette di individuare, dal confronto diacronico con l'ortofoto attuale, tracce di strutture non ancora portate alla luce ma allineate a sud del porto con gli scavi del '30 ***(14).***



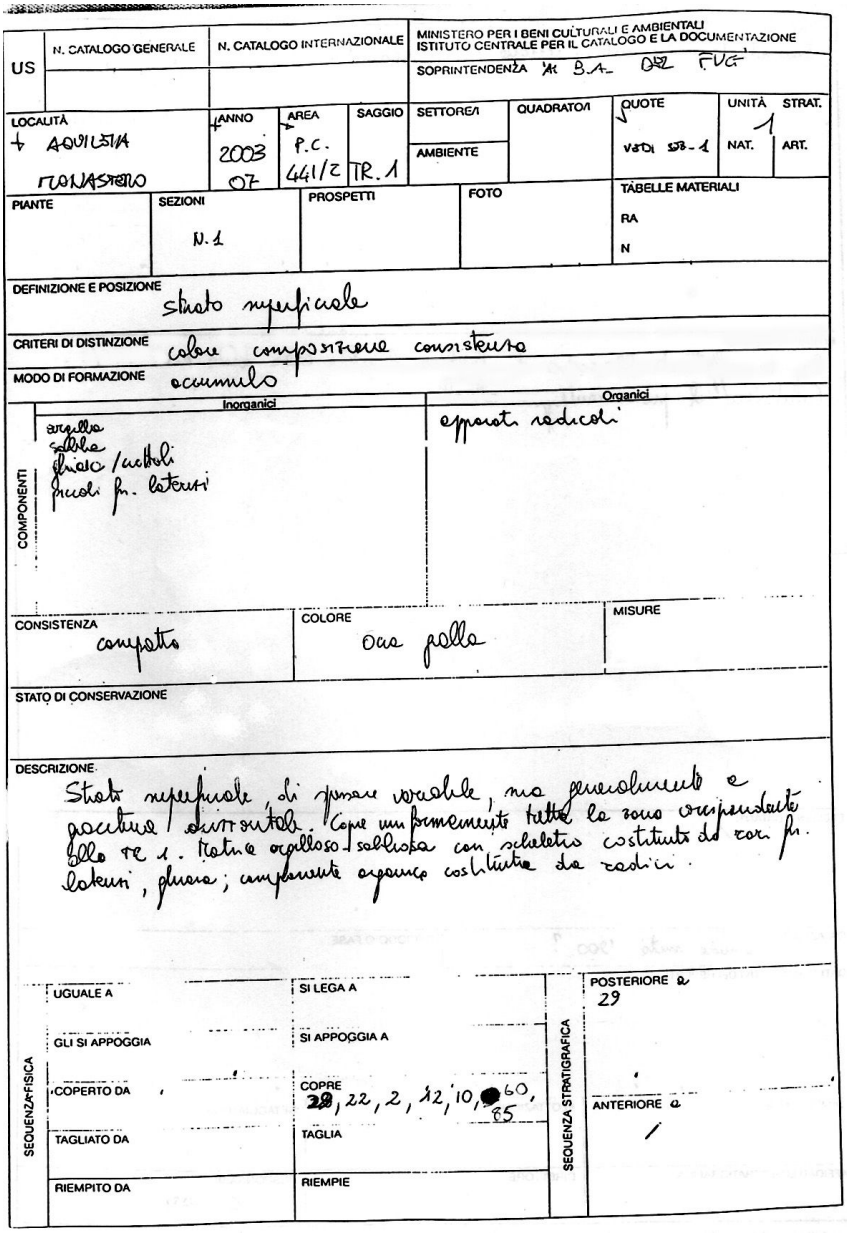
14. Allineamento tra lo scavo del Porto Fluviale del Brusin e tracce di strutture su ortofoto.

1.6 Database.

La costruzione del *database* è stata impostata come traduzione informatica delle usuali schede di catalogazione utilizzate dagli archeologi nel contesto aquileiese. La maggior parte dei dati esistenti, infatti, riguarda rilievi archeologici già catalogati secondo uno standard assodato e normalmente in uso. Questo approccio prevede una prima sezione riguardante la definizione, la localizzazione e la cronologia delle strutture; una seconda comprendente i dati tecnici, analitici, la descrizione e l'interpretazione; una terza contenente la documentazione grafica, fotografica e la campionatura ed una quarta riportante i confronti bibliografici. Considerato il carattere sperimentale del progetto e la necessità di poter collaudare in breve tempo uno strumento utilizzabile anche in modalità provvisoria, si è scelto di mantenere tale impostazione con la sola opportuna integrazione dei dati non strettamente archeologici. E' auspicabile, nel caso di un'eventuale futura evoluzione del progetto, un allineamento più fedele agli standard di catalogazione ICCD (*Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione)* che permetterebbe una condivisione di dati anche con altri archivi storico artistici e/o ambientali. L'ICCD propone, infatti, modelli descrittivi che raccolgono in modo organizzato le informazioni sui beni, secondo un percorso conoscitivo che guida il catalogatore ed al tempo stesso controlla e codifica l'acquisizione dei dati secondo precisi criteri. L'ICCD ha emanato modelli catalografici diversi in relazione alle differenti tipologie di beni: ogni scheda di catalogo è corredata da norme che spiegano nel dettaglio come devono essere compilate le varie voci nell'ambito di un coordinamento delle attività di ricerca per la definizione degli standard per la catalogazione delle diverse tipologie di beni culturali nei settori: archeologico; architettonico-ambientale; storico, artistico ed etnoantropologico. Il rispetto di queste norme comuni consente, quindi, l'interscambio delle informazioni fra i diversi soggetti che operano nel settore della catalogazione ***(15)***.

Lo strumento informatico utilizzato per la costruzione del database relazionale del progetto SIT è Access 2003. La scelta è stata dettata dalla

disponibilità diffusa del software incluso nel pacchetto Windows Office, dalla facilità di utilizzo nella fase di immissione e consultazione anche da parte di utenti inesperti, dalla semplicità di progettazione della struttura e delle maschere di catalogazione. Inoltre, buona parte degli esempi di *database* utilizzati in ambito archeologico anche dagli archeologi direttamente coinvolti in questo progetto, fanno riferimento a questo software. Nella fase evolutiva di questo progetto, analizzata nel capitolo 3 è previsto l'impiego di DBMS e la migrazione dei dati fino ad oggi inseriti attraverso opportune applicazioni ETL.



15. Esempio scheda di rilievo ICCD.

Nell' impostazione della struttura del *database*[10] è stato utilizzato, come anticipato, parte di un approccio già sperimentato nella costruzione delle tabelle. *UT* (*Unità Topografica*), *EA* (*Evidenza Archeologica*), *CA (Complesso Archeologico*) rappresentano l'ossatura del *database*, rivisitate e integrate dalle tabelle relative alle nuove tipologie di dati. L'*UT*, che in termini archeologici rappresenta il punto o l'area in cui si collocano le evidenze di vario tipo (archeologiche, geologiche, ecc.), è stata impostata come tabella cardine in cui contenere tutte le informazioni riguardanti il posizionamento geografico del dato indipendentemente dalla sua natura.

Nome campo	**Tipo dati**
ID_UT	Contatore
ID_CA	Numerico
Provincia	Testo
Comune	Testo
Località	Testo
Toponimo	Testo
Denominazione	Testo
GBEst	Numerico
GBNord	Numerico
Precisione	Testo
Autore	Testo

16. Tabella UT.

EA individua i resti archeologici (scavati e non più visibili, strutture visibili o aree di materiali affioranti in superficie, tratti di strade antiche) che si localizzano in un determinato punto o area e dunque in una unità topografica. La tabella, in relazione *1-n* con *UT,* archivia le informazioni riguardanti

[10] COCIANCICH A., *Un Sistema Informativo Geografico per lo Studio delle Strutture Fluviali di Aquileia***,** Tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica, Università degli Studi di Trieste, A.A. 2005-2006 (Relatore: Prof. Raffaela Cefalo).

Definizione, Precisazione Tipologica, Descrizione, Dimensione, Orientamento, Materiali Costruttivi, Materiali Recuperati, Elementi Datanti, Interpretazione, Osservazioni e Datazione.

CA riunisce più evidenze archeologiche non contigue e quindi posizionate in diverse unità topografiche che nel passato formavano un complesso unitario. Esistono più esempi: diversi tratti di strada o ponti che costituiscono il tracciato (esempio Via Annia) e diversi elementi che in antichità facevano parte di un complesso strutturale più ampio (ad esempio: più tombe di una necropoli, più evidenze relative ad un complesso abitativo). La tabella è caratterizzata dai campi Denominazione e Descrizione.

Nome campo	**Tipo dati**	**Nome campo**	**Tipo dati**
ID_EA	Contatore	ID_Crono	Numerico
ID_UT	Numerico	ID_CS	Numerico
Definizione	Testo	Da_sec	Numerico
Precisazione Tipologica	Testo	Da_Meta	Testo
Descrizione	Memo	A_sec	Numerico
Dimensioni	Testo	A_Meta	Testo
Orientamento	Testo	Interpretazione	Memo
MaterialiCostruttivi	Testo	Osservazioni	Memo
MaterialiRecuperati	Testo	Autore	Testo
ElementiDatanti	Testo		

17. Tabella EA.

Su queste tabelle si regge e si integra l'intera struttura del *database* attraverso opportune relazioni tra le varie tipologie di dati.

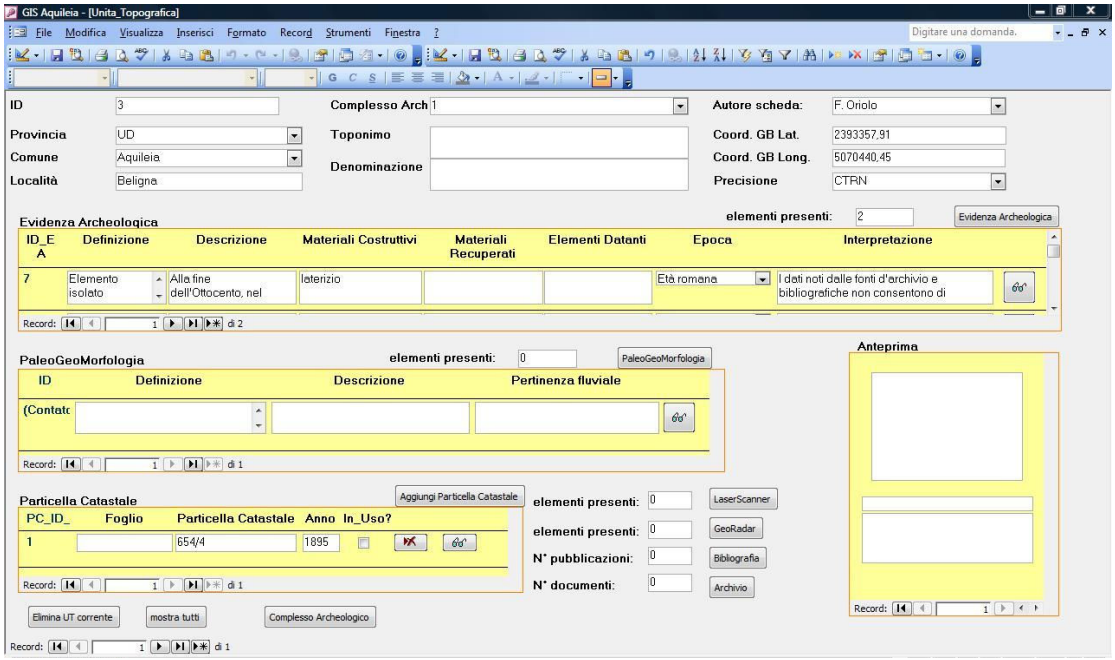
E' stato attribuito un codice identificativo progressivo a tutti i dati inseriti: *ID_UT*. Questo codice costituisce il campo comune che permette di associare informazioni, fotografie o altri attributi all'entità puntuale rendendo così possibile risalire all'entità georiferita. Questa chiave primaria è inserita all'interno della tabella *UT* dove, come anticipato, si definiscono anche

Denominazione, Provincia, Comune, Località, Toponimo e relative coordinate Gauss-Boaga (GBEst e GBNord).

In tema di localizzazione del dato georeferenziato è stata organizzata una tabella dedicata all'inquadramento catastale in particolare per poter confrontare la parcellizzazione relativa agli anni '20 e quella attuale, in attesa di poter godere di un *layer* costituito da fogli di mappa catastali odierni. La tabella Particella Catastale archivia dati relativi a Foglio, Particella Catastale, Anno.

Oltre alle già citate tabelle *Evidenza Archeologica* e *Complesso Archeologico* contenenti informazioni archeologiche in senso stretto, le informazioni relative alla paleogeomorfologia sono state organizzate in un'omonima tabella comprendente i campi: Definizione, Descrizione, Metodo di Riconoscimento, Pertinenza Fluviale e Datazione Attività. La tabella *Paleogeomorfologia* è stata collegata con una relazione *n-1* alla tabella Unità Topografica mediante gli appositi indici. Questa tabella raccoglie i risultati relativi alle indagini stratigrafiche effettuate sulla rete fluviale. Parallelamente, i dettagli relativi ai carotaggi vengono archiviati nella tabella Carotaggi composta dai campi Tessitura, Profondità, Struttura, Datazione ed Interpretazione che riassumono le peculiarità delle indagini. Relazioni *1-n* sono state impiegate anche per le tabelle relative ai dati laser scanner e georadar. Le informazioni in esse contenute sono succinte, in quanto i dati più utili agli archeologici sono stati trattati prevalentemente come *layer* cartografici nel caso delle immagini da scansione e *link* alle immagini dei profili per i dati GPR e Geoelettrici. A corollario delle principali informazioni, alcune tabelle entrano nel dettaglio di cronologie e dati d'archivio. In *Cronologia* si individua una prima classificazione temporale con il campo macro-ere, poi ulteriormente specificato in Datazione all'interno di *EA*. Da *EA* una relazione *1-n* permette di specificare Tipo, Ente, Data, Note riguardanti gli scavi all'interno della tabella Indagini Effettuate. A queste si aggiungono le tabelle *Archivio* e *Bibliografia* contenenti informazioni documentali, riferimenti bibliografici, immagini. Le tabelle *UT, EA, CA* sono infatti collegate con relazioni *1-n* alla tabella Bibliografia per l'archiviazione di

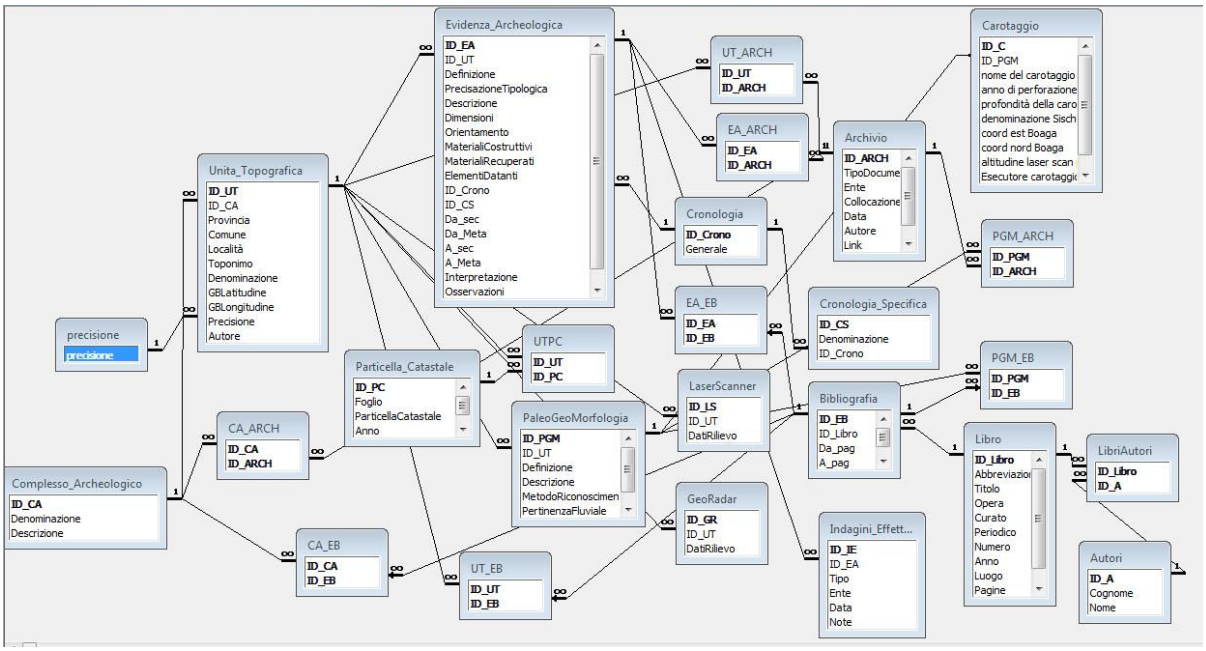
Abbreviazione, Titolo, Curato (a cura di), Periodico, Numero, Anno (quest'ultimo numerico), Luogo, Note, Pagine relative alla individuazione delle pubblicazioni riguardati l'elemento archeologico referenziato. Archivio contiene i riferimenti a file, immagini, materiale documentale unitamente alla descrizione delle loro caratteristiche e localizzazione Tipo Documento, Ente, Collocazione, Data, Autore, Descrizione.



*18.*Maschera inserimento dati.

L'interfaccia per l'inserimento dei dati nel *database* è stata realizzata mediante un percorso logico di maschere e sottomaschere che permettono un rapido approccio alla gestione della totalità dei dati e del loro contenuto ***(18).*** La maschera di riferimento è naturalmente *UT* che, oltre a garantire l'archiviazione dei dati di sua pertinenza, permette l'accesso alle sottomaschere *EA, PC, Paleogeomorfologia, Archivio.* Sempre da questa tabella cardine è possibile accedere, attraverso l'impiego di opportuni pulsanti di selezione, alle tabelle organizzate per l'archiviazione dei dati bibliografici e l'inserimento di informazioni inerenti i rilievi georadar e laser scanner.

La medesima struttura è stata impiegata per tutte le maschere e sottomaschere al fine di fornire criteri omogenei di inserimento dati. Per semplificare l'inserimento di alcune categorie di informazioni alcuni campi sono corredati da opportuni menu per un rapido accesso all'opzione desiderata. Questo vale in particolare per il campo Denominazione all'interno di *CA* o nel caso di Indagini Effettuate all'interno di *EA* o di Epoca in *UT* ***(19).***



19. Tabella relazioni.

Capitolo 2
I dati coinvolti

2.1 La cartografia storica.

I moderni strumenti della geomatica permettono nuovi modi di accedere, comprendere e sfruttare i dati cartografici storici. A partire dal recupero delle mappe antiche e dalla conversione in ambiente digitale, attribuendo loro un contenuto metrico con attenti processi di georeferenziazione, è possibile indagare sulle loro caratteristiche geometriche e di altra natura, nonché sperimentare nuove elaborazioni digitali a favore di una maggiore diffusione e divulgazione del patrimonio cartografico. La georeferenziazione della cartografia storica è uno strumento importante nella lettura dei fenomeni insediativi ed un importante ausilio nell'impostazione di metodologie volte all'individuazione di nuclei e strutture di antica tradizione spesso offuscate dal tempo, dall' incuria o dall' intervento umano. Può contribuire all'individuazione di strutture ricostruite o distrutte, di modifiche, di ampliamenti o accorpamenti avvenuti nel tempo.

La ricerca, l'individuazione e l'acquisizione della cartografia storica hanno rappresentato il nucleo fondamentale sul quale impostare il successivo sviluppo della piattaforma SIT. La notevole mole di dati cartografici sparsi sul territorio e la spesso incomprensibile difficoltà burocratica per l'accesso alla documentazione hanno reso questa parte della ricerca particolarmente dispendiosa non solo dal punto di vista economico.

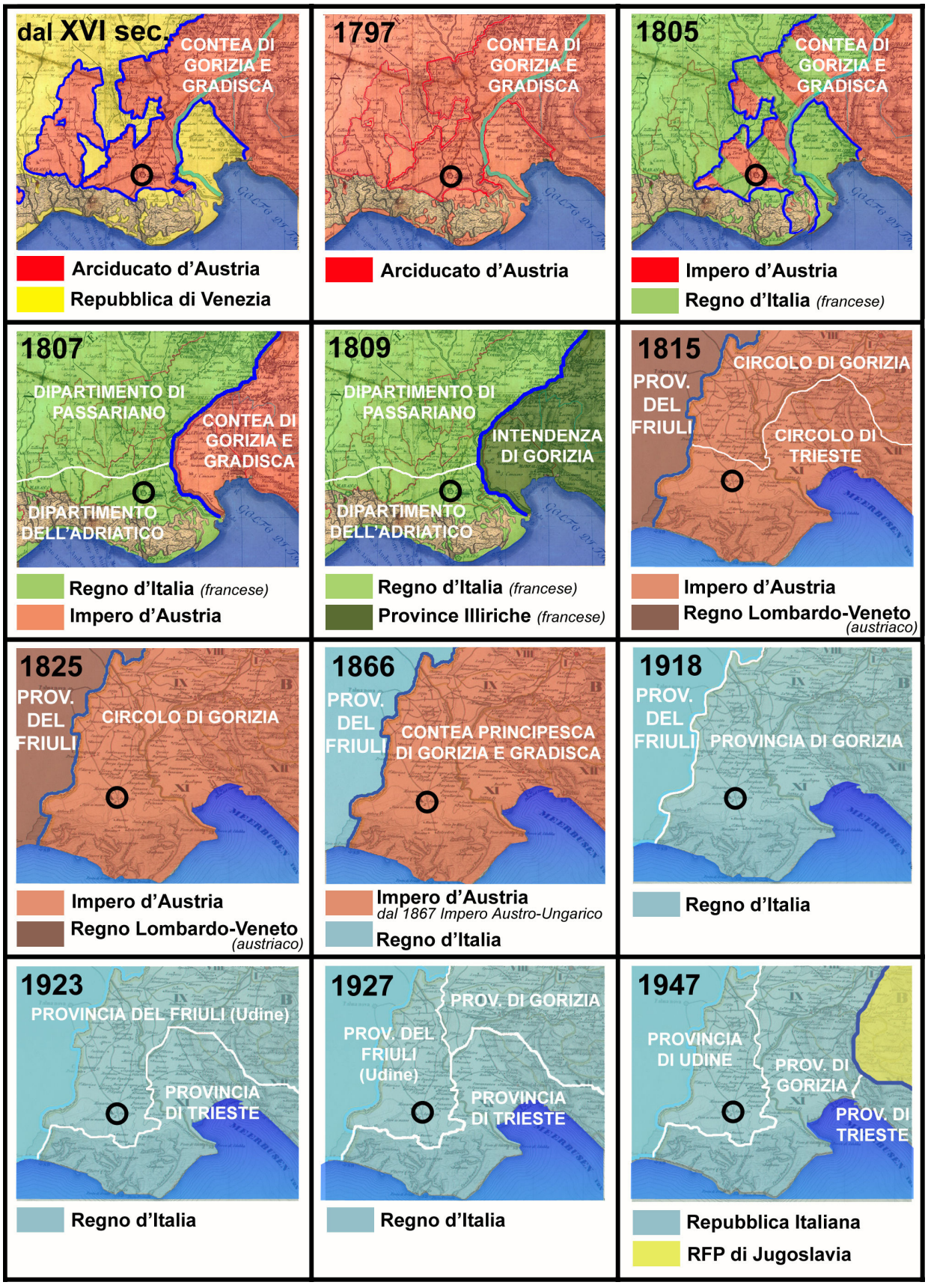
Il primo passo è stato quello di cercare di ricreare sommariamente la situazione amministrativa-territoriale di tutto il periodo storico intercorso dall'inizio del '500 fino ai nostri giorni, in modo da orientare, almeno in un primo momento, la scelta dei luoghi in cui potessero trovarsi archivi, biblioteche, musei che conservano del materiale cartografico di Aquileia ***(1).*** La particolare posizione geografica di Aquileia (e di tutto il Friuli - Venezia Giulia), da sempre all'incrocio di importanti civilizzazioni, ha reso questi luoghi

soggetti a diverse dominazioni e governi con conseguenti continue variazioni dei confini. Ciò ha causato una grande dispersione del materiale cartografico tra tutti gli archivi dei luoghi che hanno esercitato la loro amministrazione su queste terre.

Aquileia, dagli inizi del XVI secolo fino al 1923 (salvo brevi interruzioni) è stata sottoposta alla giurisdizione di Gorizia. E' questo il motivo per cui il *corpus* principale della documentazione è stato rintracciato nel capoluogo isontino. Elementi cartografici soni stati recuperati, inoltre, a Udine, Venezia, Trieste, a Parigi (relativi al periodo della dominazione francese) e a Vienna (relativi ai secoli di dominazione asburgica).

La cartografia storica è stata individuata presso le seguenti istituzioni:

1. Biblioteca Statale Isontina di Gorizia
2. Archivio Provinciale di Gorizia
3. Archivio di Stato di Trieste
4. Museo dell'Arcidiocesi di Udine
5. Archivio del Capitolo di Udine
6. Biblioteca Joppi di Udine
7. Museo Archeologico Aquileia
8. Polo Catastale Decentrato di Cervignano del Friuli
9. Archivio di Stato di Venezia
10. Archivio Frangipane di Joannis (comune di Aiello del Friuli)
11. Kriegsarchiv Wien
12. Château de Vincennes - Paris


dal XVI sec.
CONTEA DI GORIZIA E GRADISCA
Arciducato d'Austria
Repubblica di Venezia
1797
CONTEA DI GORIZIA E GRADISCA
Arciducato d'Austria
1805
CONTEA DI GORIZIA E GRADISCA
Impero d'Austria
Regno d'Italia (francese)
1807
DIPARTIMENTO DI PASSARIANO
CONTEA DI GORIZIA E GRADISCA
DIPARTIMENTO DELL'ADRIATICO
Regno d'Italia (francese)
Impero d'Austria
1809
DIPARTIMENTO DI PASSARIANO
INTENDENZA DI GORIZIA
DIPARTIMENTO DELL'ADRIATICO
Regno d'Italia (francese)
Province Illiriche (francese)
1815
PROV. DEL FRIULI
CIRCOLO DI GORIZIA
CIRCOLO DI TRIESTE
Impero d'Austria
Regno Lombardo-Veneto (austriaco)
1825
PROV. DEL FRIULI
CIRCOLO DI GORIZIA
Impero d'Austria
Regno Lombardo-Veneto (austriaco)
1866
PROV. DEL FRIULI
CONTEA PRINCIPESCA DI GORIZIA E GRADISCA
Impero d'Austria
dal 1867 Impero Austro-Ungarico
Regno d'Italia
1918
PROV. DEL FRIULI
PROVINCIA DI GORIZIA
Regno d'Italia
1923
PROVINCIA DEL FRIULI (Udine)
PROVINCIA DI TRIESTE
Regno d'Italia
1927
PROV. DI GORIZIA
PROV. DEL FRIULI (Udine)
PROVINCIA DI TRIESTE
Regno d'Italia
1947
PROVINCIA DI UDINE
PROV. DI GORIZIA
PROV. DI TRIESTE
Repubblica Italiana
RFP di Jugoslavia

1.

XVI secolo.
Sotto la guida di Papa Giulio II viene formata la Lega di Cambrai, un'alleanza che combatte la Repubblica di Venezia dal 1508 al 1511 con l'intento occupare e spartirsi la terraferma dello stato veneto. Nel 1516 con il **Trattato di Noyon** la Repubblica di Venezia riconosce agli Asburgo il possesso della Contea di Gorizia e Gradisca (di cui Aquileia fa parte) e i confini vengono ridefiniti. Venezia perde l'alto bacino dell'Isonzo, ma mantiene Monfalcone. Il principio fu ribadito dal successivo **Trattato di Worms** (1521).

1797
Trattato di Campoformido. Sancisce la fine della Repubblica di Venezia e il passaggio dei suoi possedimenti all'Arciducato d'Austria. In cambio gli Asburgo riconoscono l'esistenza della Repubblica Cisalpina quale stato satellite della Francia.

1805
Con la **Pace di Presburgo**, dopo la vittoria napoleonica ad Austerlitz, l'Austria cede al Regno d'Italia (francese) il Veneto, l'Istria Veneta, la Dalmazia e Cattaro, ex-possedimenti veneziani avuti a Campoformido. La Francia di fatto occupa la Contea di Gorizia e Gradisca (compreso Aquileia) fino all'Isonzo.

1807
Trattato di Fontainebleau. Vengono annessi al Regno d'Italia tutti i territori austriaci alla destra dell'Isonzo, Aquileia compresa.

1809
Pace di Schönbrunn. Costituzione delle Province Illiriche (francesi) di cui faranno parte anche Gorizia, Trieste e l'Istria.

1815
Congresso di Vienna. L'Austria riprende possesso della Lombardia e del Veneto, viene costituito il Regno Lombardo-Veneto. Aquileia torna all'Austria sotto il Circolo di Trieste della regione del Litorale (Küstenland)

1825
Nuovo assetto amministrativo della regione del Litorale, Aquileia passa sotto il Circolo di Gorizia.

1866
Con la Terza Guerra d'Indipendenza il Regno d'Italia conquista il Veneto fino all'Aussa.

1918
Fine delle Prima Guerra Mondiale. La Venezia Giulia viene annessa all'Italia. Aquileia è nella neocostituita Provincia di Gorizia

1923
Soppressione della Provincia di Gorizia. Aquileia passa alla Provincia del Friuli con capoluogo Udine. Grado viene annessa alla Provincia di Trieste

1927
Ricostituzione della Provincia di Gorizia, Aquileia con tutto il Mandamento di Cervignano rimane alla Provincia del Friuli.

1947
Trattato di Parigi. Annessione della Venezia Giulia (Esclusi Gorizia e Trieste) alla Jugoslavia, Grado torna sotto la Provincia di Gorizia.

Le circa 80 carte raccolte[11] ***(Allegato 1)*** presentano caratteristiche molto disomogenee. Sono presenti, infatti, carte geografiche, corografiche, catastali, rilievi archeologici e semplici disegni di scavo. Questa diversità è direttamente causa della notevole diversificazione della scala di rappresentazione che varia da 1:100.000 a 1:100.

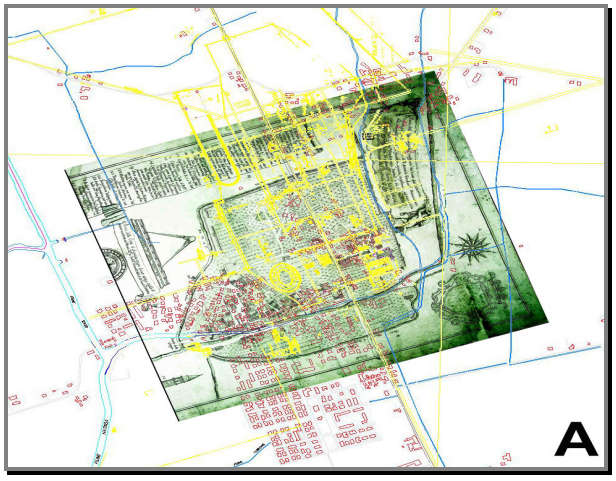
Anche il contenuto metrico di tali rappresentazioni varia in modo considerevole. Per ciò che riguarda le carte geografiche e corografiche ottocentesche, realizzate sia dai francesi che dagli austriaci per tutto il territorio friulano, siamo in presenza di cartografia molto affidabile in quanto realizzata con criteri geodetici, mentre in altri casi la rappresentazione della superficie terrestre può essere alquanto imprecisa e approssimativa tale da rendere, in situazioni limite, difficoltosa, se non impossibile la georeferenziazione. E' il caso delle carte più antiche, che oltre ad essere topograficamente imprecise, adottano spesso la rappresentazione mediante veduta prospettica e non in pianta.

La possibilità di disporre di un archivio di cartografia storica digitalizzata e georeferenziata di Aquileia in ambiente GIS, che di fatto attribuisce un unico sistemo di riferimento a tutte le carte e le rende omogenee dal punto di vista della proiezione e della scala, determina indiscutibili vantaggi:

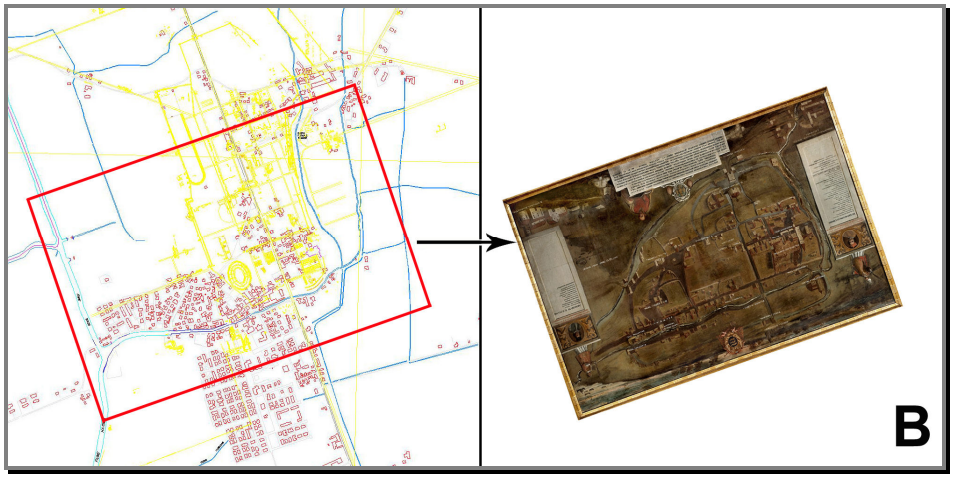
- **logistici.** Le carte di numerosi archivi sono immediatamente disponibili, accorciando in modo considerevole i tempi di ricerca delle informazioni desiderate.
- **conservativi**. La cartografia originale, spesso fragile, non è soggetta al continuo logorio causato dall'utilizzo diretto del documento cartaceo.
- **analitici**. Sostanzialmente il confronto visivo tra la carta storica e quella moderna di riferimento (la CTRN) può avvenire in due modi. Il primo metodo è quello della sovrapposizione ***(2):*** si usa quando l'operazione della georeferenziazione restituisce buoni risultati e il documento storico-cartografico è sovrapponibile, in tutti i suoi elementi su di esso

[11] In collaborazione con dott. Michele Di Bartolomeo.

rappresentati, alla carta di riferimento. Il secondo metodo è quello della visualizzazione in sequenza *(3):* si usa quando una carta è così topograficamente imprecisa che la georeferenziazione non può avere luogo, in quanto causerebbe un'eccessiva deformazione dell'immagine rendendo di fatto illeggibile il suo contenuto. In questo caso è opportuno visualizzare la carta "a lato" dell'area che rappresenta, facilitando comunque il confronto con l'indicazione, mediante una "cornice" della porzione di territorio che l'antico documento rappresenta.



2



3

2. A - "VISUALIZZAZIONE SOVRAPPOSTA"
della carta archeologica di Giandomenico Bertoli del 1735, conservata presso l'Archivio del Capitolo di Udine.

3. B - "VISUALIZZAZIONE IN SEQUENZA"
della pianta di Aquileia del 1693, conservata presso il Museo dell'Arcidiocesi di Udine.

A volte, gli elementi che costituiscono antichi assetti territoriali (es. i corsi d'acqua, le strade, ecc.) giungono ai giorni nostri pressoché immutati, altre invece, dove le trasformazioni sono state più radicali (es. a causa di una bonifica), degli antichi elementi non rimane alcun resto materiale. Permangono, tuttavia, segni, tracce, profili, che indirettamente, pur appartenendo a nuovi manufatti, ricalcano vecchie organizzazioni territoriali, quasi come quelli di un fossile che restituisce la forma dell'organismo vivente al quale lentamente si è sostituito. Nel moderno territorio, inteso quindi come risultato della stratificazione dei mutamenti sia naturali che antropici, è leggibile il paesaggio antico che, con diversi livelli di persistenza, ancora oggi conserva tracce più o meno evidenti che la cartografia storica ci offre la possibilità di interpretare con più facilità. Per questo motivo nell'archeologia e più precisamente nella sua disciplina ausiliare, la topografia antica, la cartografia del passato costituisce senza dubbio una fonte preziosa di informazioni, che insieme ad altri dati (fonti storico-letterarie, dati archeologici, immagini satellitari, ecc) permette la ricostruzione delle antiche organizzazioni spaziali. Come anticipato, questo patrimonio va sicuramente salvaguardato con attenti interventi di restauro limitando gli inevitabili deterioramenti dovuti alla vetustà del manufatto ma anche valorizzato e salvaguardato ricorrendo ove possibile alle risorse offerte dalle nuove applicazioni tecnologiche. Il metodo migliore per la salvaguardia è senza dubbio la riproduzione in formato digitale della cartografia storica. Ciò permette non solo una fedele riproduzione del manufatto cartografico ma anche una maggiore fruibilità, versatilità ed accessibilità dell'informazione garantendone la sua conservazione e condivisione in molteplici settori d'utilizzo.

La conversione in formato digitale delle mappe antiche deve sicuramente soddisfare due esigenze fondamentali: non danneggiare il supporto originario e mantenere il più possibile inalterate le caratteristiche metriche e geometriche, limitando al massimo le deformazioni. Gli approcci tecnologici utilizzati sono fondamentalmente la scansione ed il rilievo

fotogrammetrico. La scelta dipende dalle condizioni di conservazione della carta, dalle sue dimensioni, dal supporto utilizzato e dalle disponibilità economiche che in questo progetto hanno impedito il rilievo fotogrammetrico della planimetria delle strutture fluviali del Brusin, conservata presso il Museo Archeologico Nazionale di Aquileia (MAN)[12]. La procedura di acquisizione, effettuata da un centro accreditato per il restauro e la conservazione di questi manufatti, prevederebbe:

- la distensione del lucido ed il fissaggio temporaneo degli strappi con opportune pellicole adesive;
- la ripresa fotografica (con obbiettivo a bassa rifrazione per limitare le distorsioni) attraverso l'impiego di procedure tipiche della fotogrammetria aerea, con la composizione di "strisciate" di fotogrammi opportunamente sovrapposte trasversalmente e longitudinalmente;
- l'orientamento relativo dei singoli fotogrammi rispetto ad opportuni punti di controllo per la successiva composizione dell'immagine finale in file formato TIFF o JPG a seconda dei successivi utilizzi.

Il formato digitale cosi ottenuto va naturalmente georeferenziato per associare alla geometria dell'immagine un contenuto metrico. In particolare si tratta di individuare sulla carta delle coppie di coordinate oggetto da associare a ciascun pixel dell'immagine *raster*. Ciò avviene attraverso una trasformazione geometrica i cui parametri vengono determinati dalle coordinate nel sistema immagine ed in quello oggetto di un adeguato numero di GCP misurati a terra, desunti dalla cartografia attuale o direttamente *in situ*, in corrispondenza di manufatti rimasti inalterati nel tempo. La trasformazione impiegata in questo progetto è stata polinomiale ma può essere affine, conforme, a elementi finiti. Successivamente, un *resampling* dell'immagine applica a tutti i pixel i parametri

[12] La planimetria, prodotta negli anni '30, è alta 1 metro e lunga circa 7 metri. Versa in cattivo stato di conservazione: la carta è fotossidata a causa della presenza di sostanze impregnanti e dell'acidità, manifesta ingiallimenti, indebolimenti e strappi longitudinali tali da non permetterne un'agevole apertura.

di trasformazione generando in uscita un file immagine con associati i dati di georeferenziazione. Bisogna tenere in considerazione, quindi, che accanto alle inevitabili deformazioni e trasformazioni subite dalla carta negli anni e alle deformazioni indotte dalla sua scansione vi sono deformazioni indotte dalle trasformazioni geometriche. Va quindi valutata con attenzione l' affidabilità della georeferenziazione analizzando i residui di collimazione sui GCP su opportuni *check points*.

La mappa così ottenuta assume lo *status* di *layer* indipendente all'interno del sistema gis e può essere confrontata con altri *layer* attraverso la sovrapposizione con gli stessi. Ciò permette uno studio diacronico del territorio ed una analisi dell'evoluzione del territorio ***(4).***

n°	Denominazione/Collocazione	Ente di provenienza	Scala
1	Fogli 6-7-9-10	Polo catastale Cervignano	1:4000
2	Fogli 14-15-23-24	Polo catastale Cervignano	1:4000
3	Foglio 34	Polo catastale Cervignano	1:1000
4	Foglio 36	Polo catastale Cervignano	1:1000
5	Foglio 37	Polo catastale Cervignano	1:1000
6	Foglio 38	Polo catastale Cervignano	1:1000
7	Mappa 011	Archivio Piani	
8	Mappa 012_a	Archivio Piani	
9	Mappa 012_b	Archivio Piani	
10	Corografica 19	Archivio di Stato Trieste	1:28800
11	Fundkarte CG171	Archivio Provinciale Gorizia	
12	Pianta Aquileia401	Archivio Provinciale Gorizia	
13	Sezione19	Chateaux de Vincennes Paris	
14	Brusin1934	MANAq	
15	Brusin1934Porto	CNRS Aix en Provence	

*4.*Elenco mappe storiche ad oggi georiferite.

2.2 *I dati geofisici e paleogeomorfologici.*

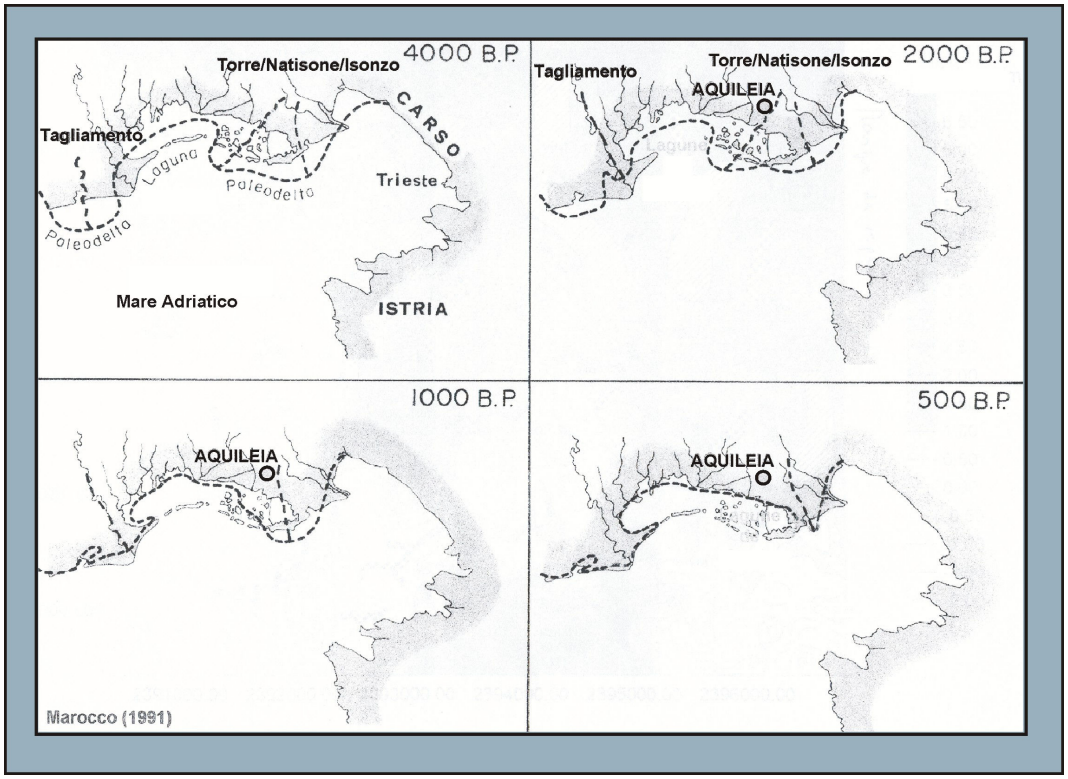
Lo studio stratigrafico di dettaglio dei carotaggi, particolarmente degli aspetti archeologici, cronologici, sedimentologici e paleontologici ha permesso di ricostruire le principali caratteristiche paleoambientali del territorio Aquileiese. Questo approccio si è rivelato uno strumento fondamentale per accertare situazioni archeologiche profonde altrimenti non indagabili con gli usuali mezzi.

Il sito di Aquileia, recentemente accolto a far parte del patrimonio dell'UNESCO, si trova ad una cinquantina di chilometri ad ovest di Trieste, in un delta del litorale nord-adriatico. La « pianura del delta d'Aquileia » (ca. 400 km2, altitudine <10m) corrisponde alla parte orientale della pianura costiera friulana. Confina ad est con le montagne e gli altopiani calcari del Carso e a Nord con le Alpi Giulie e Carniche e la loro pianura (***Allegato 5***). Tale pianura s'iscrive al vertice di un deposito fluvio-marino della fine del Pleistocene. La sua evoluzione geomorfologica viene influenzata da due fattori principali :le alluvioni e il glacio-eustatismo. In modo minore, o a livello locale, dall'attività neo-tettonica e le attività antropiche. Attualmente il delta è drenato da alcuni corsi d'acqua (Ausa, Terzo, Natissa, Tiel) e da un fiume non autoctono, ossia l'Isonzo la cui sorgente è nelle Alpi Giulie.

I dati archeologici e storici dimostrano che il sito di Aquileia è stato uno dei più importanti porti fluviali dell'Impero romano. Le recenti ricerche multidisciplinari, che vedono il contributo della geomorfologia, della sedimentologia, della paleontologia, della geofisica e dell'archeologia, insistono sull'importanza delle vie fluviali nella pianura del delta di Aquileia durante l'Antichità. Sopratutto i geomorfologi sostengono che la rete idrografica attuale non corrisponde a quella dell'Antichità. Le recenti esperienze di raccolta ed osservazione dei dati confermerebbero l'esistenza di due meccanismi che avvalorerebbero tali ipotesi:

- la pendenza degli alvei che, poco elevati in pianura, tendono all'allagamento e a cambiare il loro corso;

- fenomeni di avvallamento/abbassamento che possono aver aumentato, con il passare del tempo, lo spazio a disposizione del fiume.



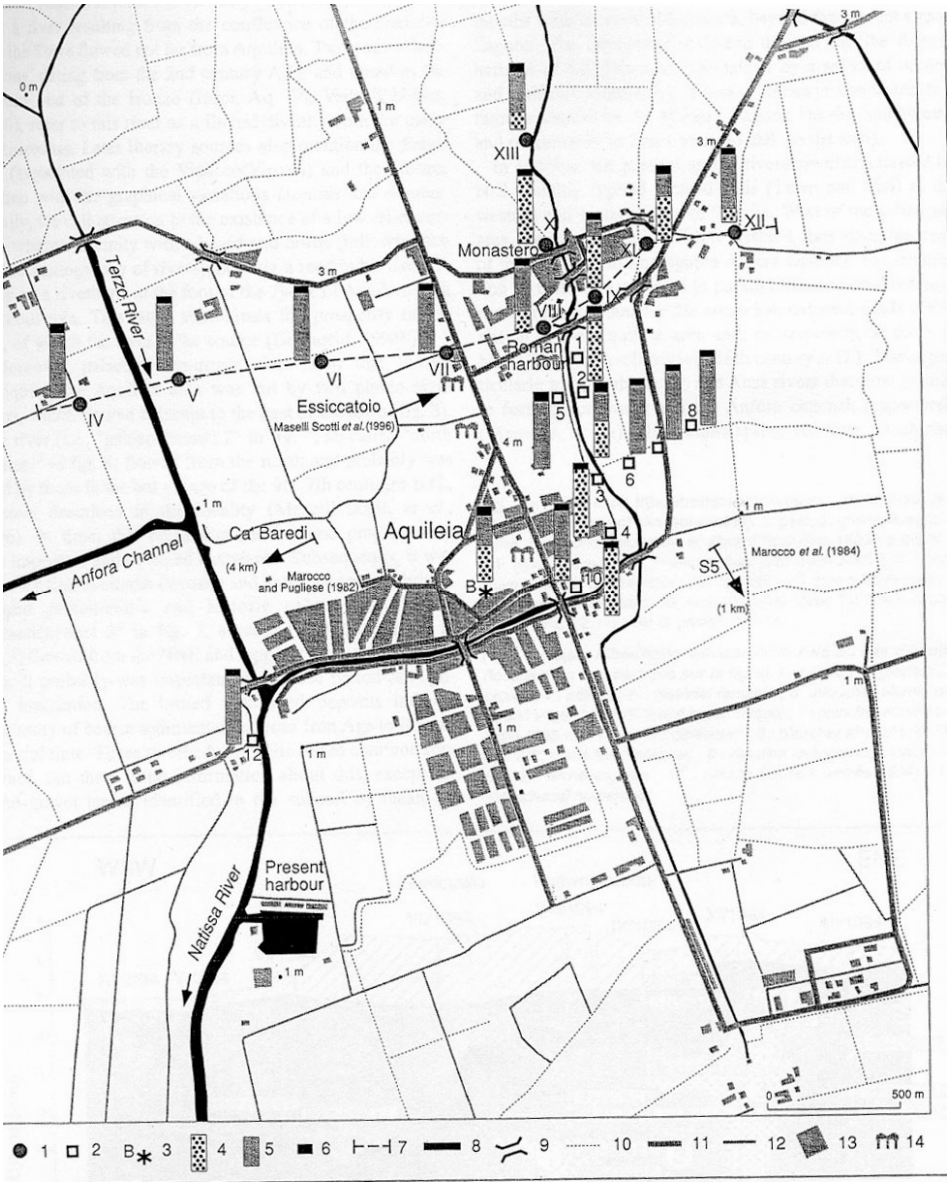
6.Paleogeografia della pianura Aquileiese.

La carta geologica del Friuli Venezia Giulia caratterizza la pianura Aquileiese con sedimenti alluvionali e aree di bonifica dell'Olocene di tessitura limoso-argillosa/sabbioso-limosa talora con sabbie e ghiaie subordinate. La parte nord-orientale della pianura e' piu' elevata (ca. 6,5m) di quella sud-occidentale (ca. 3m). Questo dislivello si spiega tramite un'accresciuta velocita' d'aggradazione della pianura a nord-est, legata al contributo solido del paleo-Isonzo, del paleo-Natisone e del paleo-Torre. La posizione dominante del sito di Aquileia (3-4m d'altitudine) nei confronti del suo ambiente circostante si spiega sopratutto con l'innalzamento artificiale della topografia provocato dalla sovrapposizione dei livelli dell'occupazione romana, paleo-cristiana e medievale. La topografia odierna della citta' romana, si sviluppa tra -1 e -2 metri rispetto al piano di campagna. Considerato che e' stato dimostrato che il sottosuolo nel sito

d'Aquileia era stabile in termini neo-tettonici, il fenomeno è riconducibile a fenomeni di inondazione uniti a deposizioni artificiali post-romane. A sud della citta' fortificata, una vasta area depressa e' prolungata dalla successione dei depositi sabbiosi delle Dune del Belvedere e di San Marco orientate nord-est/sud-ovest .

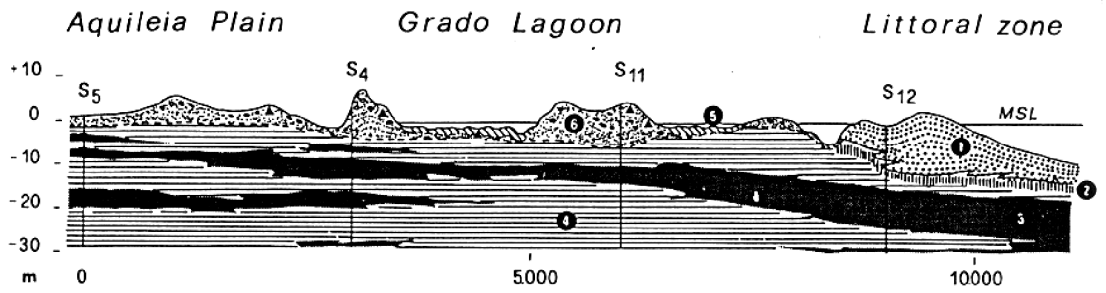
Anche le fonti storiche ed epigrafiche accertano che il sito di Aquileia e' stato edificato in zone umide ed insalubri della pianura friulana. Le medesime fonti storiche indicano inoltre che l'ascesa della città Romana non si sarebbe potuta realizzare se non al costo di imponenti opere di bonifica e drenaggio dei terreni idromorfi. I dati paleoambientali acquisiti nell'ambito degli scavi geoarcheologici, rafforzati anche da carotaggi in profondità (campagna S.A.R.A., 7) e dalla prospezione geofisica del sottosuolo hanno permesso di confermare tale visione. In particolare, la ricostituzione di un transetto ovest-sud-ovest – est-nord-est *(8)* indica che il sottosuolo di Aquileia è caratterizzato dalla presenza di depositi fluviali riconducibili alla fine del Pleistocene. Condizioni più umide sono testimoniate dalla micro-paleontologia dei depositi fini dal 3500 a.C. in poi. Ed è sicuramente in tale ambiente umido che si sviluppa la rete idrografica attorno alla città antica.

Per quanto riguarda la ricostruzione del sistema idrografico, dai dati storici sappiamo che un corso d'acqua, il risultato della confluenza tra il paleo-Natisone ed il paleo-Torre, scorse non lontano da Aquileia nel primo secolo dopo C. ; sicuramente si trattava del paleo-Isonzo.



7.Campagna SARA.

I risultati ottenuti dai paleoambientalisti attestano infatti la presenza di paleo-canali fluviali ad alto potenziale energetico almeno a nord ed est del sito ***(9).*** Inizialmente (IX-VII secolo a.C.) il corso dei paleo-canali segui' prevalentemente una direzione nord-sud, prima di adottare una direzione nord-est – sud-ovest. Questo orientamento fa sicuramente riferimento a quello dei paleo-canali attivi all'inizio della fondazione d'Aquileia nel 181 a.C. Le foci dei paleo- canali evidenziati sono localizzate a sud della citta' fortificata, al di la' dell'attuale laguna di Grado.

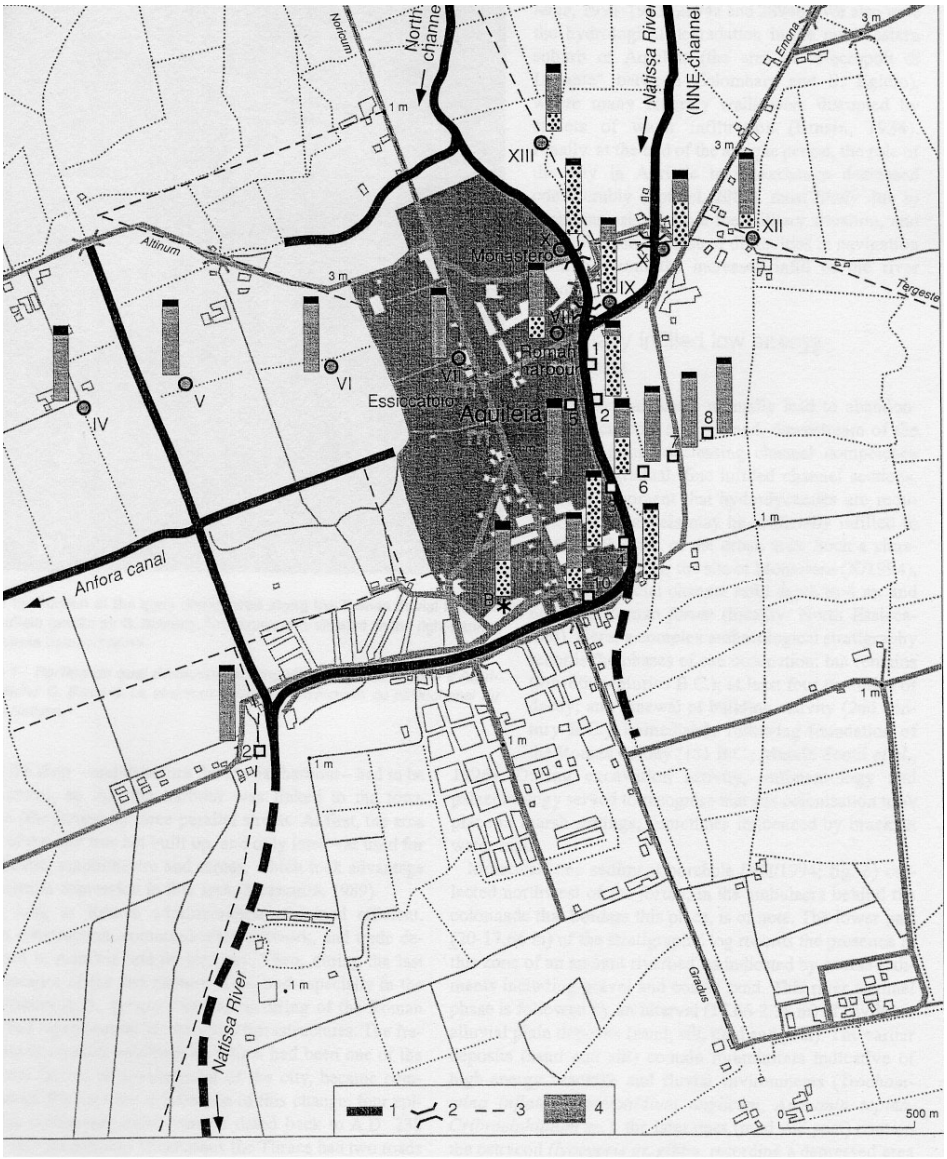


8.-Sezione schematica attraverso la laguna di Grado, nella quale oltre ai sondaggi effettuati,sono indicati i seguenti litotipi:

1-Sabbie litorali; 2-Sabbie di trasgressione marina;
3-Peliti alluvionali con orizzonti torbosi; 4-Sabbie alluvionali; 5-Siltiti di origine lacustre; 6-Sabbie antiche e arenarie (da Lenardon, Marocco, 1994).

La connessione fra il mare ed il porto fluviale d'Aquileia e' garantita da canali fluviali navigabili, naturali o artificiali (Canale Anfora). La direzione nord-est – sud-ovest dei canali artificiali o di alcuni canali cosiddetti naturali (Terzo, Ausa) sembra generalmente conforme all'orientamento del reticolato di centuriazione romano.

Dal punto di vista della caratterizzazione idro-sedimentale dei corsi d'acqua e della loro geometria, lo studio litostratigrafico delle deposizioni alluvionali attesta una continuita' della sedimentazione grossolana dall'Età del Ferro fino all'Epoca Imperiale. Nel settore centrale della città, il sottosuolo mostra la presenza di tre paleo-canali successivi risalenti al periodo compreso fra il 5616 a.C. e 150 d.C. Si stima che il piu' recente tra questi paleo-canali avesse una larghezza di 300-400 m, con una profondita' massima di 9m. Le sue caratteristiche geometriche permettono di paragonarlo all'attuale Isonzo, a valle della confluenza con il Torre.

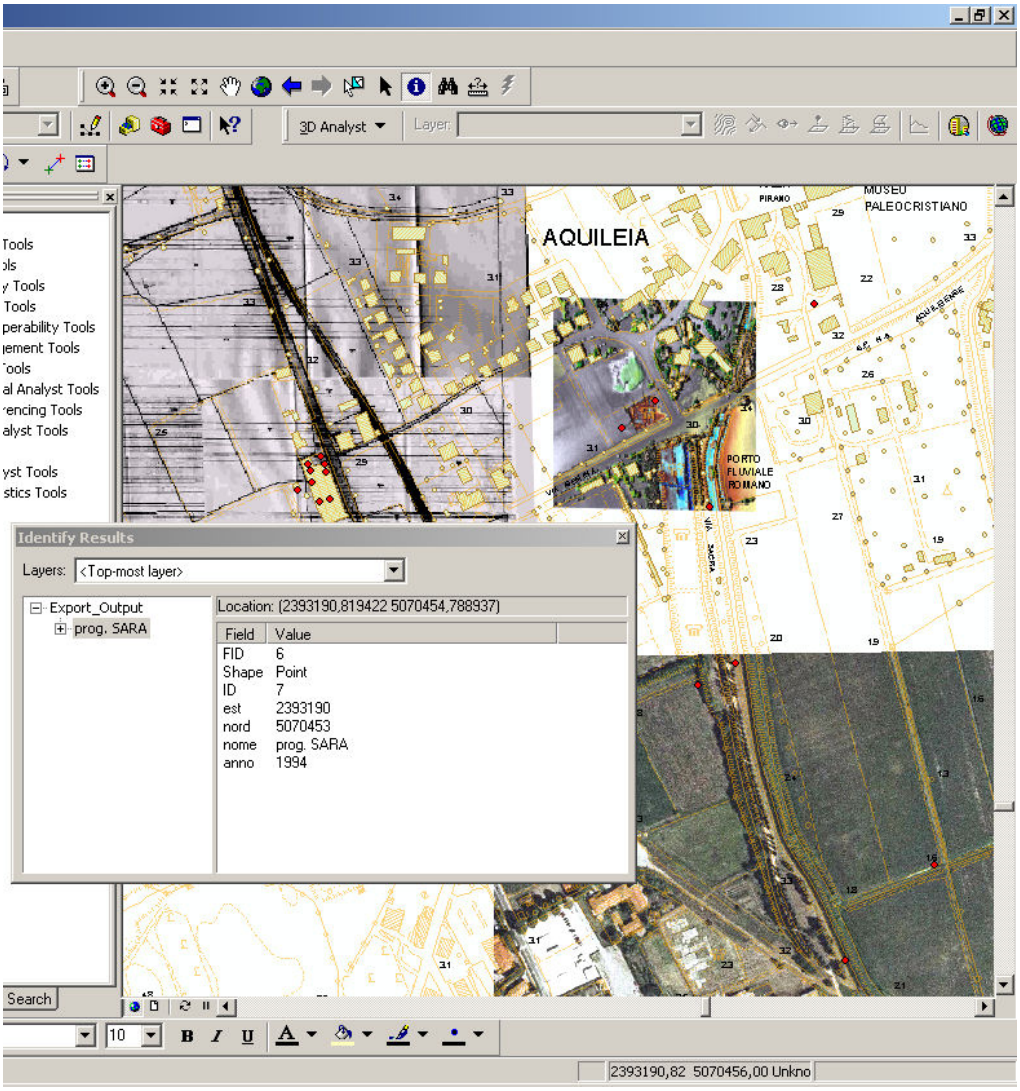


9.Paleo canale.

I calcoli idraulici, in particolare il calcolo della potenza specifica, confermano tale ipotesi ed attestano l'esistenza di una morfologia fluviale di tipo braided, sulla quale la migrazione dei dreni è stata resa possibile dalla progradazione degli argini dei canali, in un contesto di eccesso di carico che ha favorito l'innalzamento del fondo alluvionale; calcoli idraulici condotti nell'ambito del progetto SARA (Subacquea Archeologia Romana Aquileia) promosso dal competente Ministero per i Beni Culturali e coordinato dal locale Museo Archeologico Nazionale di Aquileia in collaborazione con le Università

di Udine(Dipartimento di Georisorse e Territorio) e di Trieste (Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine). Il progetto si è basato sulla realizzazione di circa 30 sondaggi di profondità variabili tra i 20 e 25 metri. I sondaggi diretti più significativi sono posizionati lungo la direttrice ENE-OSO per una lunghezza di circa 3 Km (S2-S12) ad intervalli di circa 200m e quote topografiche tra 1 e 4 m s.l.m.m. Come anticipato, la piana circostante l'abitato è maggiormente depressa ai margini orientale ed occidentale con quote prossime in alcuni casi allo 0 sul l.m.m. Particolare attenzione è stata posta alla distribuzione dei carotaggi in prossimità della frazione di Monastero (S8-S11), dove in passato sono stati rivenuti i resti di tre ponti di epoca romana. In particolare il sondaggio S8, a nord dell'ingresso monumentale al porto fluviale, è stato posizionato a circa 150 m ad occidente rispetto la riva destra del fiume Natissa, nella zona dei magazzini fluviali, in prossimità dell'area recentemente scavata dall' *EFR.* In questa zona è stato quindi possibile un approccio interdisciplinare tra archeologia, paleontologia, sedimentologia e le successive esperienze di prospezioni geofisiche GPR e Georadar.

Sulla base dei dati acquisiti dall'analisi litostratigrfica, sedimentologica, archeologica dei campioni prelevati, sono state redatte delle colonne stratigrafiche di sintesi che descrivono nel dettaglio la successione attraversata dalle perforazioni. I dati archeologici sono stati verificati ed integrati dai dati cronologici rilevati dalle radiodatazioni C14 eseguite su frammenti di legno e torba. In questo progetto SIT le colonne stratigrafiche georiferite puntualmente compaiono sotto forma di immagini *(log)* in formato .jpeg opportunamente archiviate all'interno del database e correlate alle altre informazioni, evidenziate sulla cartografia dalla simbologia ArcMap ***(10).*** Mediante lo strumento *identifier* è possibile puntare il simbolo sulla cartografia ottenendo la descrizione del carotaggio e dei links relativi alle ulteriori informazioni.



10.Descrizione dei sondaggi diretti individuati nel progetto attraverso lo strumento identifier.

2.2.1 I dati geofisici indiretti.

Il caso di studio del Porto romano di Aquileia si è dimostrato interessante per la possibilità di incrocio dei dati ed in particolare per il confronto fra la *metodologia elettrica* e la *Ground Penetrating Radar* (*GPR)*. Si è infatti evidenziata una perfetta integrabilità e corrispondenza tra anomalie elettriche e radar, anche se le informazioni ottenibili utilizzando il *GPR* sono nettamente più dettagliate e precise. L'esperienza maturata in questa applicazione suggerisce per il futuro l'impiego preliminare nell'area di indagine della tomografia elettrica, che permette l'individuazione speditiva e a larga scala dei possibili target di interesse, corredata da una successiva integrazione con una accurata acquisizione *GPR* nelle zone indicate dalla prospezione elettrica.

I risultati delle ricerche sperimentali applicate a quest'area hanno permesso di identificare alcuni obiettivi relativi a possibili manufatti di dimensioni significative e rilevanti dal punto di vista archeologico. Il successivo confronto con i risultati degli scavi archeologici nell'area hanno fornito interessanti analogie tra applicazioni geofisiche e strutture archeologiche scavate.

La metodologia elettrica ha permesso di estendere l'indagine anche in profondità superando quel limite fisico per l'indagine elettromagnetica che è la tavola d'acqua. Tale metodologia è stata applicata con confortanti risultati anche in ulteriori aree di indagine con lo scopo di fornire nuovi elementi sull'evoluzione ambientale e idrogeologica della zona.

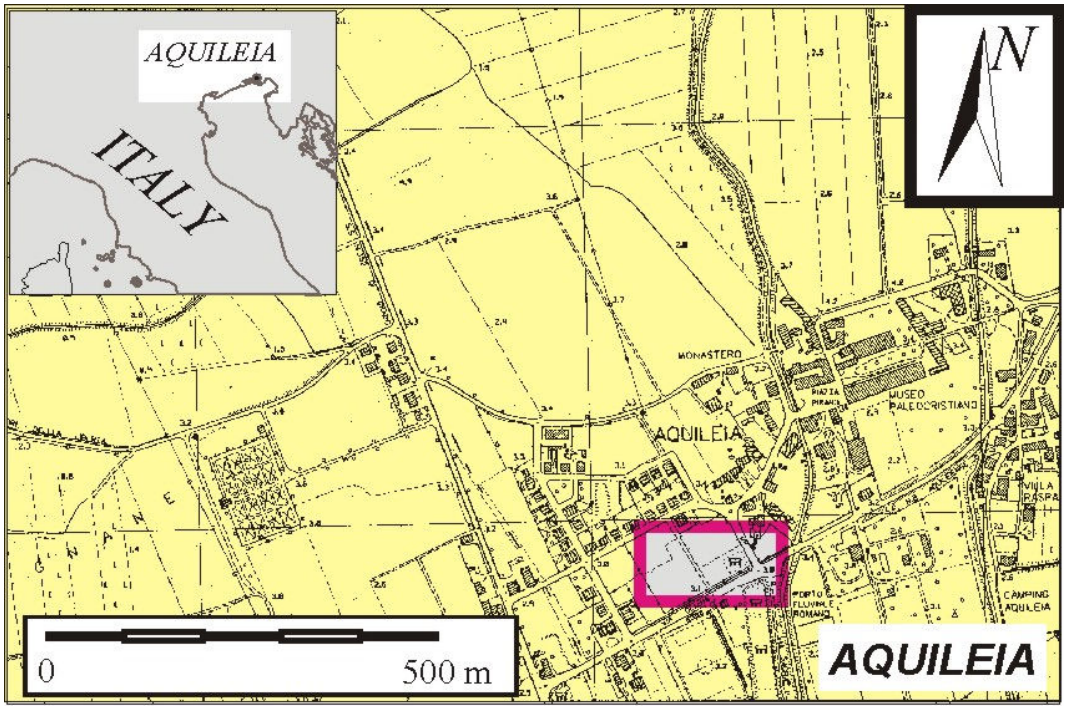
L'indagine *3-D* ha identificato la presenza di strutture archeologiche in un'area esterna alle mura romane di Aquileia ed ha evidenziato la possibile esistenza di un antico alveo legato alla paleo-idrografia dell'area. Si sono evidenziate inoltre delle diversità litologiche a maggior profondità, dati confortati e confermati dall'incrocio con informazioni derivanti da precedenti e successive indagini geofisiche dirette.

Quindi, la *Tomografia Elettrica* ben si presta alla mappatura stratigrafica del sottosuolo, in quanto è possibile ricavare la distribuzione delle resistività nel

sottosuolo che può essere utilizzata per la caratterizzazione e la discriminazione dei materiali.

2.2.2 *Area di indagine.*

Le applicazioni *GPR* e *geoelettriche* sono state effettuate immediatamente a nord e ad ovest dello scavo condotto dall' *EFR* nella zona a nord del Porto romano di Aquileia oltre la via Gemina (***11***).



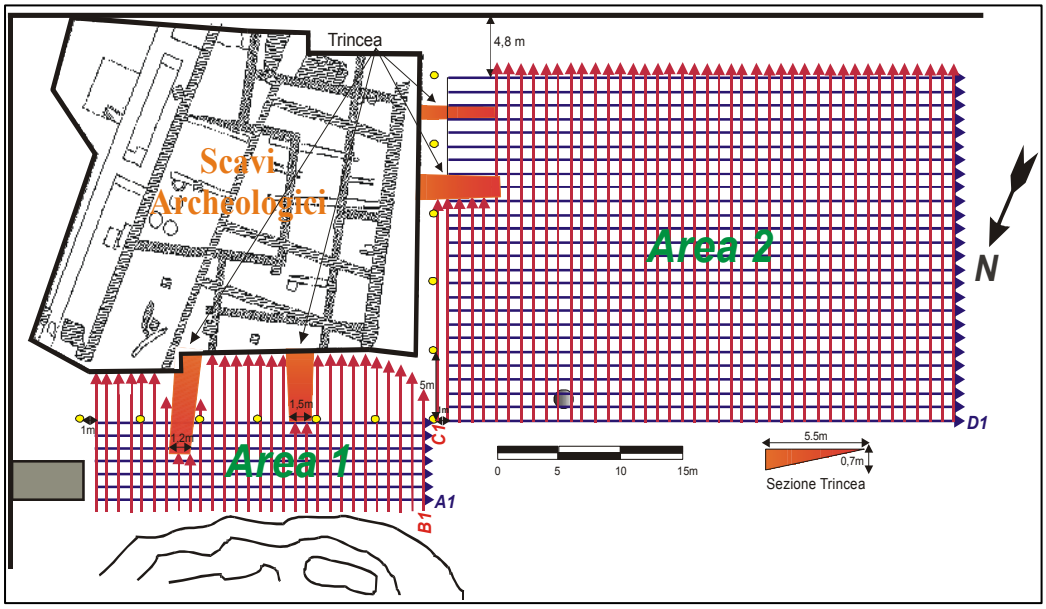
11. Aquileia e la zona interessata agli scavi archeologici e all'indagine GPR.

L'estensione dell'area interessata da queste applicazioni è di circa 1500 m^2 ***(12).*** Test preliminari uniti alla consapevolezza di voler indagare obiettivi a profondità non superiori a 2,5 m hanno suggerito l'impiego di antenne con frequenza 100, 200 e 250 MHz. Un'analisi superficiale del terreno e delle sue componenti ha permesso di scegliere i parametri di acquisizione senza dover effettuare dei test preliminari.

Sono stati acquisiti due grigliati:

Area 1: dimensione (7x30m), formata da 30 profili in direzione N-S spaziate di un metro; ortogonalmente a questi, 8 profili in direzione E-O.

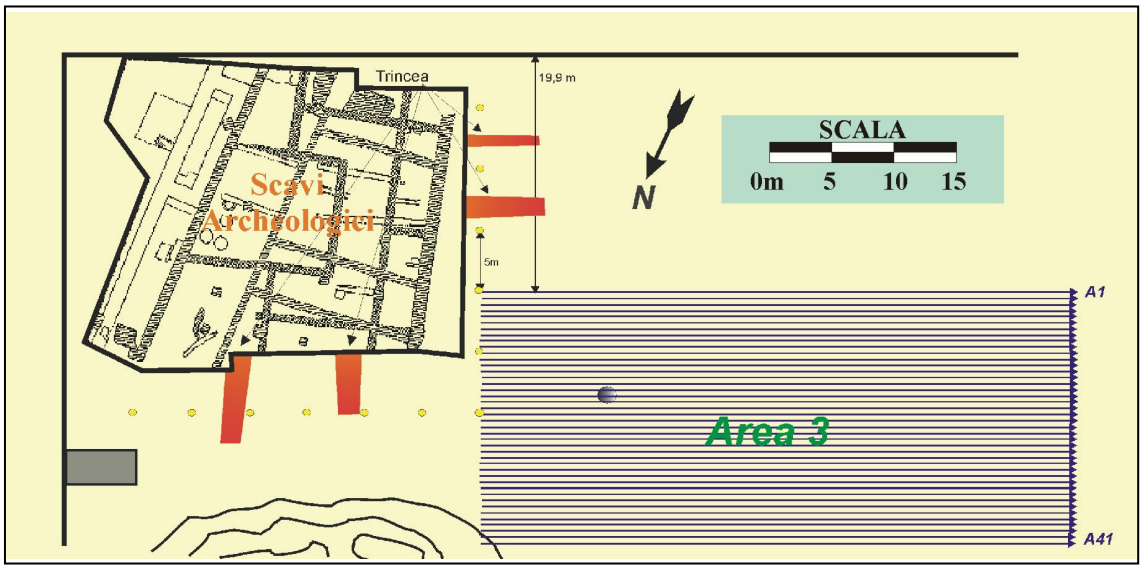
Area 2: dimensione (25x42m), formata da 43 profili in direzione N-S, 26 profili in direzione E-O. Questo tipo di acquisizione è stato sperimentato dal Gruppo di Esplorazione Geofisica nell'ambito di varie campagne di acquisizione sul territorio nazionale ed all'estero e rappresenta il metodo più vantaggioso per ricerche di questo tipo (Pipan et al., 1999). Infatti in fase di elaborazione viene costruito un volume di dati che permette di ottenere una serie di sezioni verticali e orizzontali (*timeslice*) utili per visualizzare la continuità laterale delle strutture sepolte.



12. Aquileia, Porto Fluviale: mappa dei profili georadar acquisiti nell'area adiacente gli scavi. In giallo i punti topografici di riferimento (luglio 2000)

Per poter avere indicazioni sulle velocità delle onde elettromagnetiche nel sottosuolo e poter convertire i tempi delle riflessioni in profondità sono stati acquisiti alcuni *CDP* (*Common Depth Point*) in vari punti dell'area. La lunghezza totale dei profili acquisiti è stata di circa 6500 metri lineari.

A queste si aggiunge una successiva area di indagine *georadar* (**Area 3**) estesa per circa 1100 m² a Nord-Ovest degli scavi scelta all'uopo per il successivo incrocio con le sperimentazioni *geoelettriche*. In ***(13)*** è riportata schematicamente la mappa di posizionamento dei profili *georadar* (evidenziati in blu) che complessivamente hanno raggiunto una lunghezza di 2300 m. La spaziatura è stata ridotta a 0.5 m in considerazione delle dimensione delle strutture cercate e della definizione richiesta. L'intervallo tra le tracce è stato scelto pari a 5 cm per poter avere la necessaria ridondanza dei dati utile in fase di elaborazione. La misura di tale distanza è stata effettuata tramite odometro. L'umidità del terreno al momento dell'acquisizione (giugno 2002) era abbastanza bassa, soprattutto in superficie, anche in considerazione del lungo periodo di siccità. Queste condizioni hanno favorito l'acquisizione dei dati *georadar* in quanto la resistività dei materiali asciutti è maggiore e di conseguenza migliorano le prestazioni dello strumento.

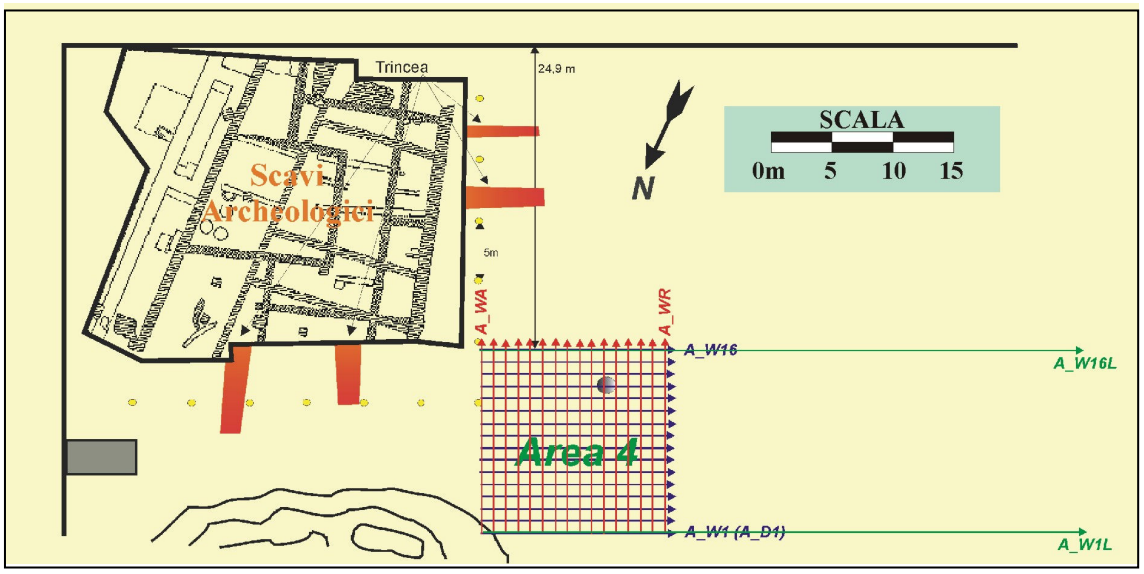


13. Aquileia, Porto Fluviale; mappa dei profili georadar acquisiti nell'area 3 (giugno 2002).

Come anticipato, scopo di questa applicazione era anche quello di verificare un possibile incrocio tra la metodologia *GPR* e la tomografia elettrica. Per poter paragonare direttamente i due metodi, i profili *geoelettrici* sono stati acquisiti su una parte della medesima area interessata all'indagine *georadar*

(area 4, *14*), secondo uno schema appositamente studiato per ottenere un alto numero di valori di resistività apparente da sfruttare in fase di elaborazione. Si è scelto di operare acquisendo due griglie di profili ortogonali tra loro. Poiché il numero di elettrodi a disposizione era 16, ogni griglia è costituita da 16 profili paralleli con spaziatura di 1 m. La spaziatura degli elettrodi è di 1 m. I dati sono stati acquisiti con il dispositivo "Wenner"; lo strumento opportunamente configurato per ogni profilo eseguiva autonomamente tutte le misurazioni possibili (35 valori).

La profondità teorica di investigazione raggiunge i 2.5 metri. Sui due profili esterni della griglia sono state acquisite due *sezioni geoelettriche* (A_W1L e A_W16L) aumentando la spaziatura tra gli elettrodi in modo da raggiungere un profondità superiore (7 metri) e raccogliere qualche informazione sulla geologia del sottosuolo. Vedi (***14)*** per lo schema dei profili geoelettrici.

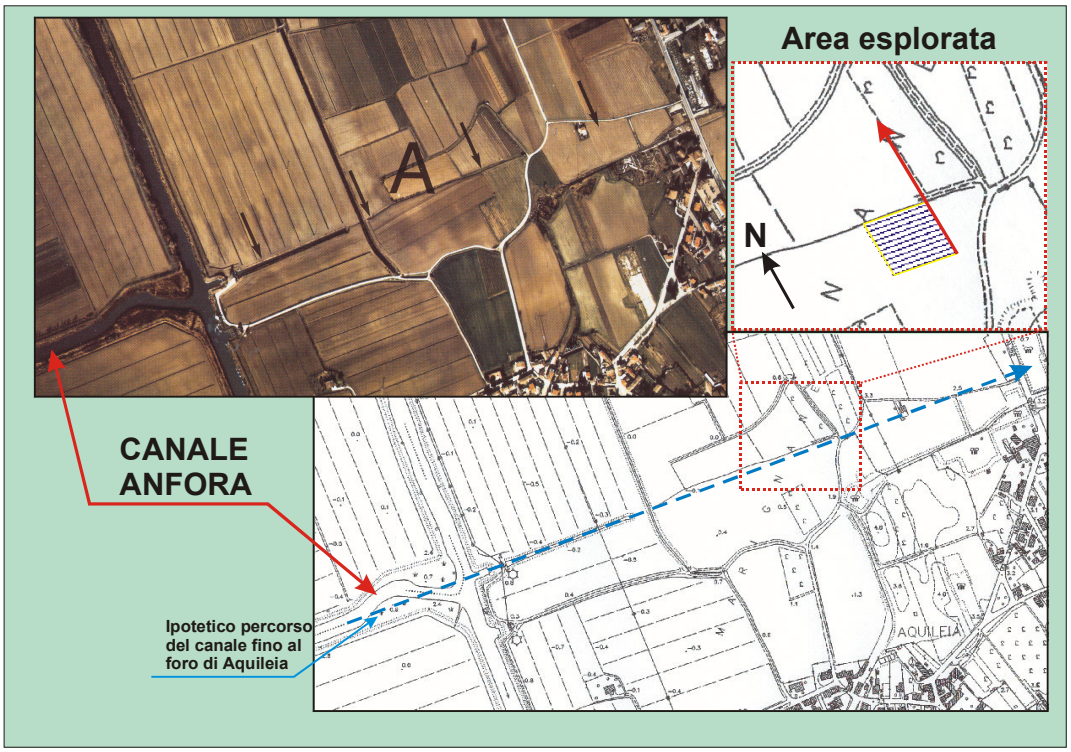


14. Mappa di posizionamento dei profili geoelettrici (settembre 2002).

L'utilizzo delle metodologie geofisiche 3D è stato sperimentato in un'indagine di tipo idrogeologico in località Marignane (immediatamente a Nord-Ovest dell'abitato aquileiese. L'obiettivo era individuare l'eventuale proseguimento verso est del Canale Anfora, importante esempio di opera idraulica artificiale la cui costruzione si fa risalire all'epoca romana. Il percorso

del canale artificiale segue la centuriazione romana anche se il suo sbocco a mare risulta oggi interrato. Attualmente questo canale inizia dal fiume Terzo subito ad Ovest di Aquileia.

L'area di indagine è stata scelta in modo da intersecare l'eventuale alveo del canale Anfora in una zona caratterizzata da estese coltivazioni agricole immediatamente ad Ovest del tracciato delle vecchie mura romane di Aquileia. La presenza di un canale di scolo la cui direzione "casualmente" quasi coincide con quella del canale Anfora (profondità massima di 0.7 m per una larghezza sommitale di 2.5 m) e la presenza di terreni appena seminati ha costretto di limitare l'indagine all'area di ***(15).*** Oltre ai 16 profili del grigliato (distanza tra gli elettrodi di 2m) sono stati eseguiti 3 profili di maggior lunghezza (distanza tra gli elettrodi di 3, 4 e 5 m) per indagare più in profondità il terreno.

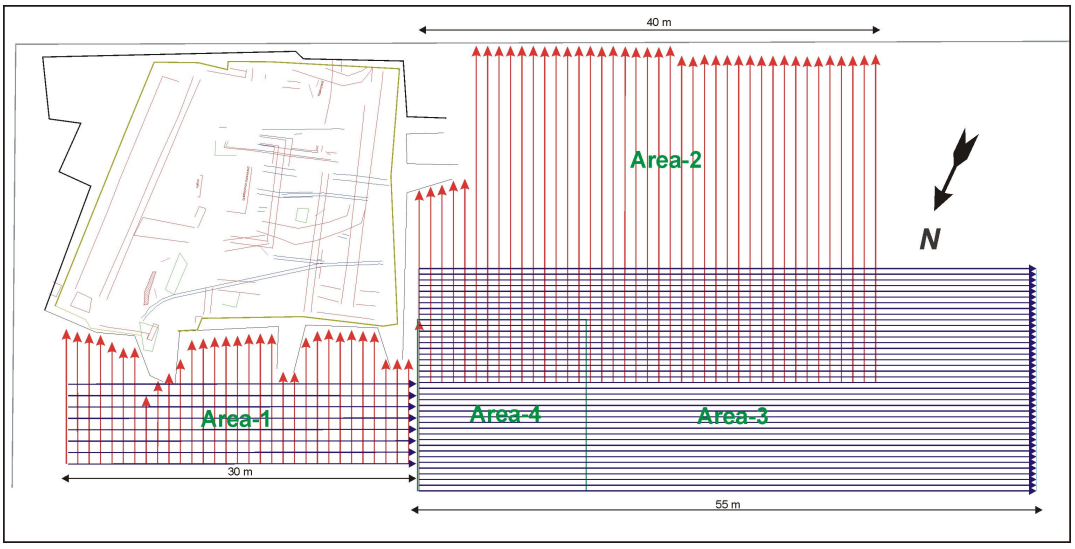


15. Mappa di posizionamento dei profili geoelettrici nell'area del Canale Anfora (ottobre 2002).

2.2.3 *Interpretazione dei dati georadar.*

Sono stati acquisiti complessivamente 3 grigliati di profili *GPR* attorno ad un'area di circa 900 m² interessata da scavi archeologici (***16***).

Le moderne metodologie di scavo hanno dato modo di identificare le diverse fasi di occupazione dell'area e la riutilizzazione o sovrapposizione delle strutture in epoche diverse. Le preziose indicazioni fornite dagli archeologi dell'*EFR*, hanno permesso di utilizzare l'interpretazione dei dati per seguire l'andamento delle principali strutture scavate, e, dove possibile, di identificare le diverse fasi costruttive rilevate.

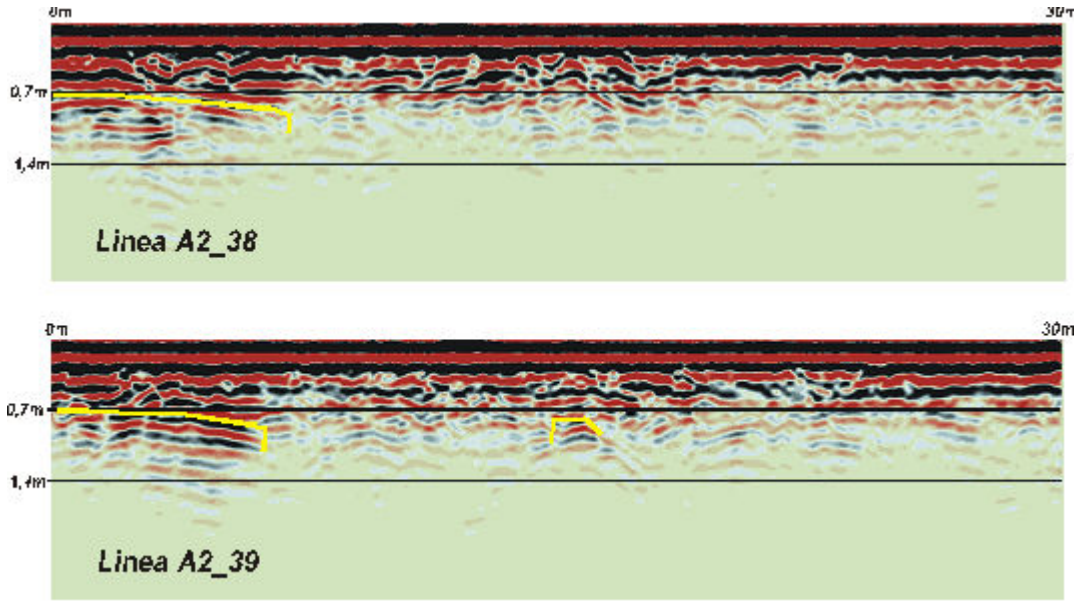


16. Aree interessate da indagini *GPR* presso gli scavi dell'EFR.

La tecnica delle *timeslice* è sicuramente il miglior metodo interpretativo per seguire l'andamento orizzontale delle principali strutture di interesse variando opportunamente la profondità. In post processing l'insieme dei profili raccolti in un'area è stato organizzato in modo da poter visualizzare sia le singole sezioni verticali e sia un'unica sezione orizzontale ad una determinata profondità. Per l'alto numero di profili *GPR* raccolti, l'interpretazione con il metodo delle *timeslice* è stata eseguita separatamente per ognuna delle tre aree indagate.

L'area 1 a nord dello scavo è caratterizzata da un'ottima qualità dei dati *GPR* e l'interpretazione, eseguita sui profili elaborati, è stata particolarmente accurata. Su tutte le sezioni sono infatti osservabili dei riflettori posti a profondità variabili tra 0.7 e 2.5 metri. In fase di elaborazione è stato possibile convertire i tempi in profondità [cm], una volta note le velocità di propagazione dell'onda elettromagnetica nel terreno. Nel caso in esame, è stata calcolata una velocità media di 8 cm/ns, in base a misure a copertura multipla effettuate nell'area in punti selezionati del grigliato.

Le strutture evidenziate nell'interpretazione dei profili sono generalmente identificabili come resti di mura che seguono perfettamente alcuni degli allineamenti evidenziati negli scavi adiacenti. E' interessante notare come in alcuni profili si possano evidenziare una sovrapposizione di strutture. Ciò sottolinea da un lato l'ottima qualità dei dati *GPR* e dall'altro come storicamente l'area sia stata interessata da più fasi costruttive. Vedi (***17)*** per immagine profilo *GPR*.



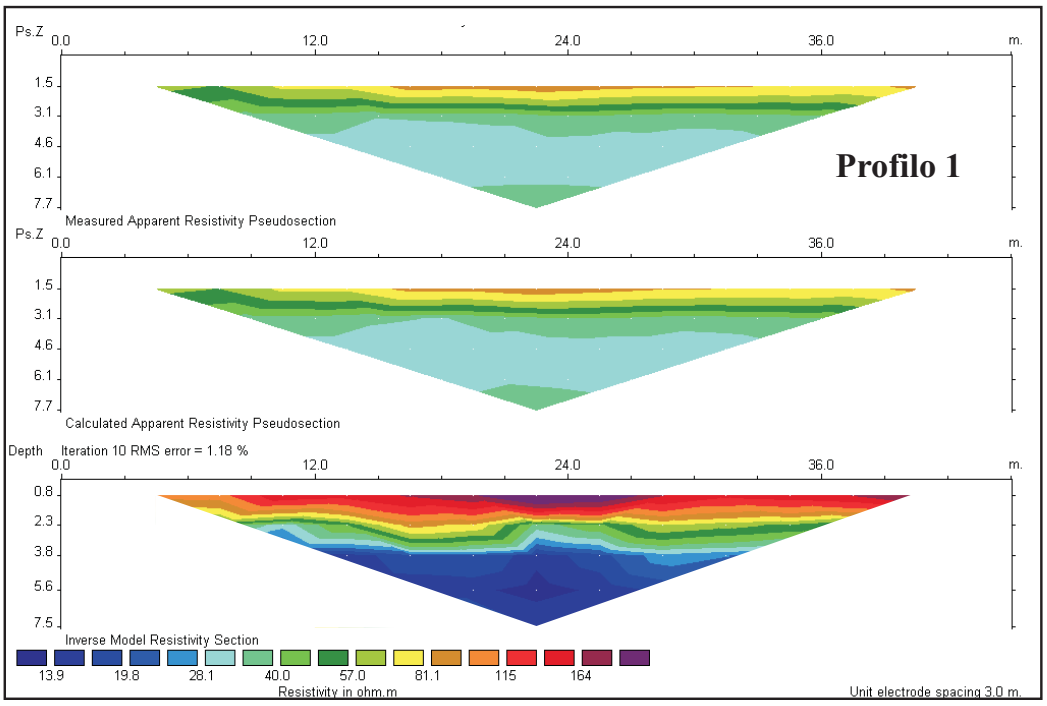
17.Profilo GPR.

L'uso di tutte queste informazioni, cosi come suggeritoci dagli archeologi, è stato tradotto nel progetto SIT del Porto Fluviale attraverso l'implementazione di links alle immagini dei profili più significativi, in particolare in corrispondenza dello scavo EFR a nord del Porto.

2.2.4 *Interpretazione dei profili geoelettrici.*

Nell'area indagata con la metodologia geoelettrica (Area 4) sono stati acquisiti due grigliati ortogonali di 16 profili ciascuno spaziati di 1 metro (distanza tra gli elettrodi di 1 metro). L'elaborazione di ogni singolo profilo ha fornito i primi elementi di interesse sulla distribuzione della resistività nel sottosuolo fino alla profondità di circa 7 metri. I valori più alti di resistività, evidenti nella parte più superficiale di ogni profilo, indicano la presenza di possibili strutture archeologiche fino alla profondità di circa due metri. Al di sotto si nota un brusco calo dei valori spiegabile con la presenza della tavola d'acqua (piuttosto bassa a causa di un lungo periodo con scarse precipitazioni). E' interessante notare come questa metodologia permetta di indagare il terreno anche al di sotto della tavola d'acqua che invece rappresenta un limite per il *GPR*. I due profili geoelettrici acquisiti con la distanza tra gli elettrodi di 3 metri hanno permesso di estendere la ricerca fino a circa 7 metri di profondità. Risulta maggiormente evidente in questo caso la presenza della tavola d'acqua a circa 3.5 metri ***(18)*** che è sottolineata dal marcato calo dei valori di resistività (tra i 10 e 20 ohm m). Il limite della tavola d'acqua risulta leggermente superiore nella parte sinistra delle sezioni ed è probabilmente legato alla presenza del fiume Natissa, circa 50 metri più a est. Come prodotto conclusivo dell'intero lavoro di interpretazione è stata costruita la mappa digitale ***(19),*** in cui schematicamente sono state inserite le principali strutture individuate. Risulta immediatamente evidente come per le principali strutture con sviluppo longitudinale (con buona probabilità si tratta di resti murari) seguono un andamento Est-Ovest oppure Nord-Sud. Per distinguerle sono state indicate in giallo le prime ed in rosa le altre. Questa distinzione cromatica è dettata anche dal fatto che le strutture con

andamento Est-Ovest risultano spesso sovrapposte a quelle con andamento Nord-Sud (ciò si verifica soprattutto nell' *area 1*), anche se questo non indica una differenza sull'epoca della loro costruzione. Nelle aree *2* e *3* questa sovrapposizione è meno evidente oppure risulta rovesciata.



18. Immagine profilo geoelettrico relativo all'indagine in area 4. In evidenza la tavola d'acqua a -3,5m.

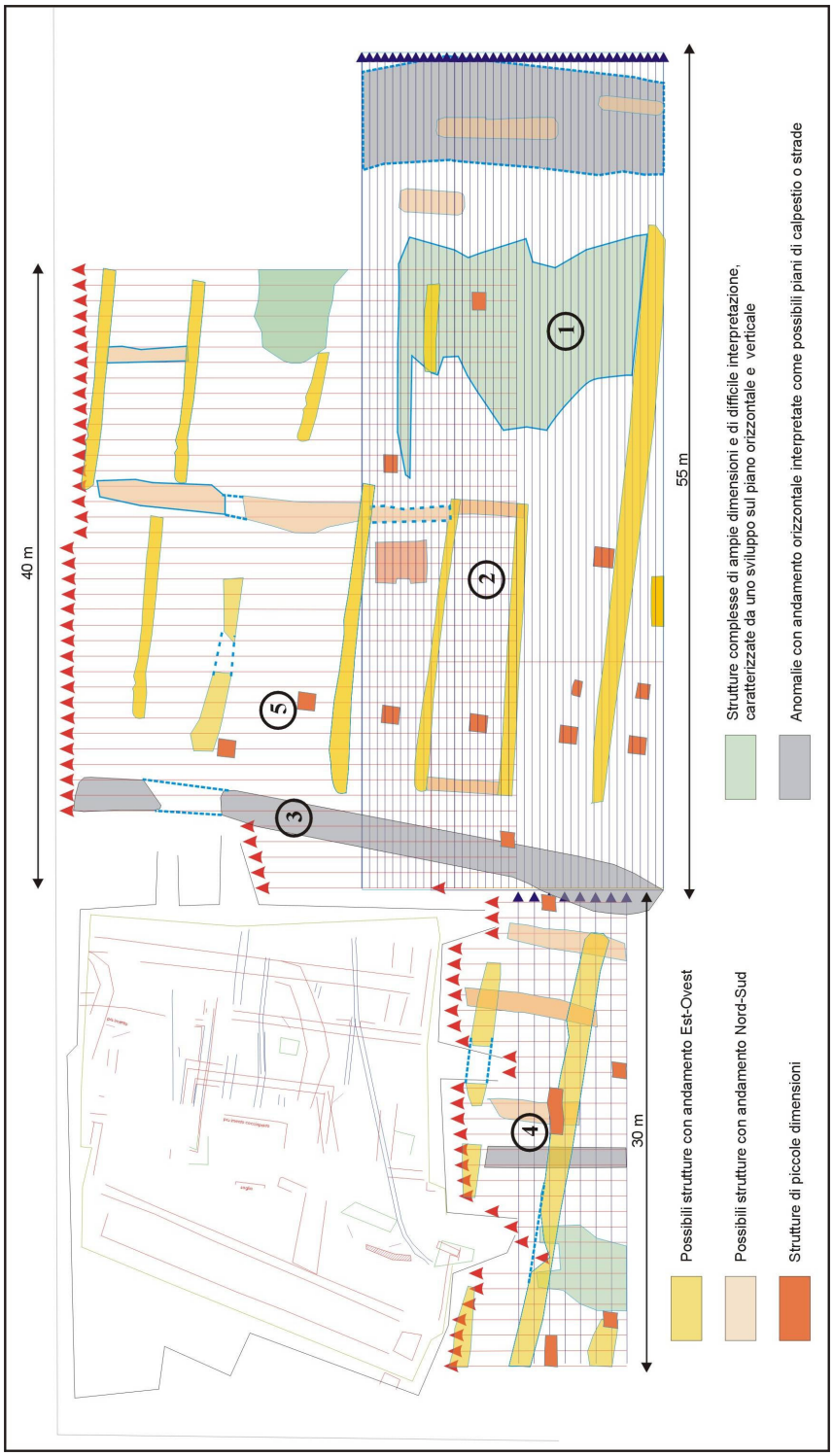
E' il caso delle quattro strutture che delimitano il quadrilatero indicato nella mappa con il numero (2); le mura di colore giallo sono situate ad una profondità maggiore di quelle in rosa.

In colore arancione sono state indicate delle strutture di minori dimensioni (circa 1 m x 1 m) che possono indicare le basi di pilastri e che a volte seguono gli stessi andamenti delle strutture di maggiori dimensioni (ad esempio il numero 5 sulla mappa).

Le strutture più complesse sono state evidenziate in colore verde. E' anche il caso del riflettore pseudo-orizzontale individuato sui profili delle aree *2* e *3*; la sua dimensione spaziale risulta abbastanza enigmatica poiché non presenta un forma geometrica caratteristica ma presenta notevoli variazioni in tutte le

direzioni (numero 1 della mappa). Tale struttura è limitata verso nord e, in modo meno evidente, verso sud da delle strutture murarie. Mentre verso est e ovest i margini risultano molto più frammentati. Sicuramente nel mezzo sono presenti altre strutture di piccole dimensioni sovrapposte.

Alcune anomalie orizzontali che potrebbero indicare la presenza di strade o di piani di calpestio sono state indicate in colore grigio. Quella indicata nella mappa con il numero 3 è stata ipotizzata dagli stessi archeologi.


40 m
55 m
30 m
1
2
3
4
5
Strutture complesse di ampie dimensioni e di difficile interpretazione, caratterizzate da uno sviluppo sul piano orizzontale e verticale
Anomalie con andamento orizzontale interpretate come possibili piani di calpestio o strade
Possibili strutture con andamento Est-Ovest
Possibili strutture con andamento Nord-Sud
Strutture di piccole dimensioni

19.

2.2.5 *Il Ground Penetrating Radar (GPR).*

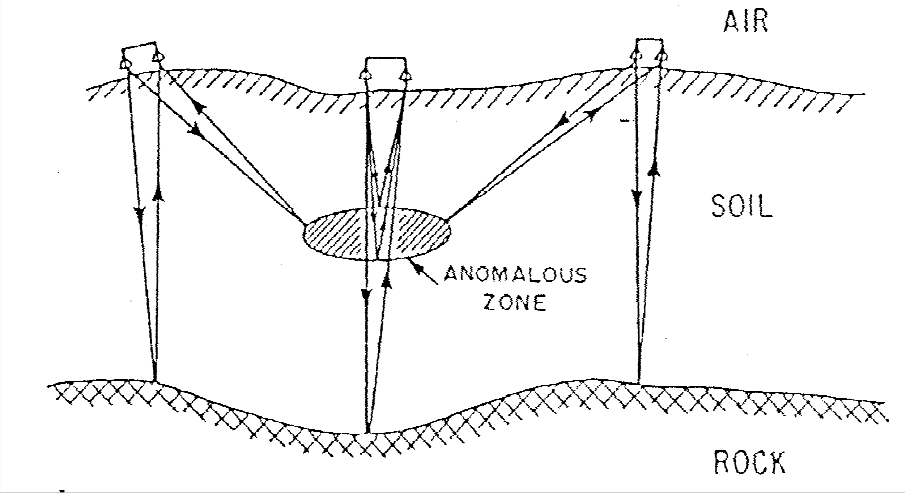
Il termine *GPR* o *Georadar* (acronimo di *Ground Penetrating Radar*) viene impiegato per descrivere un'ampia gamma di applicazioni elettromagnetiche finalizzate alla ricerca ed individuazione di oggetti o superfici di discontinuità sepolte a profondità comprese entro i 50 metri (per indagini in terreni o masse rocciose).

Negli anni '70 il GPR si è affermato come strumento di indagine geofisica ad alta risoluzione grazie ai primi strumenti portatili, successivamente, parallelamente allo sviluppo dei primi strumenti digitali, l'applicazione di sofisticate tecniche di trattamento del segnale hanno aperto nuove prospettive per le indagini ad alta risoluzione. Attualmente il GPR viene impiegato nella ricostruzione di immagini del sottosuolo a profondità variabili dai primi 50 cm. Nel nostro caso le sue peculiarità sono state adattate ad indagini archeologiche ma può essere agilmente applicato alla geologia, l'ingegneria civile, l'ambiente, nell'individuazione di ordigni inesplosi, reti tecnologiche in metallo e non o negli studi sulle pavimentazioni stradali ed aeroportuali.

2.2.5.1 *Principi di funzionamento.*

Il principio su cui si fonda la metodologia GPR è simile a quello della sismica a riflessione; lo strumento, attraverso un'antenna trasmittente sorgente, produce un transiente elettromagnetico con picco di massima ampiezza compreso tra i 10 ed 1 GHz, in funzione delle caratteristiche dell'antenna utilizzata ***(20).*** L'impulso è inviato nel terreno e gli eventuali contrasti di proprietà elettromagnetiche presenti nel sottosuolo determinano la parziale o totale riflessione del segnale che viene rilevato attraverso un'antenna ricevente come *traccia radar*. La *sezione radar* corrisponde all'insieme di tracce che si ottengono facendo scivolare la coppia di antenne sulla superficie del terreno ed effettuando misurazioni ad intervalli regolari. La quantità di energia che ritorna riflessa in superficie sarà funzione della attenuazione dovuta al terreno. Tale

attenuazione è tanto più forte quanto più è elevata la frequenza. Utilizzando alte frequenze si possono quindi raggiungere obiettivi situati a profondità ridotte, il vantaggio è che queste frequenze forniscono immagini più dettagliate del sottosuolo. E' necessario quindi individuare un compromesso tra la profondità di indagine ed il livello di dettaglio che si desidera ottenere. Un fattore determinante per la buona riuscita di una prospezione GPR è l'omogeneità dei mezzi geologici indagati. Diversità di composizione ed in particolare la presenza d'acqua provocano variazioni consistenti delle caratteristiche dielettriche del terreno. I terreni sabbiosi asciutti e le rocce compatte e poco porose garantiscono la massima penetrazione del segnale mentre i valori minimi si ottengono in terreni argillosi ed umidi.

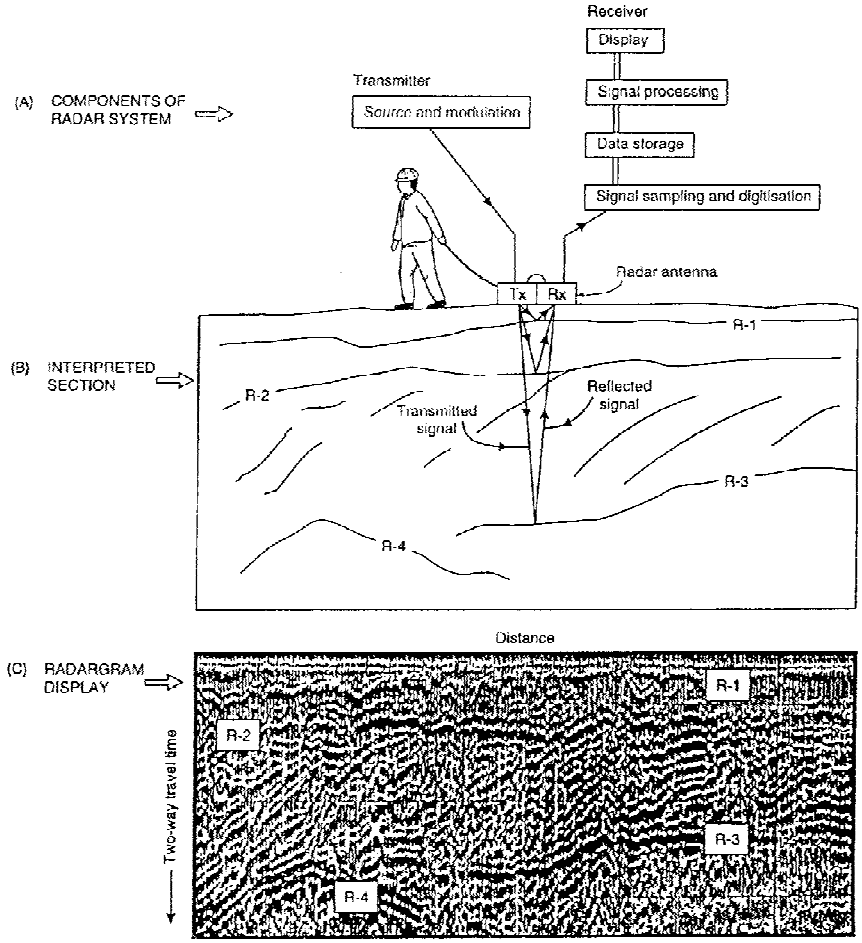


20. Principi del ground penetrating radar (Davis e Annan, 1989).

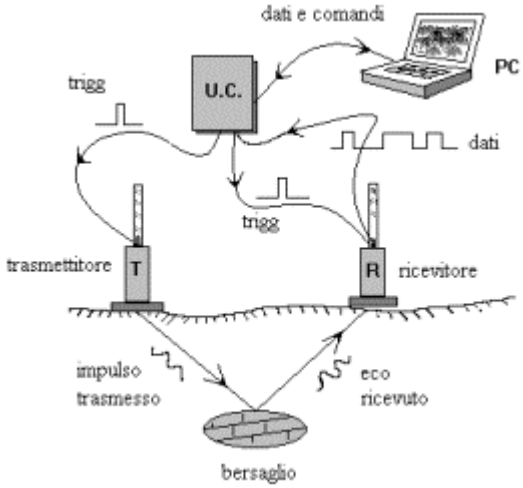
L'equipaggiamento per eseguire una prospezione GPR, in generale, consta di quattro unità principali ***(21a_b):***

- un'unità centrale con funzione di sorgente impulsiva, controllo, raccolta e organizzazione dei dati;
- un'antenna schermata, oppure una coppia di antenne normalmente di tipo "TEM horns" o dipoli resistivi, con funzione di trasmettitore e di ricevitore;

- un dispositivo di campionamento e di conversione numerica dei segnali analogici. I convertitori analogico/digitale di un tipico sistema commerciale attualmente sono a 16 bit;
- un PC che comprende un sistema di memorizzazione dei segnali numerici, e dispositivi di elaborazione dei segnali e di interfaccia grafica per la rappresentazione su schermo dei segnali.



21a. Diagramma semplificato dei (A) costituenti del sistema radar con (B) la sezione interpretata del (C) radargramma in display (da Reynolds, modificato, 1997).



21b. Schema dell'equipaggiamento di un sistema Ground Penetrating Radar.

I parametri fondamentali di cui tener conto in una prospezione GPR sono fondamentalmente questi:

- **Proprietà elettriche del terreno:** conoscere le proprietà elettriche del terreno da investigare è molto importante, data la loro dipendenza dalla frequenza. Per i campi elettromagnetici, sotto ad una frequenza di transizione, si può parlare di diffusione attraverso un materiale piuttosto che di propagazione. Alle alte frequenze i materiali che contengono acqua mostreranno un'alta attenuazione dovuta al meccanismo di rilassamento delle molecole d'acqua. Quando si selezionano le frequenze operanti, bisognerà cercare di cadere in questo intervallo nel quale la velocità e l'attenuazione possono essere assunte quasi costanti.
- **Risoluzione:** Il potere risolutivo di un radar è dato dall'ampiezza di banda del sistema che è intimamente legato con la frequenza centrale.
- **Fenomeno del clutter:** La potenza dei fenomeni di riflessione e scattering è determinata dal rapporto tra le dimensioni degli oggetti e la lunghezza d'onda. In generale, quando le dimensioni degli obiettivi sono piccole se paragonate alla lunghezza d'onda, allora il segnale di ritorno sarà debole.

- **Situazione logistica:** La selezione della frequenza da usare viene fatta sul terreno. Infatti gli ostacoli fisici presenti potrebbero costringere all'utilizzo di un'antenna piuttosto di un'altra. Bisogna, infatti, considerare che il raggio della sfera d'influenza, attorno ad un'antenna, in aria, è pari a circa alla lunghezza d'onda.
- **Interferenze esterne:** Siccome il sistema GPR lavora nella banda di frequenza delle radiocomunicazioni è possibile che un segnale radio possa essere attivo nelle vicinanze dell'area d'indagine radar. Per rendere minima la sensibilità del radar a questo "rumore" esterno, è bene selezionare, in modo adeguato, il valore della frequenza di prospezione in modo tale da essere il più lontano possibile da qualsiasi frequenza che possa generare dei segnali spuri nei dati GPR.

Il GPR è una metodologia di *imaging* basata sulla ricezione delle riflessioni dovute alle variazioni delle proprietà elettromagnetiche del mezzo indagato, ma il radargramma sarà il risultato di una vasta tipologia di onde intercettate dall'antenna ricevente.

L'informazione utile, relativa cioè al posizionamento e all'andamento del target sarà contenuta esclusivamente nelle onde, le quali in seguito alle anomalie del mezzo, saranno riflesse e raggiungeranno l'antenna ricevente; tutti gli altri meccanismi che permetteranno alle onde elettromagnetiche raggiungere la sezione ricevente, produrranno dei segnali senza alcun contenuto utile rispetto al target. Questi rumori mascherano il segnale rendendone difficile l'interpretazione. Il primo segnale che viene registrato da un record è rappresentato dall'*onda diretta in aria* (*direct wave*) la quale si propaga in essa dall'antenna trasmittente a quella ricevente. Il secondo segnale generalmente registrato è l'*onda diretta nel mezzo* che si propaga lungo l'interfaccia aria-mezzo con velocità pari alla velocità del mezzo stesso e percorrendo la minima traiettoria tra le antenne. Il comportamento dell'*onda rifratta*, invece, è regolato dalla *legge di Snell* e dall'angolo di incidenza della radiazione che giunge alla

superficie di discontinuità fra due mezzi aventi diversa velocità di propagazione. Se l'angolo di incidenza è inferiore all'angolo critico, il raggio rifratto penetrerà nel secondo mezzo con una angolazione rispetto alla verticale maggiore di quella di incidenza (ammesso che la velocità del secondo mezzo risulti maggiore rispetto a quella del primo); con un angolo minore nel caso opposto per il quale non sarà possibile ricevere tale raggio. Quando il raggio incidente raggiunge la superficie con un angolo pari all'angolo critico, sempre considerando la velocità del secondo mezzo maggiore rispetto a quella del primo mezzo, si verifica che il raggio rifratto non penetra nel secondo mezzo ma si propaga lungo la superficie di discontinuità con una velocità pari a quella del materiale sottostante. Si parla invece di *onde diffratte* nel caso in cui l'onda incontra uno spigolo, un oggetto o una discontinuità le cui dimensioni siano paragonabili alla lunghezza d'onda del segnale. Le *onde riflesse* costituiscono la tipologia di onde più importante, in quanto costituiscono il segnale primario contenente l'informazione relativa al target dell'acquisizione.

2.2.6 *Indagini geoelettriche.*

I metodi di prospezione *geoelettrica* si suddividono essenzialmente in metodi attivi e passivi:

- I **metodi passivi** utilizzano le correnti elettriche naturali esistenti nel sottosuolo misurandone semplicemente le variazioni spaziali che esistono indipendentemente dalle prospezioni;
- I **metodi attivi** utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno misurando la risposta dello stesso.

Tra i metodi passivi si possono annoverare: il metodo dei potenziali spontanei, quello delle correnti telluriche, il metodo magnetotellurico e quello dei carotaggi elettrici nei perfori.

Tra i metodi attivi, quello più comunemente utilizzato è il cosiddetto "**metodo di resistività**". Alcune proprietà elettriche delle rocce come i potenziali elettrici

naturali, la costante dielettrica e la conducibilità elettrica (o il suo reciproco, la resistività), sono infatti significative per le prospezioni elettriche.

2.2.6.1 La resistività elettrica delle rocce.

L'obiettivo delle moderne prospezioni elettriche è di ottenere, partendo dai valori di *resistività apparente* acquisiti sul campo, dei modelli di *resistività reale* del sottosuolo, perché è soltanto quest'ultima ad avere un vero significato geologico. La resistività apparente è il valore ottenuto tramite il prodotto della resistenza R misurata ed un fattore geometrico K dato dalla disposizione degli elettrodi

$$\rho_a = R \cdot K$$

dove *K* si misura in metri, *R* in ohm, quindi la resistività apparente si misurerà sempre in Ω·m e può essere anche negativa.

Brevemente, se consideriamo un singolo elettrodo di corrente immesso in un mezzo omogeneo di resistività ρ, la corrente si propaga radicalmente ***(23)***. La caduta di potenziale tra due punti del raggio può essere descritta dal gradiente del potenziale $-(\Delta V/\Delta x)$, negativo perché decresce nella direzione di propagazione. La **densità di corrente J** è data dalla corrente I diviso l'area sulla quale quest'ultima è distribuita (ad esempio, nel caso di un elettrodo posto sulla superficie del terreno, l'area di distribuzione sarebbe emisferica: $2\pi r^2$); pertanto J diminuisce all'aumentare della distanza dalla sorgente. Se invece gli elettrodi sono due, di segno opposto, si avrà che il flusso viaggerà lungo delle linee curve che connettono i due elettrodi di corrente. In ***(24)*** si vedono sei linee di corrente (linee rosse). Il potenziale V_P di un qualsiasi punto P del mezzo sarà dato dalla somma dei voltaggi dei due elettrodi in quel punto:

$$V_P = V_A - V_B$$

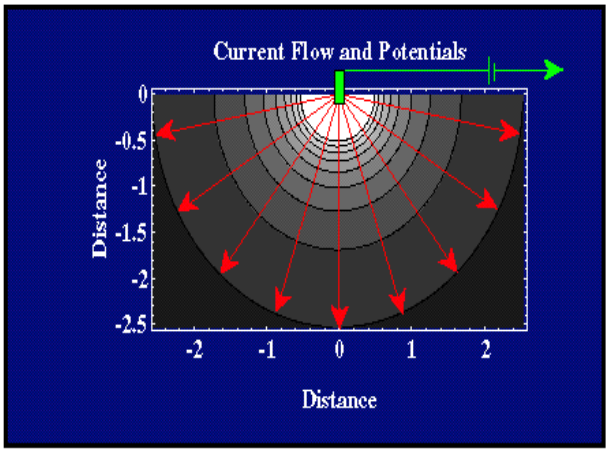
dove V_A e V_B sono i contributi dei due elettrodi A e B.

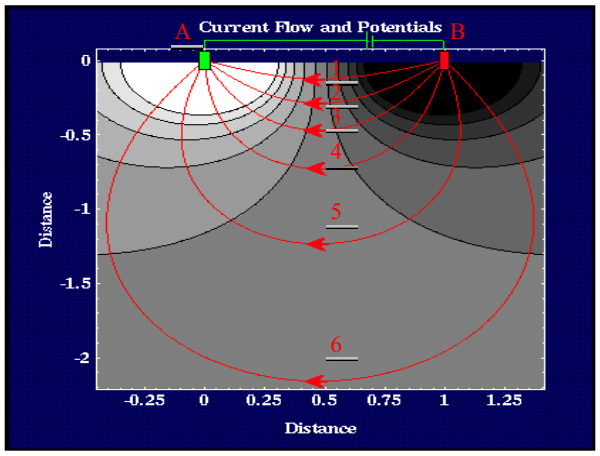
Nella tabella (**22**) viene elencata la percentuale della corrente per ogni linea della (***24***):

linee di corrente	% della corrente totale
1	17
2	32
3	43
4	49
5	51
6	57

22. Percentuale di corrente passante per ogni linea della ***24.***

Si può notare che la corrente che fluisce nella roccia a profondità uguali o di poco minori della distanza tra gli elettrodi è circa il 50% della corrente immessa nel terreno.



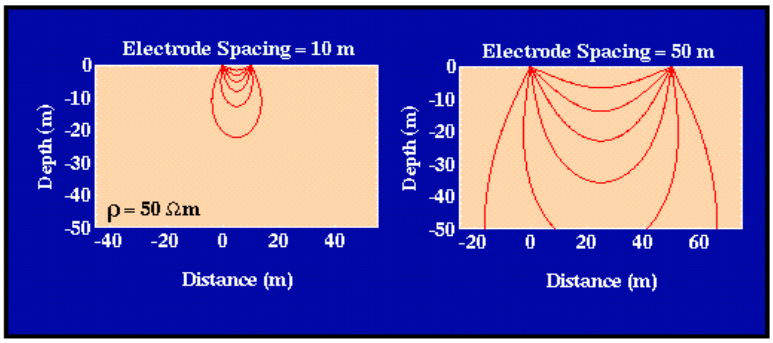


23. e ***24.*** Flusso di corrente e potenziale nei casi a uno e due elettrodi.

Questo implica che all'aumentare della distanza tra gli elettrodi, aumenta anche la quantità di corrente che fluisce in profondità. Poiché la resistenza totale delle linee percorse dalla corrente elettrica cresce anch'essa all'aumentare della distanza tra gli elettrodi, per far fluire corrente lungo le linee più profonde è necessario utilizzare un generatore di corrente più potente, perciò la massima

profondità di acquisizione dipende anche in parte dalla potenza del generatore utilizzato per produrre la corrente.

Assumendo di avere un generatore di corrente sufficientemente potente, a seconda della profondità che si deve esplorare si utilizzerà una disposizione ravvicinata degli elettrodi per studiare gli strati più superficiali, allargandola man mano che si vuole investigare strati più profondi ***(4).***



4. Profondità di investigazione a confronto.

Naturalmente questo rappresenta il caso ideale di terreno considerato come un mezzo omogeneo a resistività costante. Nella realtà la resistività può variare sia con la profondità che orizzontalmente; infatti, mentre si possono avere spessori di centinaia di metri o più di rocce che mantengono caratteristiche uniformi, sono più frequenti i casi in cui si è in presenza di un insieme di rocce eterogenee nei casi più frequenti, stratificate orizzontalmente.

2.3 I dati laser scanner.

I dati *laser scanner* utilizzati in questo progetto rappresentano il prodotto complementare del progetto di ricerca: "*Applicazioni della radiografia muonica del sottosuolo all'archeologia* ", finanziato dalla Regione Friuli Venezia Giulia e dedicato alla verifica delle potenzialità applicative di tecniche di rivelazione di particelle della radiazione cosmica nel sottosuolo in ambito archeologico.

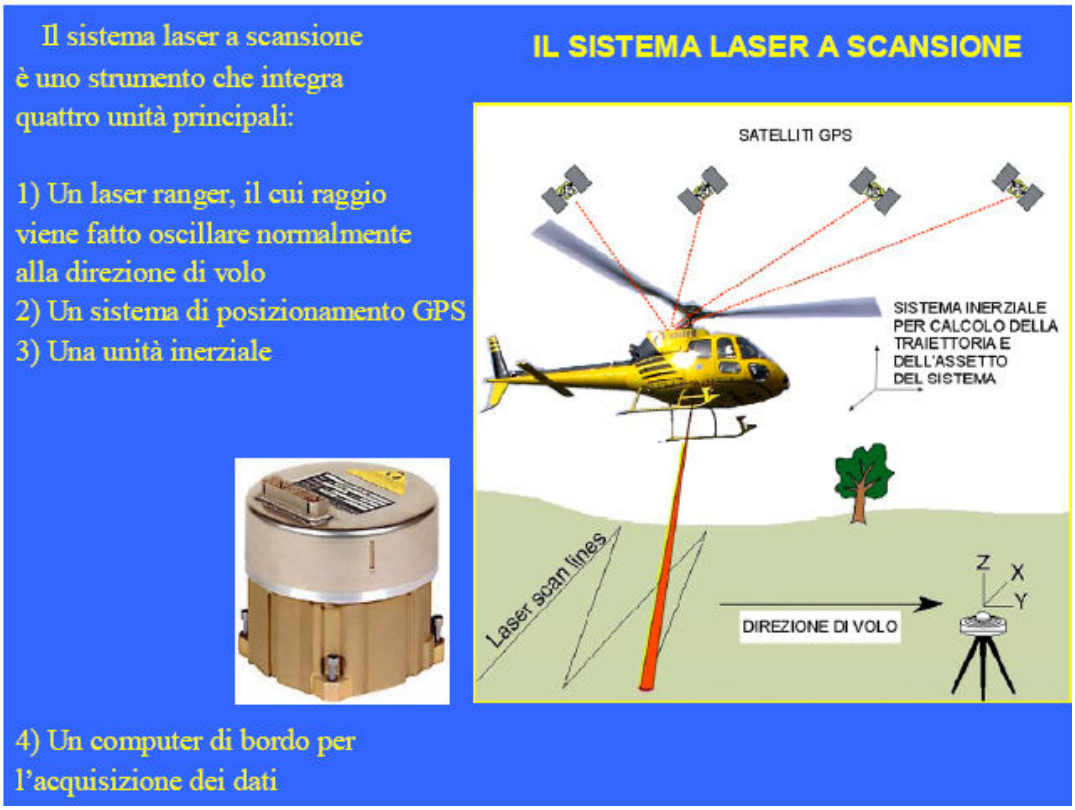
Il rilievo *laser scanner* da elicottero ha, infatti, rappresentato il supporto topografico necessario all'applicazione dei rilievi mediante radiografia muonica MGR (Muon Ground Radiography) effettati nel 2003 dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste ad Aquileia sotto la direzione scientifica del prof. Gianrossano Giannini. Il rilievo è stato effettuato mediante l'impiego del sistema ALTM3033 ***(25)*** di proprietà della Helica S.r.l. costituito da un laser operante nell'infrarosso vicino (λ=1063 nm) che invia impulsi di luce alla frequenza di 33 KHz, quota operativa compresa tra un minimo di 175 m (wide beam mode) ad un massimo di 3000 m. I ricevitori *gps* utilizzati per il calcolo della traiettoria sono di tipo geodetico con acquisizione delle frequenze L1 ed L2. L'elaborazione dei dati è avvenuta in post processing in modalità cinematica mentre i parametri di calibrazione necessari a compensare le derive strumentali dell'intero sistema sono stati determinati presso il sito di calibrazione dell'Helica. Al fine di ottimizzare la risoluzione al suolo, la quota di volo è stata in media di circa 1000 m a.g.l. (above ground level);

Operating altitude:	265 - 3000 m
Range accuracy:	10 cm single-shot
Range resolution:	1 cm
Relative accuracy :	2-4 cm @2kHz, 5-10 cm @10 kHz
Scan angle:	Variable from 0 to ±20
Acquisition data:	Simultaneous first and last pulse range and intensity measurements
Swath width:	Variable from 0 to 0.68 x altitude
Angle accuracy:	0.05 °
Angle resolution:	0.01 °
Scan frequency:	Variable on scan angle (30 Hz ±20) (50 Hz±10)
Roll & Pitch Accuracy:	0.04 °
Heading Accuracy:	0.05 °
GPS Receivers:	Novatel
Laser wavelength:	1047 nm
Laser repetition rate:	100 Hz to 33kHz
Beam divergence:	0.30 mrad
Ground station Geodetic GPS receiver	Astech Z1

25. Caratteristiche tecniche principali dello strumento impiegato. Opthec l.t.d di Toronto – Canada .

Il principio su cui si basa un rilievo *laser scanner* è la scansione del terreno mediante un telemetro montato su un aereo o elicottero che, sorvolando un territorio, misura le distanze dal punto di emissione ad un punto generico a terra colpito dal laser. Il telemetro misura l'intervallo di tempo che l'impulso laser impiega per percorrere il tragitto di andata e ritorno e ne calcola la distanza. Oltre a ciò fornisce le coordinate del punto a terra grazie all'azione

integrata di un ricevitore *gps* che fornisce le coordinate del punto di emissione e di un sensore inerziale dotato di tre accelerometri e tre giroscopi che misura le velocità angolari e le accelerazioni lineari dell'aeromobile ***(26).*** Successive elaborazioni in post processing permettono di calcolare la posizione e l'assetto dell'aeromobile in ogni singolo istante, le distanze tra emettitore e punto a terra per ogni singolo impulso e quindi le coordinate dei singoli punti a terra.



26.Sistema laser a scansione.

L'insieme dei punti raccolti (*raw data*) in coordinate *wgs84* subisce quindi una trasformazione in coordinate ortometriche ed eventuali operazioni di filtraggio per enucleare i vari manufatti dal rilievo del terreno.

In fase di acquisizione dei dati vanno inoltre tenuti in considerazione: il fenomeno degli *echi multipli* che vengono diversamente gestiti a seconda della strumentazione impiegata, una prima parte del segnale viene infatti riflessa dal primo ostacolo incontrato (es. vegetazione) mentre la parte rimanente del

segnale prosegue fino ad incontrare il terreno *(first pulse/last pulse);* la *densità superficiale* dei punti rilevati; l'*ampiezza angolare* della scansione che ha dirette conseguenze sulla produttività del segnale ovvero la larghezza della scansione in funzione dell'altezza di volo; l'*intensità* del segnale riflesso che, a seconda della riflettività dei materiali, permette la classificazione del terreno scansionato.

L'insieme dei dati ottenuti dal rilievo *laser scanner* è stato quindi elaborato al fine di generare i prodotti richiesti dal progetto di ricerca MGR. Il primo prodotto viene automaticamente classificato dal sistema laser e rappresenta il primo impulso (*first pulse*) di ritorno, legato alla prima riflessione ovvero alla superficie limite dei sistemi ottici più elevata dal punto di vista topografico. Il *last pulse* è legato, invece, all'ultima riflessione, ovvero alla superficie topograficamente meno elevata. *First pulse* e *last pulse* vengono forniti in formato ASCII, XYZ.

L'operazione fondamentale del post processing è la classificazione necessaria ad ottenere classi omogenee di dati che abbiano un significato reale ovvero corrispondente ad elementi fisici presenti al suolo. Il principale obiettivo del lavoro è stato quello di determinare il cosiddetto *ground* ovvero il terreno reale rimuovendo per quanto possibile sia la vegetazione (Kraus, Pfeifer, 1998) ,erbosa e ad alto fusto, che gli edifici ed i manufatti in genere (Maas, Vosselman, 1999). Il dato classificato *ground* è stato successivamente archiviato in formato ASCII, XYZ.

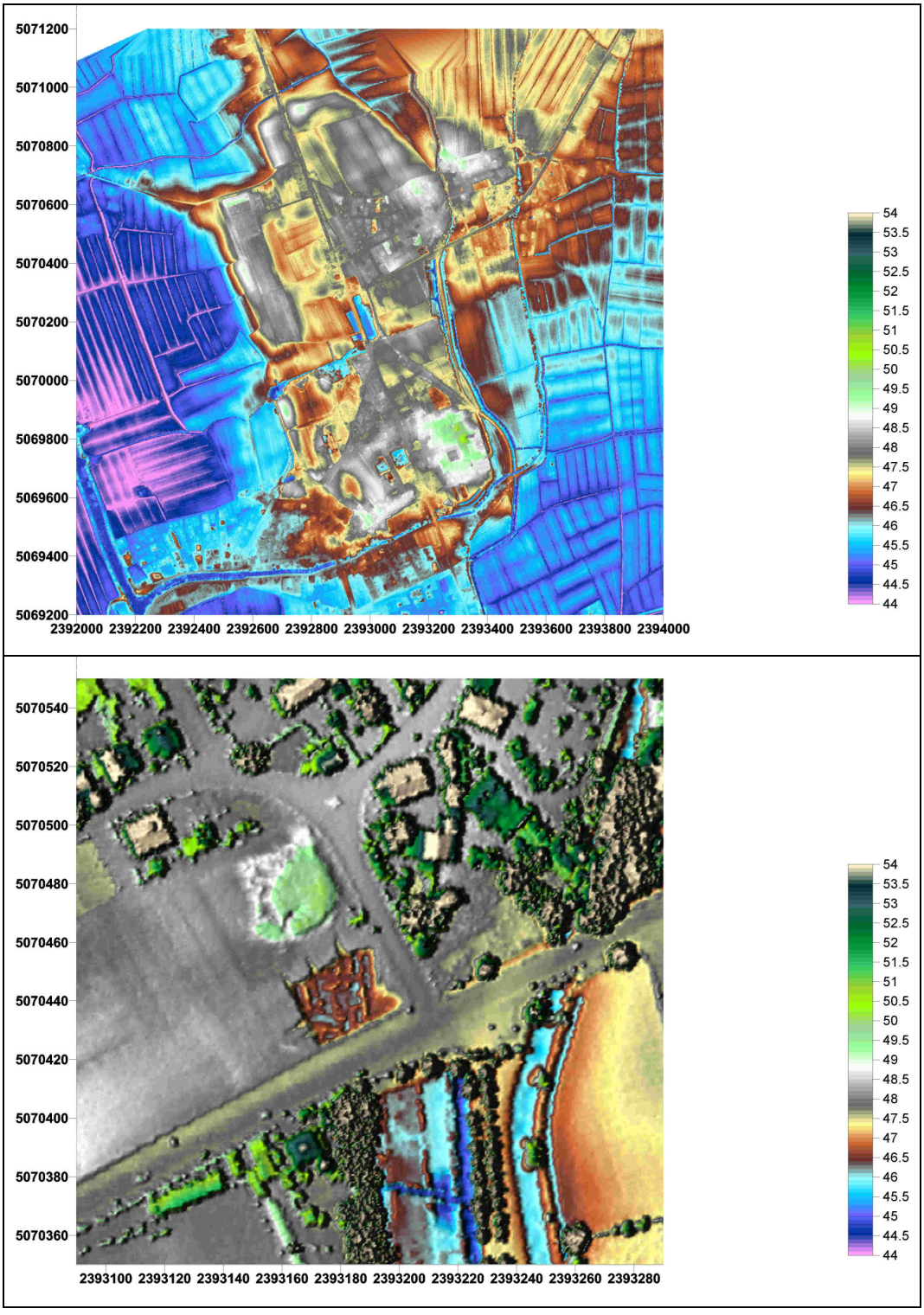
Dall'elaborazione del dato *laser scanner* è stato generato in prima battuta un prodotto comprensivo di tutti i dati laser in formato ASCII: i dati non classificati sono stati suddivisi secondo il primo (#name_fp.xyz) e l'ultimo (#name_lp.xyz) impulso. Del dato complessivo è stato calcolato il ground (#name_gr.xyz), che è stato successivamente epurato dei punti non significativi (model key point - griglia di 15 x 15 m e distanza minima dal piano 0.20 m): quest'ultimo dato è contenuto nei #name_mk.xyz.

Tutti i prodotti generati sono espressi in coordinate Gauss-Boaga - Roma40 fuso Est ottenuti dalla trasformazione dei dati originariamente in coordinate wgs84.

La ricostruzione dei dati digitali è stata effettuata presso l'OGS attraverso l'applicazione di due modalità che permettono una rappresentazione codificata a colori di tutte le quote di prima riflessione, comprendente edifici,vegetazione, strutture edilizie e agricole, oppure della topografia pulita del suolo. A partire da tali dati sono state successivamente effettuate una serie complessa di operazioni di selezione e ottimizzazione di riproduzione delle caratteristiche più utili alla interpretazione del dato topografico al fine della individuazione e comprensione degli elementi più importanti. In questo progetto SIT relativo alle strutture fluviali del Porto romano di Aquileia sono state utilizzate immagini elaborate secondo entrambe le modalità descritte.

I colori scelti codificano la sequenza altimetrica corrispondente alla quota in metri relativa alla distanza dall'ellissoide terrestre di riferimento; il livello del mare ad Aquileia corrisponde alla quota di circa 45 m.

La prima immagine impiegata nel progetto SIT di Aquileia riguarda una vista d'assieme, di tutto il territorio aquileiese oggetto del rilievo estesa per circa 3 km x 4 km (~12km2), in modalità *ground* con rimozione delle superfici aeree ***(27).*** L'immagine utilizzata invece in corrispondenza dello scavo *EFR* a nord del Porto romano, oltre la via Gemina, è in modalità *first pulse* con proiezione piana, dal *nadir,* in cui sono preservate le superfici aeree e pertanto si individuano agilmente strade, case, monumenti, scavi, vegetazione e dal colore in codice si può valutare l'altezza assoluta ***(28).*** Vi si riconoscosce lo scavo archeologico, ovvero il quadrato al centro (appare marrone) e il suo terreno di riporto (in verde), le parti archeologiche del porto, i canali, etc.



27, 28.Immagini last pulse, first pulse.

Capitolo 3
Le possibili evoluzioni

3.1 WebGis.

La naturale ed auspicata evoluzione del sistema informativo territoriale oggetto di questa ricerca sarà la sua migrazione verso un'architettura *webgis*. Un tale sistema sarà infatti consultabile ed aggiornabile da diversi utenti abilitati, indipendentemente dalla loro sede, attraverso un server situato presso il DICA dell'Università degli Studi di Trieste.

L'accesso *on line* da remoto, sviluppato tramite opportune architetture *client-server*, diventerà parte di un processo di più ampie vedute per la rintracciabilità e fruibilità delle informazioni quando e dove servono. Le mappe e le informazioni, a seguito della loro pubblicazione, saranno agilmente consultabili ed eventualmente scaricabili nell'ambito di una integrazione tra Dipartimenti, Università, Enti, Istituzioni. Ricercatori di varie sedi e, più in generale, portatori di interessi (*stakeholders)* e di esperienze maturate sul territorio aquileiese avranno, così, l'opportunità di entrare a far parte di una più vasta comunità per la costruzione, la condivisione, la ricerca, il confronto di livelli di informazione opportunamente organizzati. Ad esse si potrebbero infatti correlare anche altri archivi di informazioni provenienti da diversi enti quali Soprintendenze, Catasto, Enti Locali. Sistemi aperti per la consultazione, l'accesso, la distribuzione di servizi integrati nell'ambito di un processo che porta l'informazione a generare ulteriore informazione e a diffondere una maggiore cultura di tutela e valorizzazione dei beni storici ed ambientali.

La realizzazione di un sistema integrato di questo tipo richiede una riflessione sulla tipologia e la quantità di dati da pubblicare, sulle potenzialità ed opportunità che si apriranno ad una gestione integrata di dati dislocati in remoto, accessibili a diversi utenti, ma anche ad una utenza allargata, segmentata in funzione dei livelli di accesso, senza perdere di vista le

problematiche tecniche riguardanti l'architettura, la logica e la logistica della piattaforma informatica.

Le prime riflessioni riguardanti questa porzione del progetto di ricerca sono state dedicate, infatti, all'individuazione delle gerarchie di accesso ai dati. Essi sono stati suddivisi, in una prima analisi, in accessibili e non accessibili:

- dati accessibili: libero accesso alla distribuzione e fruizione di una parte delle informazioni (turisti, cittadini, soggetti non direttamente coinvolti nei progetti di ricerca sul territorio aquileiese).
- dati non accessibili: limitazione e segmentazione di alcuni livelli informativi (utilizzabili solo per la gestione interna o volti ad un diverso uso da parte dei soggetti coinvolti a vario titolo).

Il primo aspetto riguarda, quindi, l'individuazione dei criteri di selezione su *cosa divulgare*, *a chi* e *in quale forma*. Non sono da prescindere, inoltre, le limitazioni riguardanti la privacy e la riservatezza dei dati in funzione dei possibili usi e delle caratteristiche delle informazioni divulgate. Alcuni temi devono rimanere invisibili al livello del turista/cittadino, visibili a livello dello studioso accreditato, consultabili e interrogabili a livello del tecnico e del ricercatore direttamente coinvolto.

Da queste considerazioni ne discende un primo livello allargato con lo scopo di distribuire informazioni generali di qualità, utili e facilmente consultabili. Ciò può concretizzarsi in una specie di "sportello" che consenta di individuare beni, strutture, musei, informazioni di carattere storico inserite all'interno di un percorso culturale utile al turista ed al comune cittadino. A questo livello apparterranno quindi alcune foto storiche, descrizioni di complessi archeologici, selezionati esempi di cartografia storica scelti tra quelli entrati a far parte della bibliografia più comune e diffusa.

Un secondo livello, dal carattere divulgativo ma riservato a studiosi o ricercatori di vari settori disciplinari, non o non ancora accreditati, garantirà la visualizzazione senza possibilità di modifica di tutto il materiale raccolto con la

sola eventuale limitazione alla cartografia cosiddetta "muta", tale da non permettere la precisa localizzazione di beni o reperti "sensibili" ancora sepolti.

Il terzo livello sarà strutturato per l'accesso da parte dell'operatore interno. E' il livello operativo espressamente rivolto agli operatori che trovano nel webgis un supporto decisionale, utile e costantemente aggiornato e aggiornabile, circa gli interventi previsti, in atto e da orientare. Esso è rivolto agli operatori delle diverse discipline accreditati ad operare sul progetto, non necessariamente esperti di *gis*, in grado di aggiornare ed interrogare il sistema in modo autonomo ed agevole. Questo livello ha l'obiettivo del costante aggiornamento e interscambio di dati e informazioni, della gestione ordinaria degli interventi sul territorio e della programmazione di futuri interventi di acquisizione dati. Vi saranno contenuti tutti i dati fino ad ora raccolti presso i vari Enti e soggetti coinvolti e tutte le informazioni ancora da raccogliere ed inserire purché allineate ad opportuni standard condivisi riguardanti formati, estensioni, caratteristiche di georeferenziabilità.

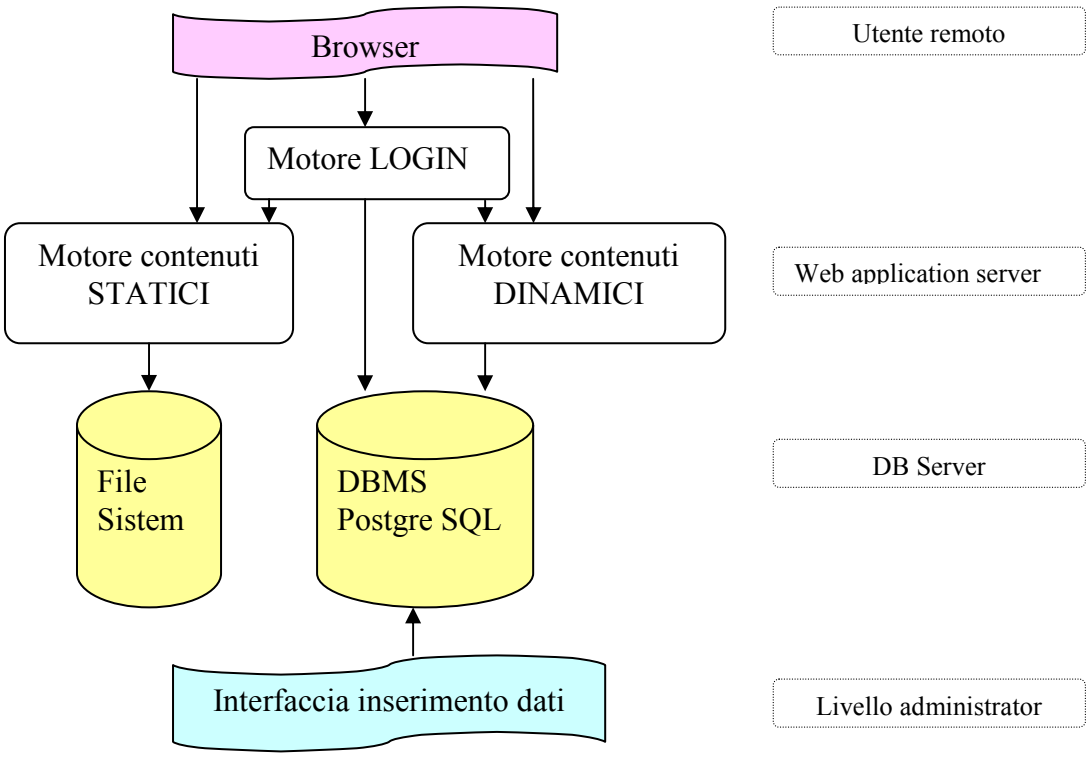
Queste prime considerazioni sull'accessibilità del dato hanno quindi suggerito una più attenta lettura delle caratteristiche delle informazioni a disposizione ed hanno portato a formulare le prime ipotesi sulle caratteristiche dell'architettura web. Le ristrettezze dei fondi a disposizione hanno orientato lo sviluppo del *webgis* verso sistemi cosiddetti *open source* (non legati a software proprietari) che al vantaggio della gratuità sostituiscono lo svantaggio di una più complessa programmazione necessaria alla contestualizzazione ed alla progettazione della piattaforma.

L'analisi della tipologia del contenuto del dato, *statico* o *dinamico* a seconda della sua interrogabilità, impone una prima radicale scelta progettuale riguardo l'architettura della struttura *webgis* ed una suddivisione di tutte le informazioni accumulate***(1).*** I dati, indipendentemente dal formato *raster* o *vector* e dalla loro georeferenziazione, vengono gestiti rispettivamente da un *motore per contenuti statici* ed uno per *contenuti dinamici*, fruibili attraverso un *motore per il login* che regola la segmentazione all'accesso.

DTM da DATI LASER SCANNER	Statico
DATI GEORADAR	Statico
DATI GPS	Dinamico
TESTI ARCHEOLOGICI	Statico
FOTO ARCHEOLOGICHE	Statico
MAPPE ARCHEOLOGICHE RASTER georiferite	Dinamico
MAPPE ARCHEOLOGICHE RASTER non georiferite	Statico
MAPPE ARCHEOLOGICHE VECTOR	Dinamico
DATI CAROTAGGI	Statico
PROFILI STRATIGRAFICI	Statico
DATI CATASTALI	Statico
CARTOGRAFIA ANTICA georiferita	Dinamico
CARTOGRAFIA ANTICA non georiferita	Statico
DATI DI ARCHIVIO - testi	Statico
IMMAGINI DI ARCHIVIO	Statico

1. Tipologia dati coinvolti.

I vari livelli di utente possono interagire con le informazioni attraverso opportune interfacce di inserimento, amministrazione e visualizzazione dati ***(2).*** Si presenta in questo modo la prima sommaria organizzazione della struttura che ha portato verso la suddivisione del progetto in singoli blocchi funzionali *(workpackages),* verso un'individuazione per ogni *workpackage (wp)* delle singole fasi di attuazione e verso la descrizione delle competenze tecniche necessarie al completamento dei vari *wp* e del grado di difficoltà presunto. Si ha, così, un approccio volutamente manageriale teso da un lato ad indicare un percorso di sviluppo a chi, all'interno del gruppo di ricerca in Geomatica formatosi presso il DICA dell' Università degli Studi di Trieste, procederà alla realizzazione del progetto *webgis,* dall'altro a facilitare la determinazione e la gestione delle tempistiche di progetto. Rispetto dei tempi e visibilità sono, infatti, condizioni imprescindibili per l'ottenimento di finanziamenti, pubblici o privati, presso gli Enti ed Istituzioni interpellate.



2.Schema struttura webgis

3.2 Mapserver.

Procedendo nella costruzione implementazione del *webgis*, coerentemente con la suddivisione in *wp*, è stato individuato l'ambiente Mapserver come quello più sostenibile e facilmente applicabile al progetto di ricerca. Mapserver è un ambiente di sviluppo *open source*, nato e sviluppato presso l'Università del Minnesota con il supporto della Nasa, che consente la realizzazione di applicazioni web per il caricamento, la visualizzazione e la consultazione di dati cartografici e non, provenienti da sistemi gis. Caratteristica di questo software di interazione con il server web è la sua capacità di interagire con altri applicativi quali DBMS o linguaggi di programmazione secondo l'ottica di *work in progress* che contraddistingue i software *open source*. Grazie alla sua caratteristica di software *open source* ed alla possibilità di reperire sul mercato informatico dei pacchetti preconfezionati di software, che includono Mapserver e tutte le librerie necessarie al suo corretto funzionamento sia in ambiente Linux che Windows, esso si propone come

piattaforma in costante sviluppo. Può, infatti, supportare vari formati di dati vettoriali, raster e visualizzazioni georeferenziate di record provenienti dal database e formati vettoriali shapefile.

Esistono due modalità di realizzazione del webgis: la MapScript e la MapServer CGI. L'architettura più diffusa per Mapserver è la CGI, che a livello base si articola in tre componenti fondamentali: il programma CGI, il map file, il template file:

- Il programma CGI (*mapserv.exe*) è il programma che elabora i dati inviati dall'utente tramite le pagine web; il risultato di tali elaborazioni viene poi presentato all'utente all'interno di pagine HTML. Nello specifico, il CGI riceve in ingresso dati dal template file e dal mapfile durante la sessione n , li elabora e crea le immagini per la sessione $n+1$. Il server web, interfaccia tra il CGI ed il browser, genera la nuova interfaccia del template file inserendovi le immagini create e visualizzandola tramite il browser.
- Il mapfile è il file ASCII che permette di definire le modalità di pubblicazione via web della cartografia: layer, colori, simboli, scale di rappresentazione. Questo file è costituito da oggetti strutturati secondo uno schema gerarchico, all'interno dei quali sono definite le caratteristiche dell'oggetto stesso attraverso coppie attributo-valore. La definizione degli attributi fa riferimento a termini predefiniti propri di Mapserver mentre i valori sono costituiti da caratteri alfanumerici.
- Il template file è l'interfaccia grafica tra Mapserver e l'utente, ed è costituita da una pagina HTML. Contiene la visualizzazione della carta e di tutti gli oggetti ausiliari risultato delle impostazioni definite dall'utente e i risultati delle elaborazioni del programma CGI.

3.3 PostGis.

Nell'ottica dell'evoluzione di questo progetto di ricerca verso una piattaforma web condivisa da un numero sempre più elevato di utenti, risulta inadeguato l'impiego del db sviluppato in Access e pensato per il solo utilizzo monoutente in ambiente ArcGis. Imponendo la conservazione delle ormai collaudate relazioni tra le tabelle, prezioso risultato della ricerca fin qui svolta, e l'integrità dei dati inseriti, è necessario rivolgersi a sistemi di database più evoluti quali i DBMS (Database Management System).

I DBMS forniscono un'interfaccia verso il database che permette l'accesso multiutente a grandi quantità di dati. L'interfaccia fondamentale a questa categoria di database è il linguaggio SQL (Structured Query Language), un linguaggio standard che permette di effettuare operazioni di selezione, inserimento, modifica, calcolo, applicazione di funzioni, ecc., su una banca dati costituita da tabelle in relazione tra loro. L'architettura di un database di questo tipo si distingue da quella del database classico, impiegato per il progetto sviluppato in ambito ArcGIS, per il tipo di dato che gestisce: il dato geografico. Il database geografico, o geodatabase, è ormai una componente essenziale per le applicazioni GIS evolute, in particolare nei gruppi di lavoro grandi ed eterogenei. In ambiente *open source* la soluzione attualmente più diffusa, potente ed affidabile è PostGIS, un'estensione del database relazionale PostgreSQL per l'archivio e la gestione dei dati geografici. Si pone, quindi, come ottima soluzione per chi ricerchi l'interoperabilità tra applicazioni Web nel campo del GIS, permettendo, inoltre, l'accesso multiutente a grandi moli di dati sia geografici che alfanumerici, e la gestione delle relazioni tra di essi, garantendone l'integrità. L'estesa comunità di persone che usano e sviluppano PostGIS, le grandi potenzialità di un database geografico così completo, basato su standard internazionali e sulla affidabilità consolidata di PostgreSQL e la facilità di uso come banca dati geografica per numerosi software GIS *open source* anch'essi in forte evoluzione, sono fattori che hanno determinato questa scelta per l'auspicata evoluzione ed internazionalizzazione del progetto di ricerca.

work package	work package (dett.)	Obiettivo	stato	Dipendenze	Caratteristiche	Competenze	Tempistiche (ore)	Difficoltà
WP1	WP1A	Scelta linguaggio		-	Applicazione per gestione di query non spaziali; necessita di un application server	Conoscenza linguaggio di programmazione tra PHP,.NET,JAVA;SQL,WebApplication		
	WP1B	Installazione application server		WP1A				
	WP1C	Implementazione web application		WP1B, WP4				
WP2	WP2A	Individuazione server GIS		-	Server per "gestione" di query spaziali			
	WP2B	Installazione server GIS		WP2A				
	WP2C	Configurazione server GIS		WP2B				
WP3	WP3A	Individuazione DBMS		WP1A, WP2A	db Postgresql/postgis	competenze basi di dati		
	WP3B	Installazione DBMS		WP3A				
WP4	-	Applicazione ETL		WP3B	Applicazione / script / procedura manuale per importazione dati da Access al DBMS scelto	competenze basi di dati		
WP5	-	Installazione / configurazione HTTP server		WP1B, WP2B	Server front-end, serve a smistare richieste tra server GIS e server non spaziale	competenze sistemistiche		

3.Suddivisione in wp.

3.4 MS4W.

Da queste prime analisi sulla struttura dei dati e sulle più diffuse architetture webgis e DBMS, coerentemente allo schema *wp* adottato, il progetto si è sviluppato attraverso la ricerca, individuazione, ed installazione dei componenti software più utili al nostro scopo. Il mercato open source propone MS4W, Mapserver for Windows, come pacchetto software che include Mapserver e tutte le librerie necessarie per utilizzare Mapserver in ambiente Windows. Questo pacchetto, indirizzato ad operatori ancora poco esperti, fornisce i principali elementi per la creazione di un *webgis*.

La versione 2.2.7 installata contiene di *default:*

- l'HTTP server *Apache 2.2.8* necessario a gestire l'interfaccia tra browser e il CGI;
- *Mapserv 5.0.2*: programma CGI (*mapserv.exe*) che elabora i dati inviati dall'utente tramite le pagine web; il risultato di tali elaborazioni viene poi presentato all'utente all'interno di pagine HTML.

- *PHP 5.0.2*: linguaggio di script per l'eventuale impiego della struttura Mapscript anzichè CGI,

oltre a numerose *features* tipiche dell'installazione del pacchetto base. Parallelamente è stato individuata ed installata l'interfaccia grafica tra Mapserver e l'utente costituita dalla pagina HTML gestita da *p.mapper 3.1.0* e l'estensione *PostGis* per il DBMS.

Così si è esaurita l'analisi dei possibili sviluppi webgis del progetto Porto Fluviale ma anche parte dei singoli wp individuati(*3*). Chi procederà all'implementazione della struttura web dovrà occuparsi delle configurazioni del server gis, dell'HTTP server e di PostGis ma sopratutto della fase di programmazione del mapfile che permetterà di definire le modalità di pubblicazione via web della cartografia: layer, colori, simboli, scale di rappresentazione.

Progetti di migrazione da strutture desktop a piattaforme webgis sono presenti anche nel contesto nazionale nell'ambito della catalogazione di beni culturali. Il già citato ICCD, attraverso il SIGEC *(sistema nazionale per l'acquisizione e la gestione integrata delle conoscenze sul patrimonio culturale italiano)*, nell'ambito dei progetti di riorganizzazione del Ministero per i beni e le attività culturali prevede, secondo una strategia definita in accordo con il superiore Dipartimento superiore per la ricerca, l'innovazione e l'organizzazione, di evolversi migrando verso applicativi *web based*. L'obiettivo di questa evoluzione del Sistema per il Catalogo è, in primo luogo, assicurare a tutti i soggetti che operano nell'ambito dei beni culturali la disponibilità delle infrastrutture tecnologiche necessarie, indipendentemente dall'acquisizione di specifiche dotazioni hardware e software nelle loro sedi. Tale organizzazione garantirà a tutti gli utenti la disponibilità di strutture di supporto centralizzate, al fine di svincolare l'attività istituzionale da problematiche connesse alle infrastrutture tecnologiche (hardware, software, rete).

Capitolo 4
La storia degli scavi

4.1 Le Strutture Portuali.

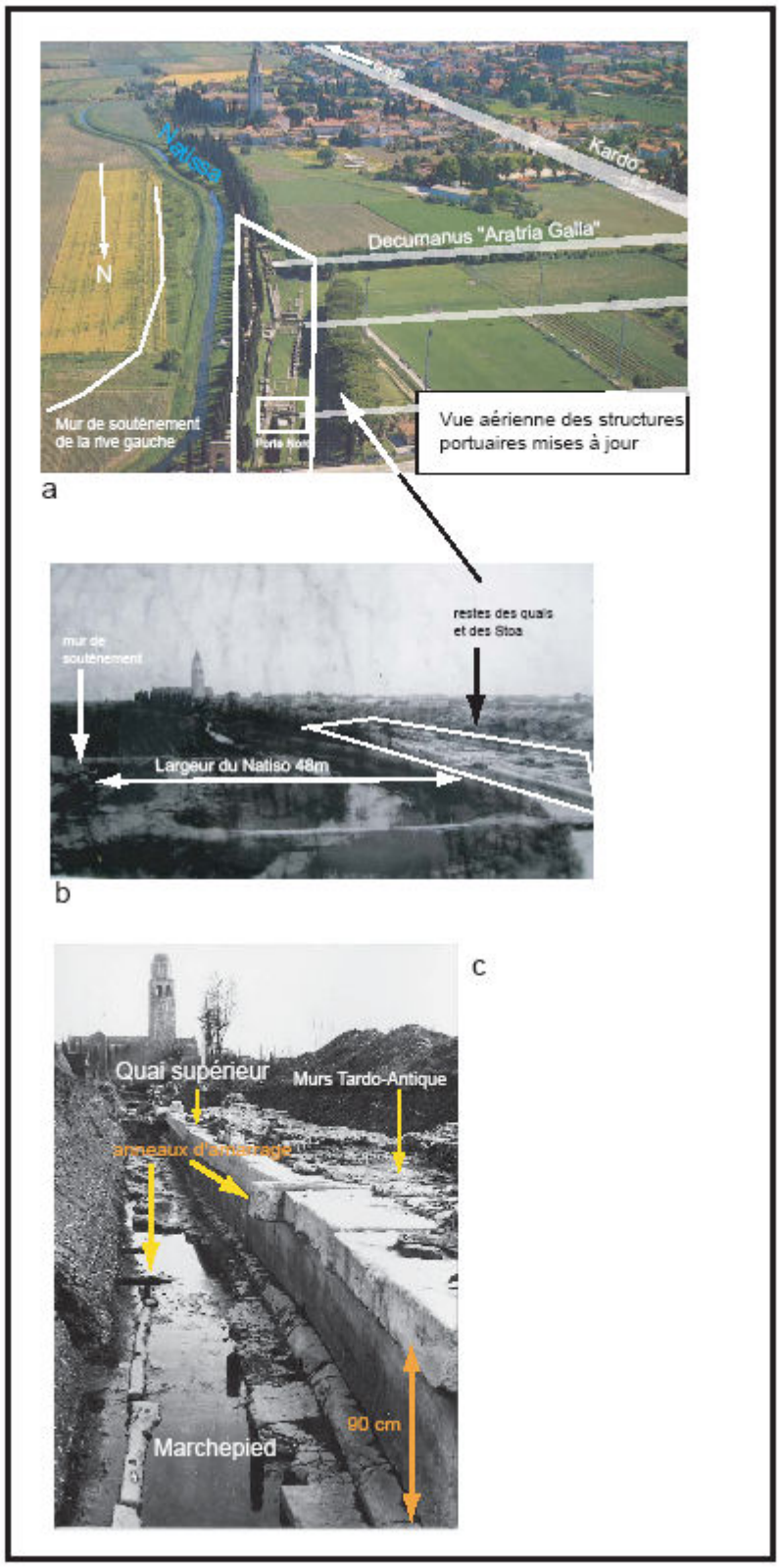
"*In sul principio del 1926 decisi di volgere gli sterratori, armati di pala e piccone, al pacifico attacco delle mura di Aquileia […] non mi passava neppure per la mente, lo confesso, che in quel punto potessero celarsi anche avanzi di altro genere, come doveva invece nettamente provarmi l'esplorazione archeologica*" (Brusin 1929). Dopo gli scavi del Maionica, che indicò le rovine del porto nella sua *Fundkarte* del 1893, fu l'archeologo goriziano Giovanni Brusin a portare integralmente alla luce le strutture fluviali nel 1926, come si evince dalle sue stesse parole.

Fu infatti costui a riconoscere e scavare il Porto Fluviale e sempre a lui va riconosciuto il merito della valorizzazione dell'imponente manufatto con la realizzazione della passeggiata archeologica posizionata nell'alveo del fiume ed ottenuta con il materiale di risulta dello scavo stesso. I dati archeologici in nostro possesso derivano quasi esclusivamente dagli scavi fatti nella prima metà del XX secolo grazie ai quali sono state messe in luce strutture conservate su un fronte lungo alcune centinaia di metri[13]. Questa imponente operazione di scavo ha fatto di Aquileia uno dei siti meglio conosciuti per quanto attiene alle strutture portuali; tuttavia le tecniche allora impiegate impediscono di precisare e datare con esattezza le modificazioni di questo complesso.

Ben conosciuta è la riva occidentale con la banchina rivestita in lastre verticali di pietra d'Istria e gli anelli di ormeggio posizionati ad intervalli regolari. Lungo la banchina, messa in luce dal Brusin per circa 450m, sono aperti tre accessi verso la città ***(1)***. Due di questi sono costituiti da stretti passaggi lastricati in pendio collegati con due decumani; queste vie d'accesso sono fornite di coppie di rampe perpendicolari che consentono di raggiungere il livello dei magazzini.

[13] CARRE M. B., MASELLI SCOTTI F., *Il porto di Aquileia: dati antichi e ritrovamenti recenti,* in "Antichità Altoadriatiche", XLVI (2001), Trieste 2001, pp. 211-243.

L'accesso più a sud è invece sistemato con una gradinata con la quale si raggiunge un decumano. Più a nord una struttura costituita da due scalinate di quattro e cinque gradini che secondo Brusin serviva a collegare il fiume all'alto delle sue sponde. Meno evidenti le testimonianze riguardanti la riva orientale messa in luce negli anni '30, di cui non rimane testimonianza fotografica o grafica, costituite da pietre d'ormeggio testimoni di una larghezza del letto fluviale di 48m a nord e 32m a sud. Questa struttura, larga circa 1,3m, è costituita in prevalenza da blocchi parallelepipedi di pietra su fondazioni di pietrisco poggiato su palafitte. La diversa tipologia costruttiva tra i manufatti est ed ovest è ascrivibile secondo Brusin a diverse epoche costruttive ed in particolare all'anteriorità della banchina occidentale. In alternativa, tale diversità potrebbe dipendere dal contesto suburbano delle riva orientale totalmente diverso da quello monumentale della banchina occidentale costruita a ridosso del Foro. Alle spalle della banchina occidentale si estendono, parallelamente ad essa, due grossi muri in laterizio distanti 13,5m. Queste mura sono parte di un edificio, ancora misterioso, che aveva probabilmente la facciata rivolta verso al porto da cui era accessibile attraverso due scalinate. Mario Mirabella Roberti nel 1967 né ha proposto una ricostruzione supponendo l'esistenza di un portico fronte porto di circa 5m d'altezza ed una probabile destinazione d'uso a magazzino ***(2).*** In realtà, la mancanza di mura di tamponamento e le dimensioni estese depongono, secondo alcuni, a favore di una struttura destinata al deposito temporaneo delle merci dopo lo scarico e prima dell'immagazzinamento presso le *horrea* retrostanti.

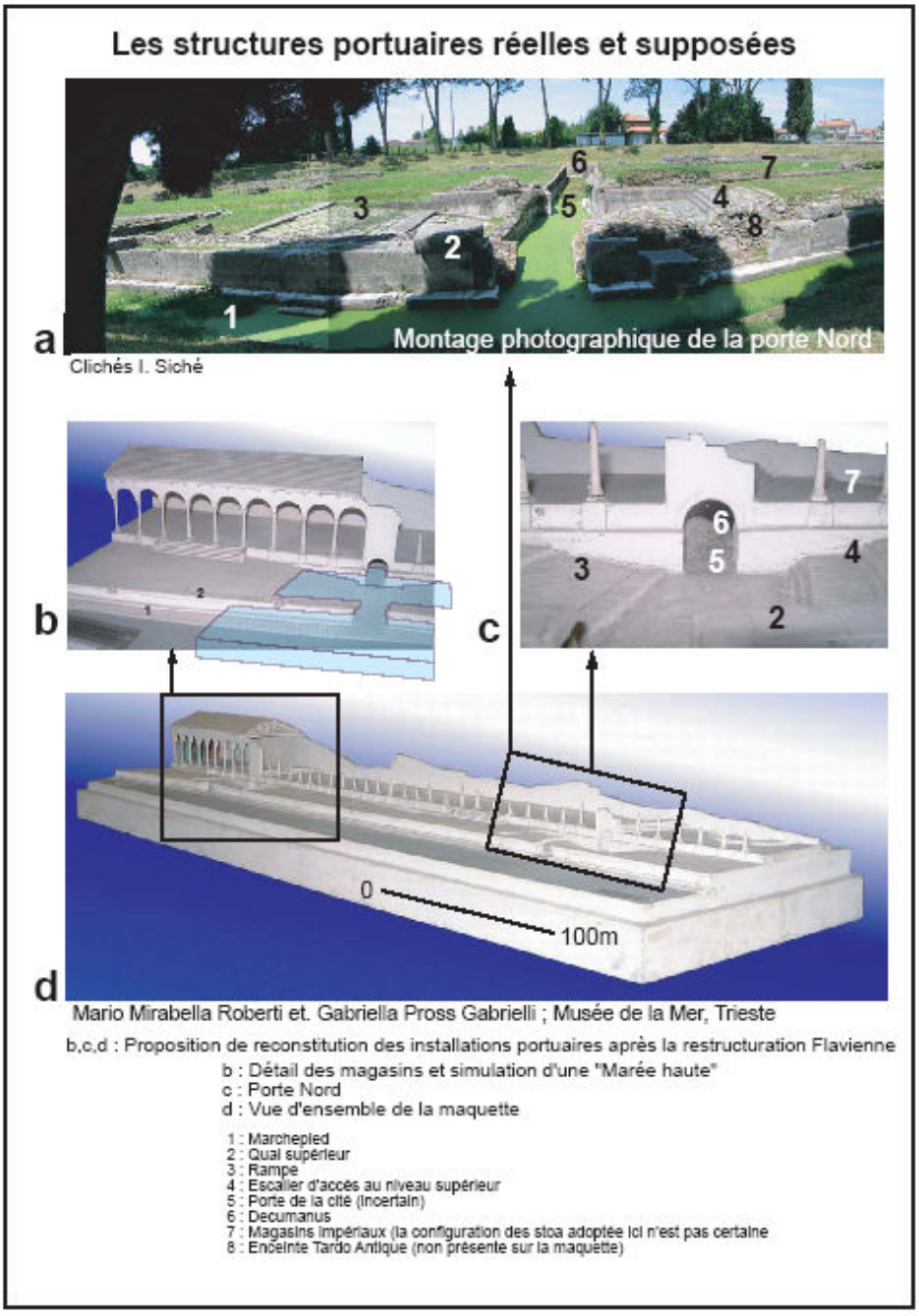


1.Porto Fluviale, banchina occidentale.

Per quanto riguarda le strutture poste nella zona a nord del porto è in corso dal 1991 una indagine archeologica in collaborazione tra l'*EFR* e Dipartimento di Scienze dell'Antichità dell'Università degli Studi di Trieste. Quest' area separata dagli scavi Brusin dall'attuale via Gemina è direttamente correlabile con le strutture portuali in quanto vi si è ritrovato il muro retrostante del magazzino messo in luce dal Brusin alle spalle della banchina occidentale del Porto; inoltre lo scavo ha permesso di riconoscere l'evolversi della zona portuale prima della costruzione degli impianti monumentali attualmente noti[14].

Intorno alla metà del II sec. a.C., poco dopo la fondazione della colonia, vengono costruiti alcuni muri con grossi blocchi di arenaria e successivamente un edificio abitativo che si dispone simmetricamente intorno ad uno spazio centrale aperto e munito di un pozzo in mattoni. Sono i segnali inequivocabili di parte di un insediamento abitativo a ridosso del fiume segnalati dal Brusin ma fino ad oggi difficilmente collocabili e correlabili al contesto portuale. L'orientamento di queste mura è coerente con la centuriazione dell'abitato aquileiese ma non riscontrabile negli edifici di epoca successiva. Analogo è l'orientamento delle strutture scavate nel 1930 sul fondo Cassis, p.c. 512/513, ad ovest della banchina del porto. Si tratta di muri paralleli in mattoni con sovrapposte delle basi di pietra rettangolari. Tali basi si allineano su due file, alla distanza di 4m, orientate parallelamente in direzione nord-sud. In origine delimitavano, probabilmente, un magazzino come testimoniato dai reperti raccolti durante lo scavo. Il dato certo è che l'orientamento è il medesimo delle abitazioni individuate durate lo scavo condotto dall'*EFR* a nord del porto, ciò che permette di proporre la preesistenza di questa costruzione alla costruzione del Porto Fluviale monumentale, almeno nella sua prima fase.

[14] CARRE M. B; ZACCARIA C., *Aquileia-Magazzini a Nord del Porto Fluviale. Scavo 1999,* in "Notiziario archeologico", 70 (1999), pp.351-354; CARRE M. B; ZACCARIA C., *Aquilée secteur du port fluvial*, in "MEFRA", 112, 1, pp. 463-465.



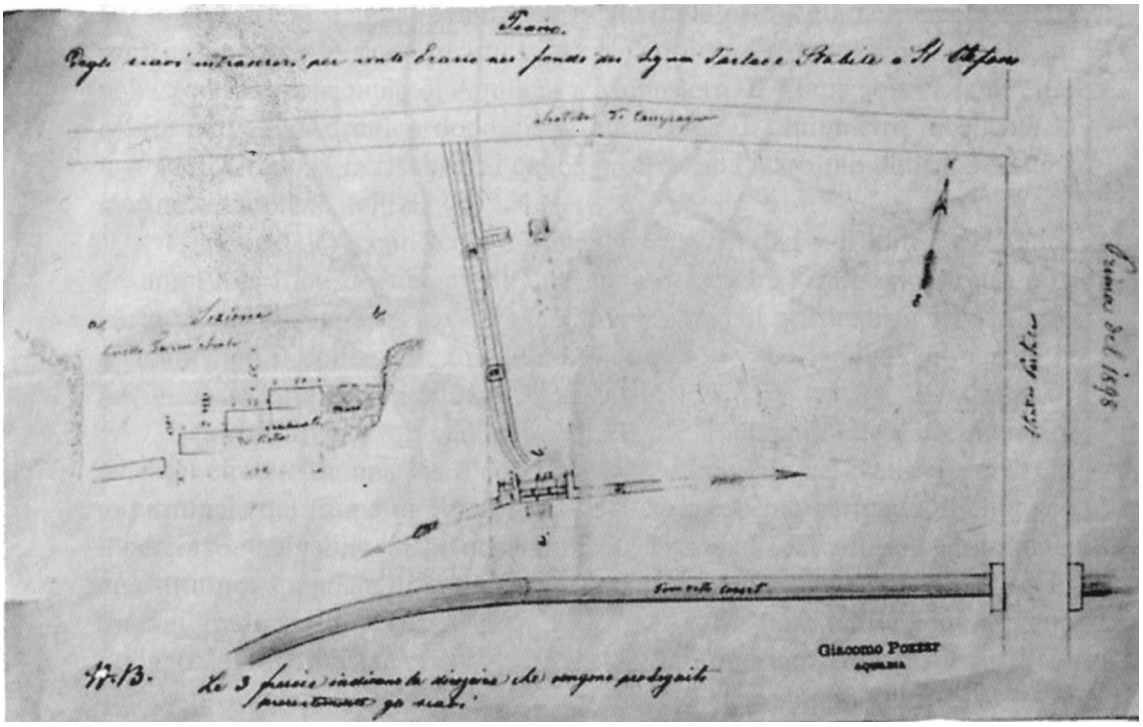
2. Ricostruzione strutture portuali della sponda occidentale.

A sud del porto monumentale, all'interno della proprietà Pasqualis, sono stati rinvenuti dalla Soprintendenza nel 1994 i resti di una banchina con gradinata di accesso al fiume databile tra la fine del I ed inizi del II secolo d.C. In questa zona, successivi ritombamenti dell'alveo ne hanno ristretto la sezione con la creazione di un muro di sponda posteriore al V secolo.

Ad occidente dell'insediamento abitativo il canale Anfora rappresenta la più ingente struttura riferibile alla portualità di quella zona. Il manufatto congiunge la parte occidentale di Aquileia con il mare a nord nella zona dell'attuale Porto Buso. I sondaggi fatti nel canale mostrano che la sua pendenza è costante mentre la sua larghezza, sui 6 km del percorso, varia tra 40m verso il mare a 16m in prossimità della città mantenendo costante la velocità della corrente. La destinazione di questo manufatto è duplice. Da un lato aveva lo scopo di drenare le acque della campagna, dall'altro poteva essere utilizzato per la risalita delle imbarcazioni contro corrente, poiché il corso del grande fiume non vi si riversava.

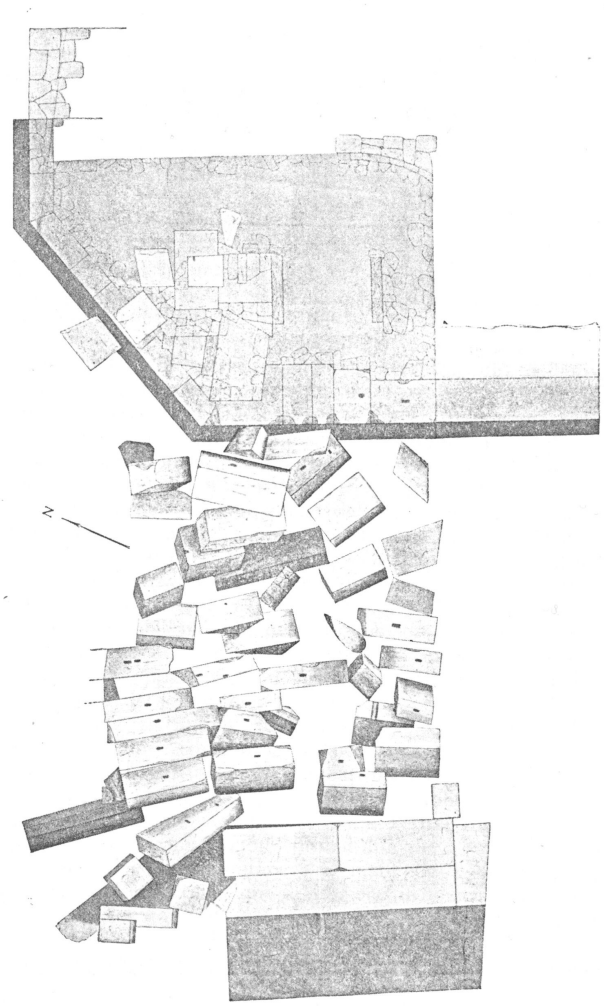
Una struttura spondale di arginatura, costituita da una lunga banchina di pietra con gradinata di accesso, permette di chiudere il percorso navigabile nel settore settentrionale della fascia periurbana in località Santo Stefano ***(3).***

A nord-est del Porto i resti di due ponti denunciano l'esistenza del transito di un corso d'acqua. La struttura di uno dei due ponti, quello più ad est, è nota già dal Settecento, quando furono effettuati alcuni scavi a Monastero, probabilmente nel 1788. Essa è segnata sulla pianta di K. Baubela "Ichnographia Aquilejae Romanae et Patriarcalis" (1864), dove sono anche indicate le misure di m 37,93 di lunghezza e m 6,63 di larghezza; inoltre, è indicata nella "Fundkarte" di H. Maionica (1893) al n. 5, con dicitura "*sostruzioni ancora esistenti di un ponte romano sotto la Roggia del Molino di Monastero*"***(4)(5).***



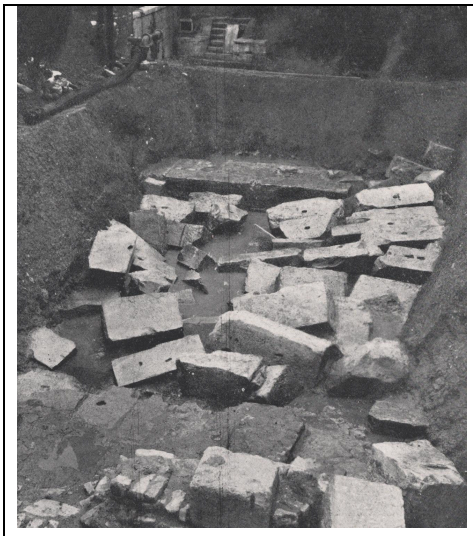
3. Strutture in località Santo Stefano.

Si deve a Giovanni Brusin l' esplorazione parziale del secondo ponte, che avvenne nel 1932 a circa 100 m a nord-est della chiesa di Monastero (in corrispondenza del ponte del parco Ritter sulla Roggia già detta del Molino di Monastero). Furono allora messe in luce la spalla sinistra e la prima pila sinistra con i resti dell'arcata interposta, per una larghezza totale di m 7,40. Il manufatto era costruito in pietra d'Istria: la spalla presentava paramenti a vista in grandi blocchi squadrati e nucleo in opera cementizia; l'arcata era costituita da cunei ben rifiniti e squadrati, che furono rinvenuti in posizione di crollo, allineati e addossati l'uno all'altro. La pila superstite era larga m 3,20 ed era dotata di un rostro triangolare di circa 3,20 di lato. La struttura è venuta alla luce nel 1930 in occasione dello scavo della cinta muraria condotto da G. Brusin a circa 100 m a sud-ovest della chiesa di Monastero ***(6).***



4.Ponte romano sotto la roggia del molino.

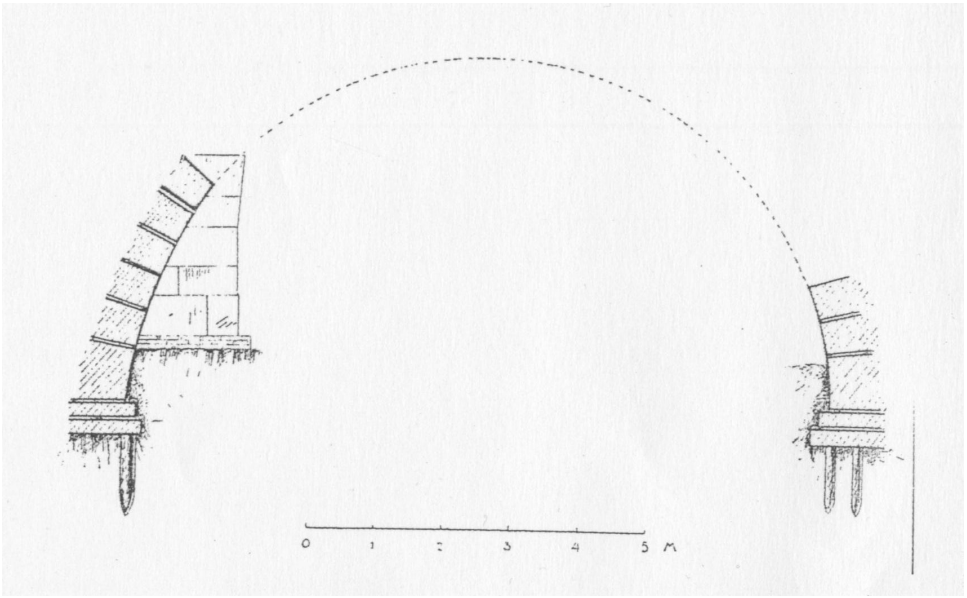
L'indagine fu effettuata lungo la sponda destra del Natissa e rivelò la presenza di un'arcata del ponte per una larghezza di 4 m; la struttura poggiava su fondazioni in palificata lignea fino ad una profondità di oltre 5 m dal piano di campagna. L'arcata, in gran parte crollata, aveva in origine una luce di 10,30 m ed era costruita in blocchi squadrati di calcare. Lo scavo portò in evidenza anche due strutture realizzate in parte con materiale lapideo di reimpiego, addossate alla spalla più orientale del ponte, da collegare con il perimetro delle mura tardoantiche ***(7).***



5.

6.

5.6. Strutture in località Monastero.



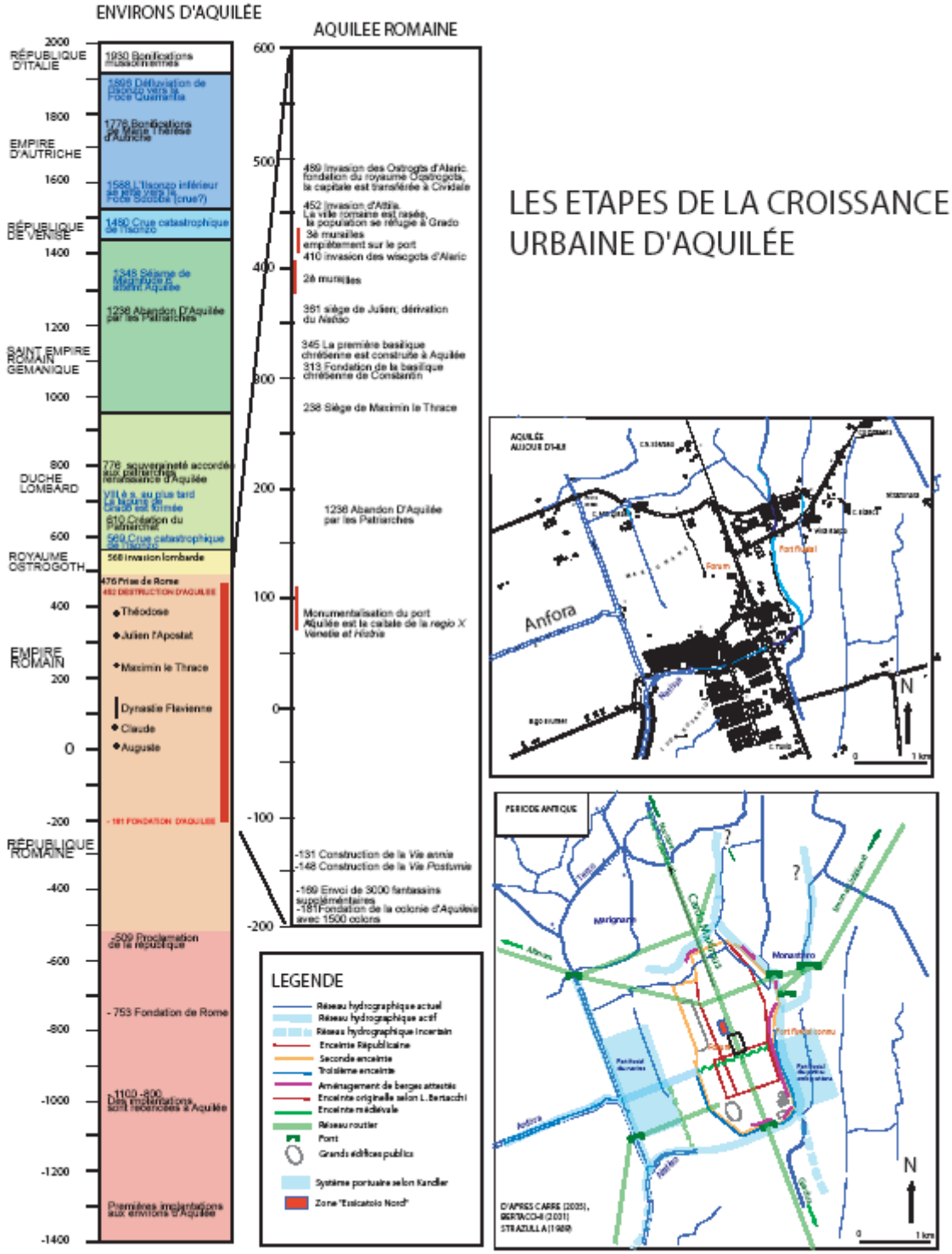
7. Struttura dell'arcata, in evidenza palificata lignea di fondazione.

4.2 La storia di Aquileia.

Già molto prima della colonizzazione romana, il territorio compreso tra il Tagliamento, il Timavo e la costa risultava fittamente abitato ***(8).*** Recenti ritrovamenti datano la presenza di una cultura insediativa già in epoca neolitica: sono di questo periodo ritrovamenti di resti di villaggi sia nella zona dell'alta pianura sia a breve distanza dalla linea di costa (Maselli Scotti, Pessina e Vitri, *1997*).

Anche in seguito, nella tarda età del bronzo, la zona della bassa pianura appare occupata da centri adibiti soprattutto allo scambio ed alla lavorazione di materie prime provenienti dall'arco alpino. In questa prospettiva va visto l'insediamento preromano di Aquileia, abitato da gruppi di diversa matrice etnica (veneta, centroitalica, apula) interessati certamente allo scambio mercantile e culturale che si era instaurato (e lo sarà anche in epoca storica) tra componenti centro e sud italiche e componenti afferenti al sistema alpino e centro europeo (Maselli Scotti, Pessina e Vitri, 1997); a questo proposito va ricordato che molti studiosi ritengono che la via dell'ambra avesse come stazione terminale proprio Aquileia dopo un lungo percorso dalle regioni baltiche fino all'Adriatico, e, non a caso, Aquileia romana sarà per questo motivo il centro di lavorazione dell'ambra più importante dell'Impero (Maselli Scotti, Pessina e Vitri, 1997).

Negli ultimi anni, scavi archeologici condotti ad Aquileia hanno messo in luce nella zona dell'ex Essiccatoio nord resti di un abitato databile al IX-VIII sec.a.C., che svolgeva quasi certamente il ruolo di emporio commerciale per mercanti provenienti dall'area etrusco-padana e greco-orientale; ciò sarebbe confermato anche dalla presenza di un santuario, luogo privilegiato per l'aggregazione di etnie diverse, e dalla presenza, sempre nella zona dell'ex Essiccatoio nord, di un mercato di epoca romana (*macellum*), a testimonianza della continuità nel tempo della



8. Successioni degli insediamenti urbani.

funzione commerciale di quest'area *(*Maselli Scotti, Pessina e Vitri*, 1997).*

La fondazione di Aquileia nel 181 a.C., per iniziativa del senato romano, sembra accordarsi, nel suo disegno complessivo, con l'importanza strategica ed economica che l'area aveva assunto già in epoca protostorica. L'operazione si configura, infatti, fin dall'inizio, non solo per i suoi connotati militari, cioè di usare la colonia appena formata come testa di ponte per il controllo della zona della bassa pianura friulana e per ridurre all'impotenza la popolazione degli Histri, ma anche per le sue caratteristiche di trasformazione e civilizzazione del territorio *(*Tavano*, 1986).*

Immediatamente intorno alla città vengono creati *vici* e *mansiones*, l'equivalente di stazioni doganali e di sosta sulle strade principali *(Tavano, 1986).* Le strade, che si dipartono da Aquileia, prima ancora che nella loro funzione di espansione militare attraverso il territorio, sembrano indicare, nella colonia neoformata, un nodo commerciale importantissimo: le direzioni verso cui si dirigono le strade sono quelle da e per la Gallia e perciò verso l'occidente (via Annia e via Postumia); ci sono vie di comunicazione verso l'oriente d'Italia (via Gemina); si tracciano poi strade che mettono in contatto il mondo adriatico con le zone a nord delle Alpi. Tali direttrici si sovrappongono alle piste che, come accennato, già in epoca protostorica avevano primaria funzione commerciale, portando ad Aquileia ambra e metalli dai paesi del Norico e più su dai paesi centroeuropei, vino ed olio dall'*Histria* e dall'oriente, merci di vario genere dall'area padano-veneta *(*Tavano, *1986).*

Un ulteriore sviluppo della città si ha a partire dall'89 a.C., quando Aquileia ottiene la qualifica di *municipium* e quindi la cittadinanza romana per i suoi abitanti e più tardi con l'istituzione della *X Regio augustea*, di cui diviene capitale. In tale periodo si assiste anche ad un cambiamento nell'assetto strutturale della città: dall'originaria pianta a forma quadrata si passa ad una forma allungata su di un asse NNW-SSE, concorde con l'allineamento impresso dalla centuriazione alla campagna circostante (Tavano, 1986). Viene poi

costruita una prima cinta muraria a ridosso del porto sul Fiume Natissa. Questo rappresenta il periodo di maggiore floridezza economica della città: in essa e nel suo territorio si trovano colture pregiate, metalli , legname, lana, lino, industrie di trasformazione di materie prime, ceramiche, vetro ed oreficeria *(Tavano, 1986).*

Come effetto della spiccata vocazione commerciale, ad Aquileia si ritrovano moltissime etnie diverse; dagli italici con elementi indigeni ai greci ed ai siriaci, ognuna rappresentata da un particolare tipo di culto: accanto a divinità locali e romane si fanno strada anche le religioni misteriche orientali, e nel seno della forte componente giudaica della città si svilupperanno i primi fermenti della penetrazione e della diffusione cristiana in occidente *(*Tavano, 1986).

Nel corso dei secoli successivi, Aquileia viene fornita di fortificazioni murarie, così come il letto del Fiume Natisone, allora fluente nella zona, ed il porto saranno entrambi dotati di sistemi difensivi. Questo sintomo di malessere è attribuibile alle forti pressioni barbariche che già fanno sentire il loro peso nell'epoca del medio Impero (invasione dei Quadi e Marcomanni nel 69 e assedio del 238 da parte di Massimino il Trace). In epoca tardo imperiale si assiste ad un ripristino del territorio con Diocleziano e con Costantino, che soggiorna pure a lungo ad Aquileia in un suo palazzo. Sono di questo periodo lotte religiose anche molto violente tra cristianesimo ed arianesimo con conseguenze politiche e militari; a questa stato di cose pone fine l'editto di Teodosio nel 391 contro i pagani *(*Tavano, 1986).

Ma il lento declino di Aquileia ha il suo tragico epilogo con la distruzione della città ad opera degli Unni di Attila nel 452. A seguito di questi avvenimenti Aquileia perde sempre più importanza a favore di *Forum Iulii* (Cividale) e di Grado. Dello stato di abbandono in cui versa la città, la conseguenza più vistosa è l'interramento del porto. Da questo momento in poi le vicende di Aquileia si intrecciano con le fortune del Patriarcato e con la costituzione dello stato patriarcale nel Medioevo *(*Tavano, 1986).

Conclusioni

Ciò che nasce da questo progetto di ricerca rappresenta non tanto il raggiungimento di un traguardo quanto il punto di partenza di un nuovo percorso. E' stato indubbiamente raggiunto il principale obiettivo di progetto: fornire all'archeologo uno strumento informatico adatto all' organizzazione, archiviazione, visualizzazione, studio e confronto delle esperienze multidisciplinari maturate in questo territorio nel corso degli anni. E'stata rispettata, soprattutto, la mission *di progetto: la creazione di uno strumento di ricerca per la produzione di nuova conoscenza, in un processo virtuoso che porta l'informazione a generare ulteriore informazione e a diffondere una maggiore cultura di valorizzazione dei beni storici ed ambientali. Atti di convegni ed articoli specifici dimostrano quanto sia acceso il dibattito in materia di integrazione tra informatizzazione e archeologia. Quest'ultima, per l'enorme mole di dati che produce, non può più essere gestita efficacemente senza un'adeguata informatizzazione. Viene spesso evidenziato, però, che l'applicazione informatica concepita e calata dall'alto assume i connotati di un mero esercizio di stile, rendendo lo strumento inaccessibile a gran parte della comunità scientifica coinvolta e circondando di un alone di mistero quelle realizzazioni che, invece, potrebbero essere affrontate da un pubblico più allargato solo se propriamente veicolate; semplicemente ponendo l'archeologo al centro del processo decisionale. Il prodotto ottenuto con il SIT del Porto Fluviale romano, sicuramente perfezionabile dal punto di vista informatico ed estetico, è il frutto di un costante contraddittorio con l'utente finale, funzionale e facilmente applicabile al contesto di scavo aquileiese. A cosa serve un SIT di scavo? Come deve essere costruito? Quali benefici può portare? Può fungere da strumento per interrogare i dati e produrre modelli storici? Quali le relazioni tra informazioni utili all'archeologo?*

Parallelamente, le opportunità di ottimizzazione del progetto dovranno portare ad una maggiore interazione tra diverse banche dati ed al raggiungimento di alcuni standard di catalogazione e condivisione di informazioni, in particolare nell'ottica di una migrazione verso la piattaforma webgis analizzata nei capitoli precedenti. Esigenza manifestata a livello nazionale anche da ICCD, per definizione coordinatore delle attività di ricerca per la definizione degli standard per la catalogazione delle diverse tipologie di beni culturali, che attraverso il SIGEC certifica la qualità dei dati prodotti e

la loro rispondenza agli standard definiti, garantendo in tal modo l'omogeneità delle informazioni, presupposto indispensabile per un loro corretto utilizzo e per la loro condivisione.

*Questo approccio permette il perseguimento di due obiettivi fondamentali: il primo e fondamentale obiettivo scientifico di comprensione dell'evoluzione insediativa di un territorio; il secondo, politico, di una maggiore interazione con le istituzioni che governano il territorio nella logica di una rapida possibilità di fruizione e condivisione dei dati prodotti, allontanandosi dallo stereotipo delle informazioni archeologiche a lungo inaccessibili. L'interazione più efficace con le istituzioni è possibile producendo carte tematiche attraverso le quali leggere i processi storici susseguitisi nella formazione del territorio e interpretarne e ricostruirne l'*iter. *Il risultato vuol essere, quindi, quello di mappare la risorsa archeologica assumendo così lo* status *di strumento di pianificazione ambientale da integrare con la disciplina urbanistica al fine di valorizzare il patrimonio paesaggistico e storico cosi come sancito da D. Lgs 42/2004 e auspicato dalla Legge regionale 23 febbraio 2007, n. 5 riguardante la riforma dell'urbanistica e disciplina dell'attività edilizia e del paesaggio.*

Il progetto per il Porto fluviale romano di Aquileia rappresenta un passo in questa direzione. Esso esce dalla logica delle contrapposizioni per cercare la logica dei legami e delle relazioni tra informazioni e tra ricercatori e fornisce i primi risultati scientifici ottenuti da analisi sincroniche e diacroniche sui dati sovrapposti in successione. La ricerca proseguirà aldilà di questa Tesi presso il DICA dell'Università degli Studi di Trieste per l'inserimento di nuovi strati informativi, in attesa della liberalizzazione all'accesso ai dati geologici georiferiti della Carta Geologico Tecnica 1:5000 di prossima pubblicazione e ai dati cartografici custoditi presso l'Archivio di Stato di Gorizia. Proseguirà, poi, presso il DSA per l'ampliamento e la verifica della base di dati.

Allegati

Cartografia Storica *I.*
Datazione sondaggio *II.*
Descrizione sondaggio *III.*
Immagini laser scanner *IV.*
Paleopianura aquileiese *V.*
Sondaggi S.A.R.A. *VI.*

Bibliografia

Archeologia senza scavo : nuovi metodi di indagine per la conoscenza del territorio antico, a cura di Claudio Zaccaria e Centro di Antichità Altoadriatiche, Trieste 1999.

BAROCCHI R., *Manualetto di progettazione rispettosa del paesaggio a uso dei professionisti e delle commissioni edilizie integrate,* Mariano del Friuli 2002.

BERTACCHI L., *Nuova pianta archeologica di Aquileia*, Udine 2003.

BRUSIN G., *Aquileia. Guida storica e artistica*, Udine 1929.

BRUSIN G., *Gli scavi di Aquileia*, estratto da "La Panarie" XII (1934), Udine 1934.

CALLAHAN E., *Microsoft Access 2002 Visual Basic : for application passo per passo*, Milano 2001.

CARRE M. B., *Le réseau hydrograpique d'Aquilée: état de la question,* Trieste 2005.

CARRE M. B., MASELLI SCOTTI F., *Il porto di Aquileia: dati antichi e ritrovamenti recenti,* in "Antichità Altoadriatiche", XLVI (2001), Trieste 2001, pp. 211-243.

CARRE M. B., MAROCCO R., MASELLI SCOTTI F., PUGLIESE N., *Quelques données récentes sur le réseau fluvial et le paléoenvironnement d'Aquileia (Italie Nord-orientale)*, in *Puertos fluviales antiguos : ciudad, desarrollo e infrastructuras*, Valencia 2003.

CARRE M. B; ZACCARIA C., *Aquileia-Magazzini a Nord del Porto Fluviale. Scavo 1999,* in "Notiziario archeologico", 70 (1999), pp. 351-354.

CARRE M. B; ZACCARIA C., *Aquilée secteur du port fluvial*, in "MEFRA", 112, 1, pp. 463-465.

CARULLI G.B., *Carta geologica del Friuli Venezia Giulia*, Firenze 2005.

COCIANCICH A., *Un Sistema Informativo Geografico per lo Studio delle Strutture Fluviali di Aquileia*, Tesi di Laurea Triennale in Ingegneria Informatica, Università degli Studi di Trieste, A.A. 2005-2006 (Relatore: Prof. Raffaela Cefalo).

DI BARTOLOMEO M., *"Carte geografiche, corografiche, topografiche, militari, catastali, tecniche ed archeologiche di Aquileia e del suo territorio, dal sec. XVII al sec. XIX"*, in *Ricerche paleoambientali sul territorio di Aquileia. Il contributo della cartografia storica in un sistema informativo territoriale*, relazione I anno di Dottorato di Ricerca, Università degli Studi di Trieste, 2007.

FERRETTI L., *Aree a rischio idrogeologico: tecnologie innovative per l'analisi ed il monitoraggio,* Parma 2000.

FORLATI TAMARO B.**,** *Da Aquileia a Venezia: una mediazione tra l'Europa e l'Oriente dal II secolo a.C. al VI secolo d. C.***,** Milano 1993.

*Gli scavi di Aquileia : uomini e opere***:** atti della XXIII Settimana di Studi Aquileiesi, (Aquileia, 25-29 aprile 1992), a cura del Centro di Antichità Altoadriatiche, Udine 1993.

GRUPPO ARCHEOLOGICO AQUILEIESE, *La mostra sulle piante antiche*, Aquileia 1985.

KANDLER P., *De Aquileia romana*, "Atr", 12 (1869-1870), pp. 93-140.

*Il territorio di Aquileia nell'antichità***:** atti della IX Settimana di Studi Aquileiesi (Aquileia, 22-28 aprile 1978), a cura del Centro di Antichità Altoadriatiche, Udine 1979.

La carta del rischio del patrimonio culturale in Lombardia. Guida per la georeferenziazione dei beni storico-architettonici, Milano 2004.

La tecnica del laser scanning. Teoria ed applicazione, a cura di F. Crosilla, R. Galetto, Udine 2003.

LAGO L., *Imago Adriae. La patria del Friuli, l'Istria e la Dalmazia nella cartografia antica, Trieste 1998.*

LONGLEY PAUL A., GOODCHILD M., MAGUIRE DAVID J. RHIND DAVID W., *Geographic information systems and science*, Wiley 2001.

MAGGI P., ORIOLO F., *Dati d'archivio e prospezione di superficie: nuove prospettive di ricerca per il territorio suburbano di Aquileia*, in *Archeologia senza scavo : nuovi metodi di indagine per la conoscenza del territorio antico***,** a cura di Claudio Zaccaria e Centro di Antichità Altoadriatiche, Trieste 1999, pp. 99-124.

MAGGI P., ORIOLO F., *Il percorso della via Annia nel territorio di Aquileia: elementi per la sua definizione*, in *La via Annia e le sue infrastrutture :* atti delle giornate di studio Ca' Tron di Roncade (Treviso, 6-7 novembre 2003), a cura di Maria Stella Busana, Francesca Ghedini, - Cornuda (Treviso) 2004, pp. 250-289.

MASELLI SCOTTI F., *Il sistema portuale aquileiese*, in "Quaderni Aquileiesi", 6-7 (2000), Aquileia 2000.

MIGLIACCIO F., *Cartografia tematica e automatica*, Milano 2001.

MINAMI M., *Using ArcMap, Usa 2000.*

MIRABELLA ROBERTI M., *L'edificio romano nel "Patriarcato"* , in "Aquileia Nostra", 26 (1965), Aquileia 1965, pp. 167-188.

MONTAGNARI KOKELJ E., MUZZIOLI M., RICCOBONO D., *Individuazione di percorsi antichi fra archeologia e scienza,* in *Le valli del Natisone e dell'Isonzo tra Centroeuropa e Adriatico*: atti del Convegno Internazionale di Studi (San Pietro al Natisone -Ud, 15-16 settembre 2006), Roma 2007, pp. 99-109.

PIPAN M., FINETTI I., *Tecniche geofisiche innovative che stanno rivoluzionando l'esplorazione archeologica avanzata*, in *Archeologia senza scavo : nuovi metodi di indagine per la conoscenza del territorio antico***,** a cura di Claudio Zaccaria e Centro di Antichità Altoadriatiche, Trieste 1999, pp. 161-171.

PIUSSI S., AAAd, *Bibliografia Aquileiese,* XI, Udine 1978.

PORTULANO B., URBAN M., *Materiale e tecniche murarie nel basso e medio Friuli in età romana,* Trieste 2001.

Prima dei romani : scoperte di preistoria e protostoria fra colline e mare, a cura di Franca Maselli Scotti, Andrea Pessina e Serena Vitri, Aquileia 1997.

PRIZZON A., *Metodologie geofisiche integrate 3-d per indagini archeologiche e paleoambientali in aree costiere,* Tesi di Dottorato di ricerca, Università degli Studi di Trieste, (A.A. 2001-2002).

SICHE I., *Evolution historique du tracé et de l'alluvionnement du système tni aux environs d'aquilée,* Tesi di Dottorato di ricerca, Paris 2008.

TAVANO, S., *Aquileia e Grado. Storia-Arte-Cultura*, Trieste 1986.

TAVANO S., *Gorizia. Storia e Arte,* Gorizia 1986.

The site of Aquileia (northeastern Italy): example of fluvial geoarchaeology in a Mediterranean deltaic plain, in "Geomorphologie: relief, processus, environment", 4 (2003), pp. 227-246.

VALE G., *Contributo per la topografia di Aquileia*, in "Aquileia Nostra", 1, II (1931), Aquileia 1931, pp. 13-21.