



Quaderni del
Centro Studi per l'Archeologia dell'Adriatico
Sede di **Acquaviva Picena**



In profondità senza scavare

*Metodologie di indagine non invasiva
e diagnostica per l'archeologia*

a cura di
Enrico Giorgi

Centro Studi per l'Archeologia dell'Adriatico
Dipartimento di Archeologia – Università di Bologna
Fondazione Flaminia (Ravenna)



BraDypUS s.a.
COMMUNICATING CULTURAL HERITAGE

Groma 2. *In profondità senza scavare*
 Metodologie di indagine non invasiva
 e diagnostica per l'archeologia

INDICE

<i>Leggere attentamente le avvertenze: guida alla lettura</i>	11-12
1. Presentazione (G. Sassatelli)	13-15
2. Introduzione (E. Giorgi)	17-26
3. Topografia per l'archeologia	27
3.1. <i>Introduzione al rilievo per l'archeologia</i> (E. Giorgi)	29-68
3.2. <i>Rilievo topografico per l'archeologia</i> (A. Capra, M. Dubbini)	69-90
3.3. <i>Fotogrammetria per l'archeologia</i> (M. Dubbini, A. Capra)	91-116
3.4. <i>Principi di stratigrafia degli elevati</i> (A. Curci, E. Ravaioli, A. Baroncioni)	117-125
3.5. <i>Introduzione all'archeologia dei paesaggi</i> (P.L. Dall'Aglio)	127-137
3.6. <i>Archeologia dei paesaggi e Remote Sensing</i> (S. Campana)	139-157
3.7. <i>Telerilevamento iperspettrale per rilievi archeologici</i> (R.M. Cavalli, S. Pignatti)	159-169
3.8. <i>Fotografia aerea per l'archeologia</i> (G. Ceraudo, F. Boschi)	171-186
3.9. <i>Fonti scritte, iconografiche, documentarie e topografia antica</i> (R. Helg, S. Rambaldi, E. Vecchietti)	187-206
3.10. <i>Diagnostica per la conservazione: problemi generali</i> (G. Lepore, M. Ricciardone)	207-217

4. Topografia per l'archeologia. Schede	219
4.1. <i>Sistemi di riferimento</i> (J. Bogdani)	221
4.2. <i>Sistemi di coordinate</i> (J. Bogdani)	222-224
4.3. <i>Cartografia</i> (M. Silani)	225-229
4.4. <i>Carte archeologiche</i> (M. Silani)	230-232
4.5. <i>Fotocamera analogica e digitale</i> (E. Vecchietti)	233-236
4.6. <i>Livello ottico</i> (M. Dubbini, M. Silani)	237-239
4.7. <i>Stazione totale</i> (M. Dubbini, M. Silani)	240-243
4.8. <i>GNSS (Global Navigation Satellite System)</i> (A. Capra, M. Dubbini, E. Giorgi)	244-250
4.9. <i>Parola ai partner: ricevitori GNSS Trimble</i> (L. Gusella)	251-252
4.10. <i>Laser scanner terrestre</i> (A. Capra, M. Dubbini, E. Giorgi)	253-256
4.11. <i>Parola ai partner: strumentazione topografica high-level di TOPCON</i> (M. Toppi)	257-258
4.12. <i>Applicativi CAD</i> (J. Bogdani)	259-261
4.13. <i>Applicativi di grafica</i> (E. Vecchietti)	262-264
4.14. <i>Formati immagine</i> (E. Vecchietti)	265-267
4.15. <i>Immagini da satellite</i> (B. Cerasetti)	268-275
4.16. <i>Fotografia da aquilone</i> (M. Silani, M. Zanfini)	276-280
4.17. <i>Fotografia da pallone</i> (A. Baroncioni, M. Ricciardone)	281-283
4.18. <i>Metrologia antica</i> (E. Giorgi)	284-285
4.19. <i>Parola agli sponsor: strumentazione topografica Instrumetrix</i> (A. Cappelletti)	286-288
5. Geofisica per l'archeologia	289
5.1. <i>Introduzione alla geofisica per l'archeologia</i> (F. Boschi)	291-315
5.2. <i>Principi di fisica per la geoelettrica</i> (M.C. Bottacchi, F. Mantovani)	317-322
5.3. <i>Sistemi di misura della resistività: da manuale ad autotraining (ARPs)</i> (M. Dabas)	323-333
5.4. <i>Georadar</i> (M. Bittelli)	335-357
5.5. <i>Ground Penetrating Radar (GPR) per l'archeologia</i> (L.B. Conyers)	359-371
5.6. <i>Contributo per lo sviluppo storico della magnetometria applicata all'archeologia. Perché non solo magnetometria al cesio?</i> (H. Becker, F. Boschi, S. Campana)	373-396
6. Geofisica per l'archeologia. Schede	397
6.1. <i>Georesistivimetro - 64 elettrodi</i> (M.C. Bottacchi, F. Mantovani)	399-400
6.2. <i>Georesistivimetro OhmMapper</i> (Geometrics-US) (M.C. Bottacchi, F. Mantovani)	401-402
6.3. <i>Georadar</i> (F. Boschi)	403-404

6.4. <i>Applicativi per il georadar</i> (F. Boschi)	405-406
6.5. <i>Magnetometro</i> (B. Frezza)	407-408
6.6. <i>Applicativi per la magnetometria</i> (B. Frezza)	409-410
6.7. <i>Parola agli sponsor: Magnetometro-gradimetro al potassio GEM SYSTEMS</i> (Stefano Del Ghianda)	411
6.8. <i>Tra geofisica e archeologia: una nuova configurazione del gradimetro al potassio GSMP-35</i> (F. Boschi)	412
7. Gestione dei dati per l'archeologia	413
7.1. <i>Prima e dopo l'attività sul campo</i> (E. Vecchietti)	415-420
7.2. <i>GIS per l'archeologia</i> (J. Bogdani)	421-438
7.3. <i>Banche dati archeologiche</i> (J. Bogdani)	439-452
7.4. <i>NADIR – Il Network Archeologico di Ricerca del Dipartimento di Archeologia dell'Università di Bologna</i> (A. Gottarelli)	453-461
7.5. <i>Edizione e divulgazione online: l'editoria digitale</i> (E. Vecchietti)	463-468
8. Gestione dei dati per l'archeologia. Schede	469
8.1. <i>Standard di documentazione ICCD</i> (E. Vecchietti)	471-473
8.2. <i>Il sistema BraDypUS</i> (J. Bogdani)	474-476
8.3. <i>WebGIS</i> (M. Aldrovandi, J. Bogdani)	477-480
8.4. <i>SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)</i> (J. Bogdani)	481-482
9. Il ruolo delle tecnologie nella formazione dell'archeologo	483
Tavola rotonda Dipartimento di Archeologia dell'Università di Bologna (Complesso di San Giovanni in Monte), 12 aprile 2008	485
9.1. <i>Presentazione</i> (G. Sassatelli)	487-489
9.2. <i>Introduzione</i> (A. Augenti)	491-495
9.3. <i>Una riflessione</i> (S. Campana)	497-498
9.4. <i>Un approccio diverso</i> (A. Capra)	499-500
9.5. <i>Discussione</i> (A. Augenti, A. Capra, S. Campana, A. Curci, M. Cattani, E. Giorgi, A. Gottarelli, G. Lepore, D. Manacorda, C. Mattioli, L. Mazzeo, G. Sassatelli, E. Vecchietti)	501-510
9.6. <i>Conclusioni</i> (D. Manacorda)	511-515

10. Archeologia “sostenibile” tra ricerca, conservazione e formazione. Il Progetto <i>Burnum</i>	517
10.1. <i>Le ragioni di una sperimentazione riuscita</i> (A. Campedelli, E. Vecchietti)	519-528
10.2. <i>“Prendere le misure” del sito: posizionamento, rilievo e aerofotografia</i> (M. Silani)	529-532
10.3. <i>“Radiografare” il sito: la geofisica applicata all’archeologia. Considerazioni preliminari</i> (F. Boschi, I. Nicolosi)	533-543
10.4. <i>Monitorare e conservare il sito: diagnostica per il restauro. Potenzialità e limiti</i> (M. Ricciardone)	545-550
11. Apparati	551
11.1. <i>Glossario</i>	553-567
11.2. <i>Bibliografia tematica e risorse web</i>	569-599
11.3. <i>Referenze delle illustrazioni</i>	601-603

GIS in archeologia

7.2

Julian Bogdani

BraDypUS s.a.
Communicating
Cultural Heritage



Cap. 3.5

L'utilizzo degli applicativi GIS nell'ambito archeologico è ormai una pratica diffusa e quotidiana, non solamente in quel particolare ambito disciplinare conosciuto con il nome di archeologia dei paesaggi, ma anche nell'ambito dell'archeologia stratigrafica. Il grande successo di questa tecnologia dipende principalmente da una delle sue principali caratteristiche, ovvero la *modularità*, che ne fa uno strumento utilizzabile a più livelli.

Prima di procedere e vedere in dettaglio quali possono essere i principali usi di questo strumento ai fini della ricerca archeologica, non sarà inutile cercare di capire cosa di preciso questa sigla significa, al di là della pura e semplice questione *software*.

GIS, vale a dire *Geographic Information System*, si può tradurre in italiano con "Sistema Informativo Geografico", anche se per motivi legati alla storia degli studi viene tradotto con Sistema Informativo Territoriale (SIT, il cui equivalente inglese è il LIS, *Land Information System*). In primo luogo, dunque, si tratta di un sistema: in quanto tale lo si deve vedere non come una singola tecnica o un isolato *software*, ma come un insieme composto da varie entità, indipendenti oppure in interazione tra loro, che svolgono compiti differenziati. Il sistema è poi definito *informativo* (non informatico!), cioè un protocollo integrale di gestione, manutenzione, elaborazione di informazioni di vario genere che può servirsi dell'aiuto di un calcolatore (e di norma lo fa, anche per gestire relazioni, grandi quantità di dati e processi di automazione), ma la cui struttura è indipendente e prescinde dal suo utilizzo. Un sistema complesso, quindi, fatto di entità e relazioni, la cui struttura viene definita e ottimizzata secondo le necessità del caso e che prescinde da un supporto informatico, il quale agevola solamente una più facile e veloce gestione. Per ritornare alla



Sch. 8.1

pratica archeologica, il sistema informativo dovrebbe essere definito e impostato prima dello scavo/ricerca, in modo tale da coincidere con la metodologia d'indagine utilizzata e con la struttura della documentazione che verrà raccolta sul campo (apparati schedografici, grafici, fotografici, ecc.).

Infine i GIS vengono ulteriormente definiti come geografici, il che vuol dire che il *linguaggio comune* a tutti gli elementi che compongono il sistema, è quello *geografico*. Più semplicemente, tutti i dati che entrano a comporre il sistema sono *in un qualche modo posizionabili sulla superficie della terra*, ed è proprio in virtù di questo che è possibile metterli reciprocamente in relazione. Il processo attraverso il quale a un dato vengono associate le relative informazioni geografiche si chiama *georiferimento* (molto usati anche gli inglesismi “georeferenziazione” e “georeferenziare”, da *georeference*). La possibilità di essere riferite a un sistema di coordinate prestabilito è quindi il requisito minimo che un dato *deve* possedere per potere essere elaborato e gestito in un sistema informativo geografico/territoriale.

Dati in entrata, tipologie e forma

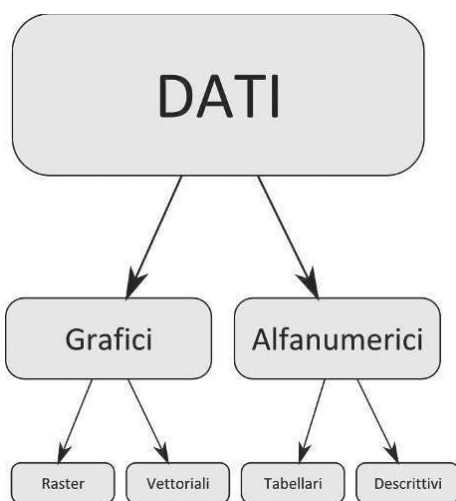
Le entità che compongono il sistema informativo geografico, cioè i dati, possono essere di varia natura, ma si possono dividere in due macrocategorie: *dati grafici* e *dati alfanumerici*. I primi si possono a loro volta dividere in dati in formato *raster* e in dati in formato *vettoriale*, mentre i secondi sono solitamente costituiti dalle *banche dati*, archivi in cui le informazioni alfanumeriche vengono salva-



Cap. 7.3

te, catalogate e gestite in formato tabellare. Un altro tipo di dato alfanumerico sono i *dati descrittivi* (contributi scientifici, diari di scavo, ecc.), i quali non sono in genere adatti a essere organizzati in formato tabellare.

Di norma, i dati alfanumerici sono messi in relazione con i dati grafici e in tal modo vengono georiferiti.

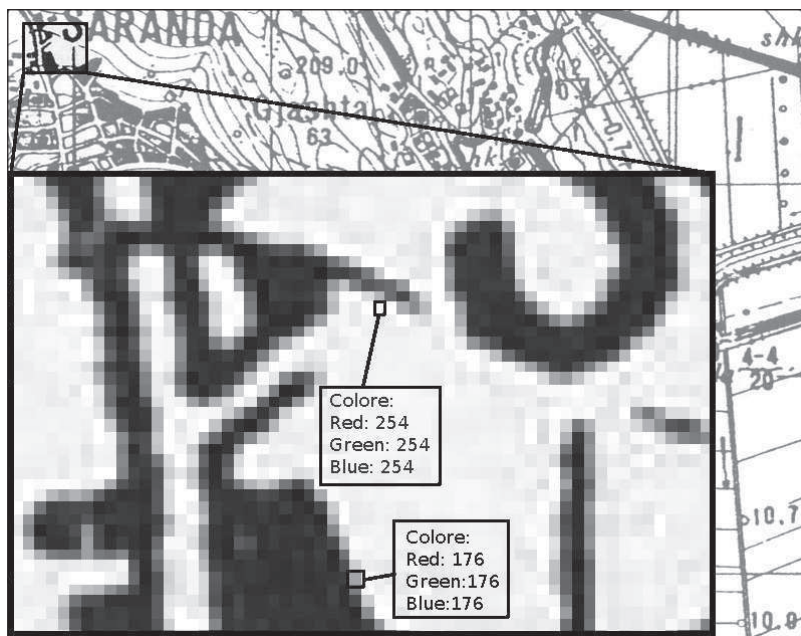


Dati in formato raster

Il formato raster è un formato di rappresentazione grafica secondo il quale il documento è rappresentato da una griglia di forma rettangolare dove ogni cella (*pixel*) ha un suo attributo, espresso nella maggior parte dei casi da un valore numerico. Nelle applicazioni GIS i dati raster sono rappresentati soprattutto da documenti normalmente disponibili in formati tradizionali, cartacei, che vengono numericamente acquisiti (attraverso un processo di “digitalizzazione”, in genere con l’utilizzo di uno scanner). Sempre in formato raster sono anche tutte le varie immagini nate già in formato digitale e acquisite con sistemi fotografici. In un progetto di GIS archeologico saranno dunque in formato raster gli eventuali disegni e piante di documentazione archeologica (in scala 1:1, 1:10, 1:20, 1:50, ecc.) realizzate in modo tradizionale (manuale) in cantiere o in laboratorio, nonché tutte le fotografie digitali e i fotopiani/ortofoto. Risalendo di scala sarà sempre in formato raster tutta la cartografia topografica o tematica precedentemente edita che entrerà a fare parte del progetto, e ancora tutte le varie fotografie e immagini satellitari (di qualsiasi tipo), comunemente utilizzate per lo studio di un territorio.



Sch. 4.14



Esemplificazione della struttura di un'immagine raster (tratta da uno stralcio di una carta topografica), composta da una griglia regolare di pixel, ciascuno con un'informazione sul colore

423

In questi tipi di documenti l'attributo numerico di ogni *pixel* rappresenta un'informazione relativa al colore dello stesso (in formato RGB, in scala di grigi o indicizzato), ma un formato raster è adatto



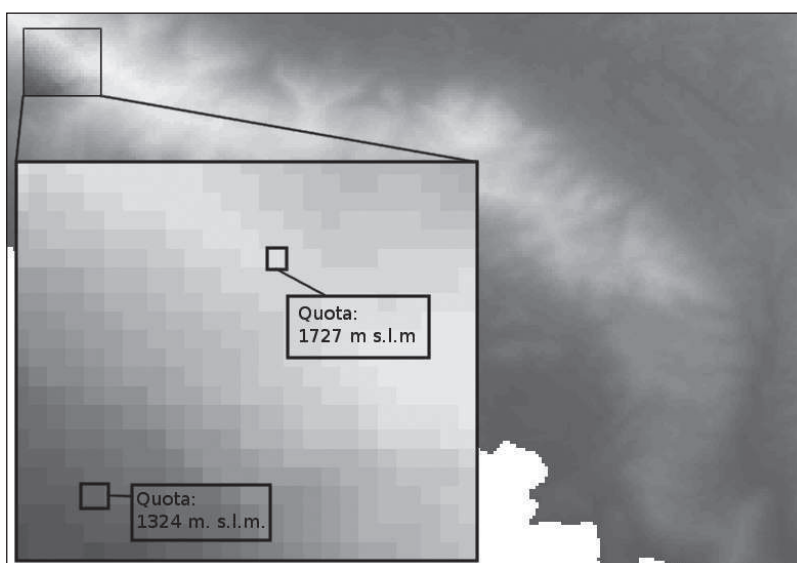
Cap. 3.3

anche a rappresentare altri tipi di informazioni, come per esempio l'altimetria. L'esempio sicuramente di più facile comprensione è quello dei raster che rappresentano DEM (*Digital Elevation Model*) o DTM (*Digital Terrain Model*) di una certa porzione del territorio. In questi ultimi ciascun *pixel* ha come attributo un valore numerico indicante l'altezza di quel dato punto della superficie della terra dal livello medio mare. In questo formato viene per esempio distribuito il più grande e completo DEM della superficie terrestre costituito dai risultati della SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).



Sch. 4.15, 8.1

Esemplificazione della struttura di un'immagine raster di uno stralcio di una immagine SRTM, composta da una griglia regolare di pixel, ciascuno con un'informazione sulla quota



Sempre in formato raster vengono esportati e visualizzati (e quindi analizzati e incrociati) i risultati delle principali indagini geofisiche. La presenza di anomalie in pianta o in sezione viene normalmente resa utilizzando i toni di grigio di un formato raster, ma anche scale (gradienti) di colore, per una più facile visualizzazione. Altri esempi di raster in ambienti GIS sono le *carte tematiche* che rappresentano, per esempio, l'esposizione al sole in un dato periodo dell'anno, l'indicazione del fattore di pendenza di un dato territorio e altre analisi spaziali (vedi anche più avanti).



Sch. 4.3

Dati in formato vettoriale

I dati in formato vettoriale utilizzano informazioni geometriche semplici basate su formule matematiche per rappresentare immagini. L'elemento più semplice è costituito dal punto, definito da una

doppietta di coordinate xy , spesso posizionate su una superficie di riferimento; si parla in questo caso di spazio a una dimensione. Il segmento, invece, è definito come posizione dei punti che si trovano lungo la linea ideale che congiunge due vertici; allo stesso modo si definiscono via via anche gli elementi più complessi, come cerchi, archi, poligoni, superfici, ecc. A livello grafico i dati vettoriali sono indipendenti dalla scala, dal momento che possono essere ingranditi o rimpiccioliti (si parla di “zoom”) teoricamente all’infinito, senza perdere definizione, a differenza dei dati raster che invece sono legati alla dimensione reale del *pixel*.

In ambito archeologico si fa ormai un diffuso utilizzo dei dati vettoriali utilizzando formati diversi di *file*. Per quanto riguarda un’ampia scala di ricerca, come primo passo nella costruzione di un GIS, vengono trasformati in formato vettoriale (cioè vengono *vettorializzati*) gli elementi salienti della geografia di un territorio, come per esempio la rappresentazione di curve di livello, contorni di laghi, linee di costa, confini, delimitazioni dei centri abitati, strade, ecc. Si preferisce solitamente per questi elementi il dato vettoriale, che presenta a livello grafico il vantaggio della scalabilità, anche se bisogna tenere presente che un dato vettorializzato da una base raster (una pianta ‘scontornata’, per esempio) mantiene la scala del suo originale (scala nominale). Inoltre il dato vettoriale è più adatto, a livello *software*, a essere interrogato per analisi spaziali e topologiche (vedi sotto).

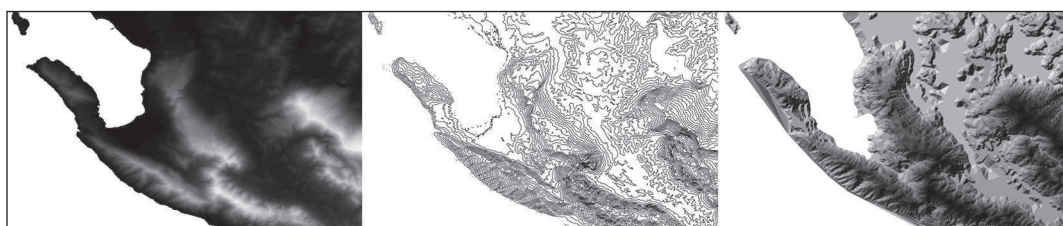


Sch. 4.14

Sotto, tre modi di rappresentare la superficie del terreno: a sinistra, un raster DEM (SRTM), al centro una sua elaborazione vettoriale a curve di livello e a destra un’ulteriore rielaborazione a triangoli (TIN)



- scala nominale



Sempre in formato vettoriale sono tutti i dati che vengono raccolti con strumentazione quali stazione totale e GPS, sempre più usati per il corretto posizionamento e la documentazione grafica di un’indagine archeologica.

I formati vettoriali sono poco adatti, però, per la rappresentazione delle superfici del terreno (DEM/DTM), anche se ormai per questo scopo sono universalmente diffusi e accettati i TIN (*Triangular Irregular Network*). Questo sistema utilizza, come dice lo stesso acroni-

Cap. 3.3
Sch. 4.7-4.8

mo, una rete di triangoli (la più semplice superficie non deformabile) di forma irregolare, giustapposti, per rappresentare l'andamento del terreno. Questo formato, com'è semplice intuire, ha non solo una scala nominale, ma anche una scala grafica (come i dati raster), dal momento che non è possibile ingrandire ("zoomare") oltre a un certo fattore di scala.

Dati alfanumerici

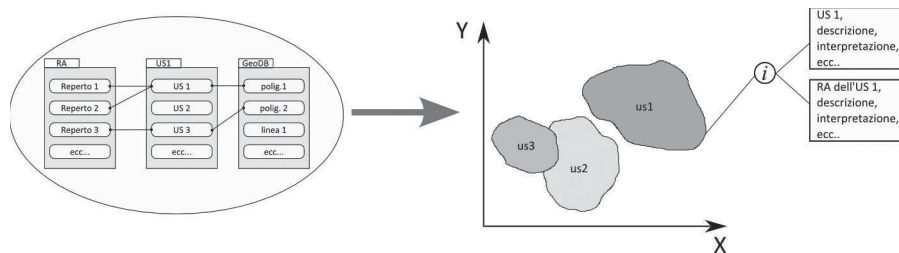
A qualsiasi scala della ricerca archeologica, da un ampio livello territoriale con l'archeologia dei paesaggi fino a un livello intrasito con l'archeologia stratigrafica, la maggior mole di dati raccolta è sicuramente in formato alfanumerico: classificazioni, descrizioni, elenchi, cataloghi, ecc. Questi dati, organizzati in formato tabellare in apposite banche dati relazionali (DBMS, *Data Base Managing System*), possono e devono entrare a fare parte integrante del GIS dedicato al contesto della ricerca.

Nella maggior parte dei casi i dati non sono di per sé georiferiti, ma lo possono diventare se relazionati agli altri dati raster o vettoriali. Un esempio spiega meglio quanto appena detto: la descrizione analitica di un dato frammento ceramico, custodita in una scheda apposita (riga), all'interno della tabella dedicata ai reperti archeologici della banca dati di uno scavo, non possiede di per sé elementi di posizionamento. Ma questa scheda è riferita a un contesto ben preciso, come può essere quello di una data Unità Stratigrafica, a sua volta descritta all'interno della tabella US della stessa banca dati (la quale in quanto relazionale 'mantiene' il collegamento – *relazione* – tra i due). A sua volta questa Unità Stratigrafica, oltre alla descrizione analitica, possiede anche una sua rappresentazione grafica e topografica (pianta/sezione/prospetto, ecc.), raster o vettoriale, georiferita o quanto meno georiferibile. In questo modo, dopo una serie di 'passaggi', anche la descrizione del singolo reperto trova una sua collocazione geografica più o meno precisa.



Cap. 7.3

Schema dei possibili collegamenti in un database archeologico che portano al georiferimento dei dati



Si approfitta di questo esempio per ribadire la differenza tra GIS come sistema informativo e GIS come *software*: il sistema informativo nasce e viene strutturato prima di qualsiasi installazione *software*. Per prima cosa viene stabilita l'architettura del sistema che farà da contenitore e gestore dei dati, che fa sì che tutto funzioni. In archeologia questo viene a coincidere con la metodologia della ricerca e della sua documentazione: nel caso dello scavo stratigrafico, questo prevede che ogni Unità Stratigrafica venga rappresentata graficamente e poi venga analiticamente descritta in singole schede; che i reperti rinvenuti vengano anch'essi catalogati riportando i dati della provenienza in modo sicuro e univoco, in modo da essere facilmente riferiti al contesto di provenienza (l'indicazione del numero di US nella scheda reperto rinvia in modo sicuro alla scheda dell'unità stratigrafica). La soluzione *software* aiuta semplicemente a gestire in maniera razionale e veloce questi collegamenti, facendo in modo che quello che è stato qui descritto con molte parole (associazione rappresentazione grafica georiferita – apparato schedografico a più livelli) venga risolto in modo veloce con un singolo click. Una volta che si clicca su un elemento grafico per interrogarlo, il *software* non farà altro che, in base alle relazioni che noi abbiamo stabilito nella progettazione del sistema informativo (nel caso dell'esempio vettore – scheda US – schede reperti), andare a cercare le giuste informazioni nei vari *file*, cartelle, banche dati associate all'interno del progetto GIS. Una volta che si sono stabilite delle relazioni strutturali a vari livelli tra i vari dati che compongono un GIS, l'interrogazione da parte dell'utente può essere fatta in ogni direzione: a partire dal dato geografico (vettore/*pixel*) si possono chiedere informazioni ulteriori (la ricerca descritta sopra), ma anche l'inverso, si può partire da altri dati (per esempio tabellari) per arrivare a quelli geografici, come è per esempio il caso delle interrogazioni che si eseguono per potere visualizzare carte tematiche, come le piante di fase (per esempio se si chiede di visualizzare tutti i contorni delle Unità Stratigrafiche nelle cui schede il campo 'fase' riporta un certo dato).

Metadati

I dati sui dati, ovvero i *metadati*, sono elementi importantissimi nella costruzione di un sistema informativo. La corretta descrizione dei dati e della loro struttura rende il sistema facilmente leggibile anche da terzi, ma soprattutto permette il suo funzionamento.

Fanno parte dei metadati una serie di informazioni che la metodologia dello scavo stratigrafico prevede in ogni caso di registrare. Si tratta di informazioni relative al metodo di raccolta dei dati e agli operatori (ad esempio chi ha eseguito un certo rilievo, quando, ecc.). In archeologia i metadati relativi ai dati tabellari vengono descritti nella struttura stessa della banca dati (nomi dei compilatori, date di compilazione, responsabili, ecc.), mentre quelli relativi alla documentazione grafica trovano posto in riquadri specifici all'interno dei rilievi (numerazione del rilievo, scala, operatori, disegnatori, posizionamenti, data, orientamenti, ecc.). Durante la digitalizzazione è buona pratica non perdere queste informazioni (in quanto garantiscono una maggiore longevità e una migliore comprensione dei dati stessi) anche se non è possibile indicarli graficamente (interferirebbero con le varie visualizzazioni). In questa direzione i *software* GIS hanno di norma vari sistemi di registrazione dei metadati, ai quali vale la pena dedicare una parte del tempo/lavoro dell'archeologo.

Considerata la grande importanza che ha nella corretta visualizzazione dei dati grafici, viene trattata separatamente un'altra serie di metadati, quelli riguardanti il *georiferimento*.

Georiferimento, sistema di coordinate, sistema di proiezione, trasformazioni

Come si è già avuto modo di sottolineare, il linguaggio comune che tutte le entità componenti un sistema informativo geografico devono almeno 'capire' ed eventualmente 'parlare' per poter essere messe in relazione tra loro è quello geografico. Più semplicemente, tutte le entità devono, in qualche modo, possedere delle coordinate geografiche precise all'interno di un *sistema di coordinate* noto. In particolare, a differenza di altri sistemi informativi, informatici o meno, che possono essere adottati in una indagine archeologica, il GIS lavora in coordinate assolute, o meglio geografiche. Questo per un motivo facilmente comprensibile: essendo il GIS finalizzato a mettere in comunicazione tra loro un grande numero di entità di diversa natura, è più facile per il sistema se la lingua comune a tutti questi elementi è una lingua diffusa e condivisa (un sistema geografico) piuttosto che una lingua particolare e limitata a uno specifico ambito (sistema locale). Fino a qui si è parlato di coordinate geografiche (sistema polare), ma bisogna tenere presente che in un sistema GIS informatico, come anche nella tradizionale cartografia cartacea, le componenti hanno bi-



Sch 4.2

sogno di un'ulteriore elaborazione per potere essere rappresentate in spazi piani bidimensionali, come lo schermo di un calcolatore oppure il foglio di carta. Per potere dunque lavorare, interrogare, analizzare, ecc., è necessario utilizzare un sistema di coordinate piane o proiezioni (sistema cartesiano), definito anche anche *sistema di proiezione*.

Nella costruzione di un GIS, anche in ambito archeologico, è possibile poi trovarsi a lavorare con dati georiferiti secondo sistemi diversi. Un caso tipico è quello dell'integrazione della cartografia storica (georiferita in un sistema ormai in disuso) con la cartografia ufficiale (che si trova nativamente nel sistema di coordinate ufficiale dello stato che l'ha compilata) e con rilievi GPS (normalmente in WGS84). Per fare comunicare i vari dati, e per avere quindi una corrispondenza grafica tra il rilievo sul campo e le cartografie in nostro possesso è necessario trasformare tutti i dati in un sistema unico. L'insieme dei calcoli che permettono di passare da un sistema di proiezione all'altro costituisce i cosiddetti *parametri di trasformazione*. Diversi *software* GIS applicano questi parametri alle varie entità automaticamente, anche se è possibile effettuare questi passaggi anche esternamente, mediante altri applicativi.

L'ottimizzazione e l'uniformazione dei dati è, ancora una volta, un passaggio che viene previsto ed eseguito in fase di progettazione del sistema informativo, prima di passare materialmente alla costruzione del GIS. Si tratta della fase forse più importante, dal momento che condizionerà le ricerche e le analisi future.

Preparazione, manipolazione e trasformazione dei dati. GIS e archeologia

Non esiste una metodologia predefinita per concepire e costruire una buona ed efficiente struttura GIS. Almeno per quanto riguarda il campo archeologico, un GIS, oltre a costituire uno strumento indispensabile nelle fasi conclusive di studio e analisi dei dati archeologici, è in prima istanza il punto di arrivo per quello che riguarda una delle tappe più importanti della ricerca, vale a dire *la raccolta e l'organizzazione dei dati stessi*. La sua struttura andrà quindi a corrispondere con la struttura della documentazione definita prima della campagna di raccolta (il sistema informativo della ricerca). È però molto importante cercare di definire di volta in volta in maniera chiara la struttura del progetto, ovvero i suoi metadati, per potere costruire correttamente le analisi e le interrogazioni. In questo ambito



Sch. 4.3

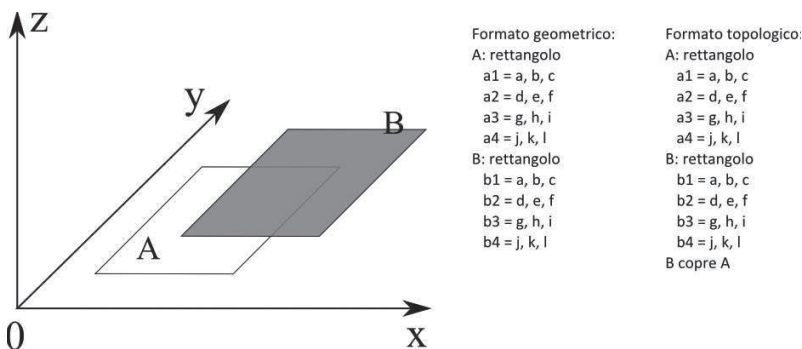


giocano un ruolo fondamentale i formati e la loro scelta non deve essere casuale. Il formato di interscambio di maggiore diffusione è senza dubbio lo *shapefile*.

Shapefile

Lo *shapefile* (estensione *.shp, oppure *.shx) è un formato vettoriale non topologico (a differenza dei *Coverage Data* o dei *Geodatabase*) creato dalla casa produttrice ESRI, in grado di descrivere geometrie (punti, polilinee, poligoni) con allegati attributi di carattere alfanumerico. Non si tratta di un singolo *file* ma di una serie: il *file* con estensione *.shp contiene le geometrie e altre informazioni di base, quello con estensione *.dbf contiene il dato alfanumerico associato in formato tabellare e il *file* con l'estensione *.shx contiene gli indici. Il successo e la diffusione di questo formato sono dovuti anche al fatto che le sue specifiche sono state in grande parte rese pubbliche (<http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>), e quindi è utilizzato non solo dai *software* della casa ESRI, ma anche da molti altri, senza grossi problemi di compatibilità e interscambio.

Tuttavia numerosi altri formati vettoriali di interscambio (per es. il DXF) sono ormai comunemente accettati dalla maggior parte dei software. Questo formato, in particolare, permette anche il collegamento con banche dati esterne, pur presentando forti limiti nelle analisi spaziali e nei filtri di visualizzazione. Il DXF permette inoltre un continuo e veloce aggiornamento per mezzo di software esterni (gli strumenti interni di disegno e modifica degli elementi vettoriali sono piuttosto limitati all'interno di un GIS).



Un aspetto che dovrebbe assumere un valore più importante di quello che attualmente detiene è la possibilità di eseguire *analisi topologiche* sui dati. Fino a ora si è parlato di *formati geometrici*, ossia formati che distinguono gli oggetti per la loro forma, la superficie o il volume che occupano nello spazio. La *topologia* invece *distingue gli*

oggetti nello spazio secondo le relazioni che intercorrono tra loro.

Un formato con supporto topologico permette dunque di registrare non solo la forma degli oggetti, ma anche le relazioni tra loro.

Nell'archeologia stratigrafica un approccio topologico si ha quando si ci si appresta a costruire un *matrix* di Harris, che non è altro che un grafo orientato che descrive la relazione fisica degli strati tra loro (copre, è coperto, si appoggia, è tagliato, ecc.).

I problemi maggiori si riscontrano soprattutto quando si devono organizzare in un ambiente GIS i dati provenienti da uno scavo archeologico stratigrafico. Questo perché ancora oggi lo sviluppo tecnologico permette solo parzialmente la rappresentazione dei dati tridimensionali. In ambienti GIS la terza dimensione viene oggi usata solo in fase di visualizzazione, ed è di difficile gestione (creazione/modifica). Questo, però, rappresenta solamente in parte un limite, in quanto la documentazione archeologica è tradizionalmente realizzata in due dimensioni. Dal punto di vista operativo e visivo, l'utilizzo del GIS non introduce nessuna novità in questa direzione e si è ancora costretti a descrivere graficamente uno scavo per proiezioni planimetriche (che si tratti di piante, di sezioni o di prospetti).

Il vero limite è rappresentato dal fatto che i metodi di documentazione topografica di un contesto archeologico sono molto cambiati rispetto al passato, con l'introduzione della possibilità di registrare la terza dimensione per un numero considerevole di punti. È sufficiente pensare all'uso sempre più diffuso in campo archeologico di tecniche come la scansione a laser o la fotogrammetria e ci si rende conto come l'impossibilità di gestire la terza dimensione sia attualmente un forte limite di questo strumento.

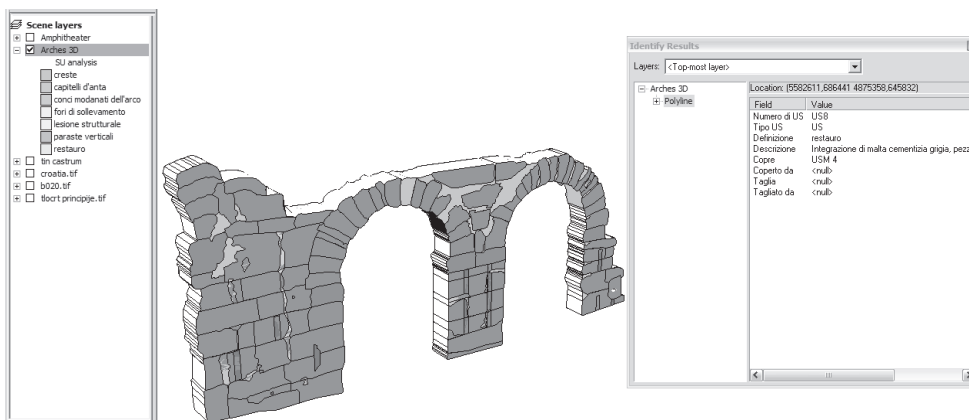


- grafo



Cap. 3.3
Sch. 4.10

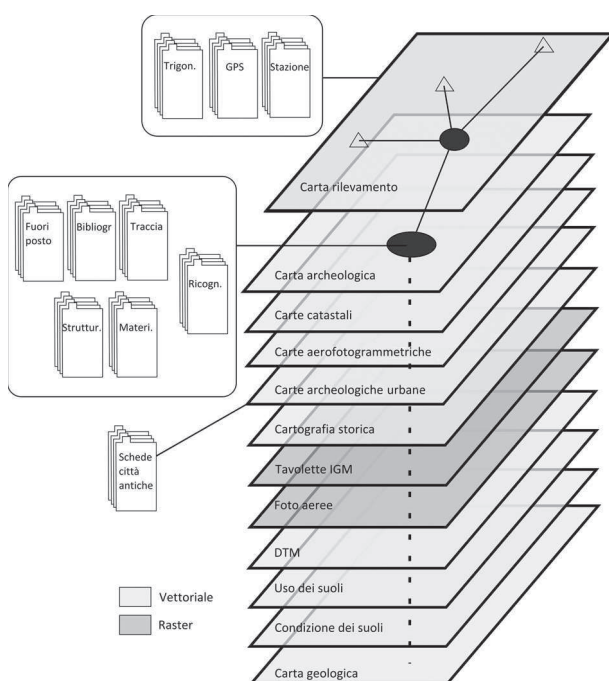
Sotto, particolare del modulo 3D del GIS di scavo del Burnum Project (Croazia)



A eccezione del dato 3D, il resto della documentazione normalmente prodotta in un cantiere archeologico può essere interamente rappresentata e gestita in un sistema informativo geografico.

L'utilizzo ormai pressoché esclusivo dei mezzi informatici nella documentazione di uno scavo – le banche dati degli elenchi e degli apparati schedografici di ogni genere, i rilievi ormai sempre più in formato numerico, la documentazione fotografica, ecc. – fa sì che la mole di *file* e cartelle da gestire ed elaborare sia sempre più grande.

Struttura del SIT per la Forma Italiae



L'utilizzo di un GIS quale semplice strumento contenitore, in grado di gestire in modo integrato tali dati o quale strumento di creazione di gradevoli apparati grafici è stato da sempre ritenuto fortemente limitativo.

Questo è sicuramente vero se si considerano le potenzialità riguardanti per esempio le analisi spaziali e topologiche; tuttavia è anche vero che se si cercasse uno strumento limitato alla gestione/manutenzione ci si renderebbe conto che i GIS rimangono, allo stato attuale, gli unici disponibili. Il loro impiego si rivela infatti necessario soprattutto nelle situazioni più complesse, dove la mole di dati raccolta sul campo è tale da rendere impossibile una valutazione

del loro insieme con metodi tradizionali.

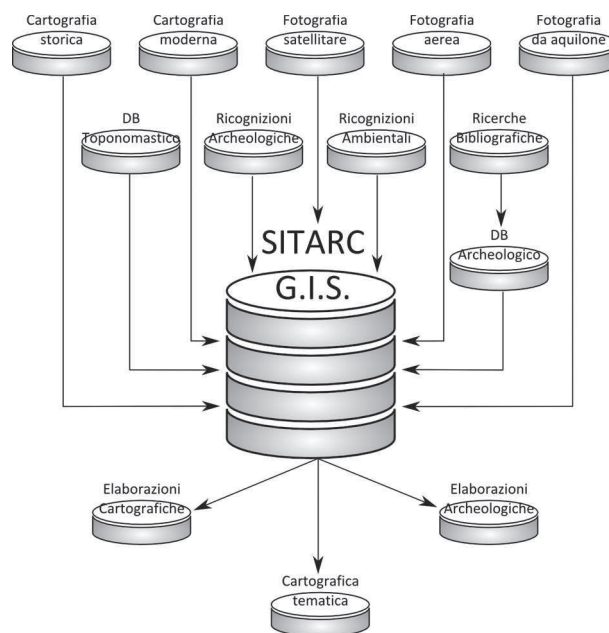
Bisogna inoltre tenere presente anche un'altra grande risorsa dell'archeologia moderna: la *multidisciplinarietà*. Le varie indagini, in tutto il loro percorso, dalla raccolta del dato allo studio e alla pubblicazione/divulgazione, sono sempre più caratterizzate dall'intreccio di molte e diverse specializzazioni e professionalità, spesso anche molto diverse tra loro. Il linguaggio geografico comune e soprattutto l'interrelazione che il sistema informativo è in grado di stabilire e mantenere tra i dati e che il sistema informatico materialmente gestisce in modo facile e stabile, fa in modo che competenze diverse possano leggere, consultare, analizzare, studiare e interpretare i dati

nel loro insieme, per arrivare attraverso vie diverse alla ricostruzione delle vicende del passato nei contesti in esame.

Qui forse potrebbe risiedere un'ulteriore potenzialità dello strumento GIS nei confronti dell'archeologia. Le piattaforme GIS, infatti, sono largamente impiegate nella pubblica amministrazione che quotidianamente si occupa del presidio territoriale e della sua pianificazione e gestione. È molto importante, quindi, che la ricerca archeologica usi gli stessi formati e le stesse metodologie di documentazione, impiegando un linguaggio comune agli enti pubblici che può e deve portare a una migliore integrazione del lavoro dell'archeologo nelle politiche di gestione e sviluppo del territorio.

Altre potenzialità dei GIS, sempre in connessione alla ricerca archeologica, sono legate alla possibilità di analisi spaziali e topologiche che questo strumento offre e di cui l'archeologia ha sempre fatto uso, come ad esempio i vari *metodi di analisi statistica e predittiva* nati e sviluppati dall'archeologia processuale, ma sopravvissuti anche al suo superamento. I limiti di questo tipo di ricerca non coinvolgono lo strumento e la metodologia (il GIS) ma sono insiti nel tipo di ricerca e nella raccolta dei dati. Si tratta di un argomento ben conosciuto e varie volte trattato, che pertiene però all'ambito della metodologia archeologica e non delle sue applicazioni informatiche.

Organizzazione di un GIS multidisciplinare (SITARC, www.phoinike.com/sitarc)



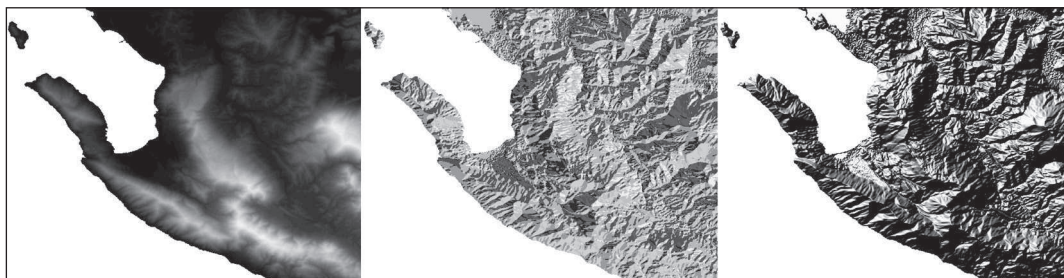
- archeologia processuale

Strumenti di analisi

Recentemente gli applicativi GIS hanno visto un sempre maggiore sviluppo degli strumenti dedicati alle varie analisi spaziali e topologiche, rendendo l'esecuzione di tali analisi più facile e immediata; bisogna tuttavia sempre tenere presente che l'affinamento delle tecnologie non può prescindere dai limiti di sempre dei dati archeologici. Non bisogna dimenticare cioè che ogni analisi, per quanto complicata, si basa sempre (ed è fortemente condizionata) sui dati raccolti

sul campo, e nessuno strumento, per quanto evoluto, può sopperire a mancanze o errori compiuti in questa prima fase.

Meno sviluppati sono invece nell'ambito dei GIS gli strumenti dedicati alle analisi statistiche, ambito che per di più viene gestito esternamente attraverso procedimenti e *software* dedicati.



Le analisi GIS più frequentemente applicate in archeologia

Alcune delle analisi basate sul GIS maggiormente utilizzate in campo archeologico sono:

- *overlay topografico*: prevede la sovrapposizione di diverse carte tematiche con il fine di produrre informazione nuova; si tratta naturalmente di un tipo di analisi che veniva eseguita con relativa facilità anche prima dell'avvento della tecnologia digitale, e largamente utilizzata da sempre;
- *buffer*: analisi topologica che permette di identificare aree in connessione con dati geografici, e quindi estrapolare da un tematismo (*layer*) alcuni elementi che sono in una determinata relazione topologica (vicinanza, inclusione, ecc.) con queste aree. Per fare un esempio, a partire da un tema di idrografia, è possibile definire un'area caratterizzata da una certa distanza dall'acqua, e quindi selezionare i siti che si trovano all'interno di questa;
- *analisi di rete o network analysis*: analisi topologica che calcola, basandosi su un certo grafo, i percorsi più veloci/diretti tra i vari nodi del grafo stesso; molto diffuso nell'ingegneria civile e talvolta usato per trovare relazioni tra i vari siti di un territorio;
- *analisi topologiche generiche su un database*: utilizzate per cercare di analizzare il sistema di insediamento, per esempio a partire dall'incrocio di variabili topologiche (vicinanza, sovrapposizione, ecc.) o qualitative (cronologia, tipologia di sito, ecc.);
- *interazione spaziale (o modelli di gravità)*: partendo da diverse variabili archeologicamente evidenti (dimensione dei siti, cronologie, vicinanze, dati economici, ecc.) registrano il flusso di popolazione, la cultura materiale, ecc.;
- *simulazioni o analisi predittive*: sono analisi *up-down*; un modello ideale (*up*) viene applicato al dato archeologico (*down*), nel tentativo di trovare similitudini e di applicare conoscenze acquisite per altri ambiti al proprio contesto, al fine di ricostruire contesti che non è (più) possibile recuperare.



- grafo

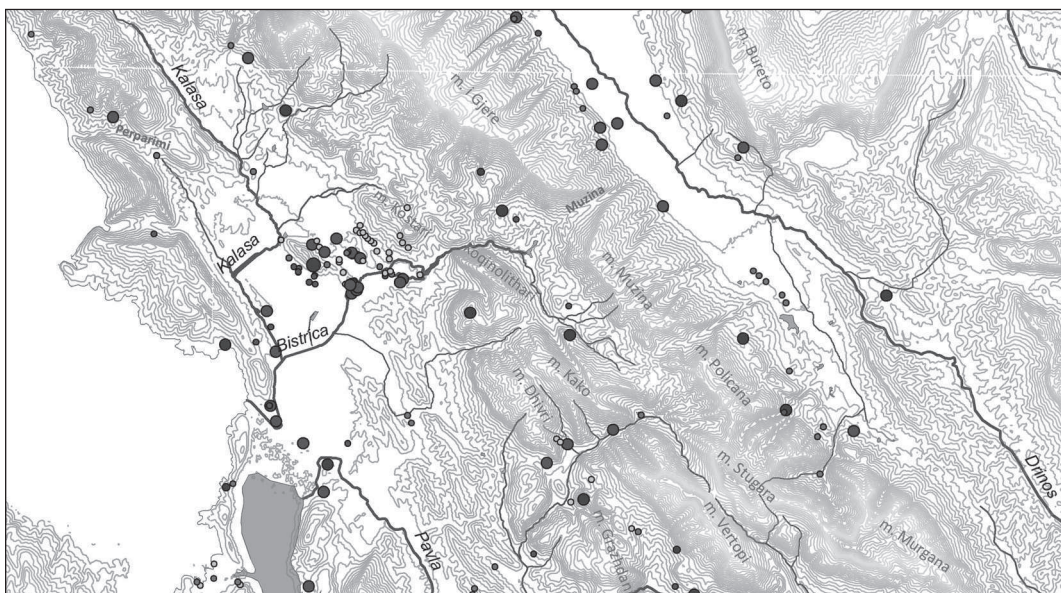
In alto, tre tipi diversi di analisi di una porzione di un territorio: a sinistra, indicazione dell'altimetria in scala di grigi; al centro, analisi dell'esposizione geografica; a destra, visualizzazione del territorio secondo l'esposizione al sole in un dato momento dell'anno (in bianco aree esposte, in nero aree all'ombra)

Conclusioni

In conclusione, si può dire che la creazione di un sistema informativo unitario è il primo passo nell'impostazione di un progetto archeologico.

La sua struttura è in grande parte definita dalla stessa metodologia dell'indagine archeologica, che sia a livello territoriale (archeologia dei paesaggi) o a livello di sito (ricerca stratigrafica). La formalizzazione di questo sistema informativo (la dichiarazione delle finalità, intenti e metodi seguiti – i *metadati*) costituisce un'importante tappa metodologica, in quanto fornisce il mezzo necessario per la lettura dei dati raccolti, nonché il giusto metro di valutazione dell'affidabilità di questo dato (rintracciabilità della ricerca).

Esempio di un GIS archeologico a scala territoriale (SITARC, www.phoinike.com/sitarc)



La stessa natura dell'indagine archeologica, a qualsiasi scala, impone che essa si attui su una base geografica (o topografica). Ogni dato raccolto durante il processo di ricerca archeologica è provvisto di un contesto, che dovrebbe essere facilmente (o approssimativamente) posizionabile nello spazio fisico, ossia *georiferibile*.

Per questo motivo, lo strumento più adatto per la creazione e la gestione di questo sistema sono proprio i *software* GIS. Utilizzare un sistema GIS come archivio e gestore delle informazioni archeologiche vuol dire senza dubbio sottoutilizzare uno strumento ormai decisamente avanzato in campi come l'analisi spaziale, topologica

e predittiva, tutte applicazioni particolarmente utili alla ricerca archeologica, soprattutto a quella di livello territoriale. Non si devono, comunque, sottovalutare i molteplici vantaggi che porta una ben definita, integrata e ragionata gestione centralizzata dei dati archeologici. Coerenza e integrità sono elementi che, con l'aumento a dismisura della mole di dati normalmente raccolti in una campagna di scavo, vengono gradualmente persi. Con il progresso tecnologico si è in grado, durante il processo di indagine archeologica, di raccogliere un maggior numero di dati, più velocemente, in ambiti differenziati; capacità questa dovuta dall'allargamento degli orizzonti della ricerca archeologica, che è sempre più multidisciplinare. La frammentazione della traccia archeologica in unità sempre più piccole da parte di specialisti appartenenti ad ambiti disciplinari sempre più vari, con l'unico fine di trarre più informazioni possibili, porta necessariamente a perdere la visione generale e la possibilità di incrociare efficacemente dati diversi. L'adozione di un sistema informativo integrato su base geografica permette alle singole specialità di trattare i dati ciascuna con la propria competenza, senza però frammentarlo, rendendo disponibili e interrogabili i risultati dei propri studi a tutti i membri (e competenze) del gruppo di ricerca. La *facilitata collaborazione* è quindi un elemento che un sistema informativo e informatico offre alla ricerca archeologica.

Creazione automatica di planimetrie di fase in un GIS di scavo (chiesa di San Lorenzo a Dimaro, Trento, scavo archeologico della ditta Zanfini Massimo, in collaborazione con la Soprintendenza per i Beni Archeologici della Provincia Autonoma di Trento)



Secondariamente, risulta di fondamentale importanza la possibilità di produrre in modo facilitato e assolutamente personalizzato documentazione grafica di altissima qualità, sia dal punto di vista grafico, sia soprattutto dal punto di vista dei contenuti. È possibile affidare la creazione di piante, sezioni e prospetti o di altri tematismi a maggiore scala al *software*, mentre lo studioso si deve solamente occupare dei contenuti. Solitamente si pensa al GIS come a un processo di post-elaborazione, che cioè arriva dopo la raccolta e l'organizzazione dei dati sul campo. Questo è sicuramente vero in molte situazioni, ma un'adeguata articolazione del *sistema informativo* e un'ottimizzazione del *sistema informatico* possono facilitare i processi di raccolta dei dati e di documentazione sul campo. Se si dispone di un sistema integrato capace di ridare unità ai singoli frammenti all'interno del contesto indagato è possibile frammentare e serializzare il lavoro sul campo, guadagnando una maggiore velocità nella documentazione.

I più recenti sforzi a livello di sviluppo *software* nel mondo GIS, ma anche a livello concettuale di promozione di esperienze e tentativi di definire uno standard di “buone pratiche” (*best-practices*) di procedimento nella documentazione e analisi archeologica (ma non solo) sono rivolti all'utilizzo delle reti, internet o intranet locali, nello sforzo non solamente di dare visibilità e pubblicità ai risultati, ma anche e soprattutto di trovare nuovi mezzi per incentivare e facilitare la collaboratività all'interno di gruppi di ricerca, sempre più eterogenei e fisicamente decentrati. In questa direzione, la creazione e lo sviluppo dei sistemi *webGIS* assume un valore importante per la ricerca archeologica, non solo in quanto vetrina in cui esporre i risultati di una ricerca (magari anche in modo dinamico e interattivo per gli utenti), ma soprattutto come strumento di condivisione e collaborazione già in fase di raccolta dati e di studio.

È stato recentemente osservato come in archeologia sia ormai sorpassata la fase “GIS-izzante”, termine con il quale si voleva indicare una fase di forte sperimentazione metodologica legata all'utilizzo di questo strumento, ma anche un momento in cui si pensava che il GIS potesse costituire una panacea nel campo archeologico. Naturalmente così non è stato e la sperimentazione, se da una parte ha spalancato diverse porte alla ricerca archeologica, dall'altra ha posto molti problemi, tanto metodologici quanto pratici. A ogni modo questa fase di sperimentazione è servita a fornire le basi principali dei modi e dei procedimenti delle applicazioni GIS in archeologia.



Sch. 8.3

Trascorsa dunque questa prima fase di euforia, allo stato attuale non è possibile concepire l'archeologia del presente e del futuro senza questo strumento. Pur con grandi limiti (gestione della terza e della quarta dimensione, per esempio) il GIS è attualmente la piattaforma più completa per la corretta gestione del dato archeologico. Per questo motivo, una conoscenza almeno basilare di questo strumento dovrebbe essere condizione necessaria per chi si avvicina all'archeologia, che sia all'università, presso gli enti pubblici di presidio al territorio, o presso quelle realtà quotidiane che vengono ancora definite (con un termine un po' anacronistico e riduttivo) cantieri di emergenza.

Seguendo questo ragionamento, risulta chiaro quali dovrebbero essere i prossimi passi che università ed enti territoriali (Soprintendenze, enti locali) dovrebbero compiere in questa direzione: *la definizione di standard il più possibile univoci e condivisi*.

L'università e il mondo della ricerca in generale hanno ormai sperimentato varie soluzioni, e i tempi e le esperienze sono mature per la definizione di protocolli documentativi. Gli enti che fanno ricerca dovrebbero essere più propositivi in questa direzione (superando la fase, ormai trita, dell'esposizione dei casi applicativi) e gli enti territoriali dovrebbero concordare e imporre degli standard univoci a tutte le istituzioni e persone che si occupano di archeologia sul campo. Questo sforzo di creazione di un linguaggio comune (che può cominciare anche da livelli molto 'di base' di formati e metadati) aiuterebbe l'archeologo nel suo dialogo con il contemporaneo (amministrazione, gestione e valorizzazione di un territorio) e aiuterebbe il pubblico a meglio comprendere e valorizzare il lavoro, purtroppo ancora non riconosciuto a livello di categoria professionale, dell'archeologo.

- gico: dalla diagnosi all'edizione*, III Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano, Siena, 6-18 novembre 1988), Firenze, pp. 547-578.
- Niccolucci F. 2002, *Virtual archaeology. Proceedings of the VAST Euroconference* (Arezzo 24-25 November 2000), BAR International Series 1075, Oxford.
 - Parenti R. 1990, *La ricomposizione dell'immagine. Ricostruzioni grafiche, ripristino e archeologia sperimentale: alcune riflessioni sulle tecniche e sulle possibili utilizzazioni*, in R. Francovich, D. Manacorda (a cura di), *Lo scavo archeologico: dalla diagnosi all'edizione*, III Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano, Siena, 6-18 novembre 1988), Firenze, pp. 525-545.
 - Rossi M., Salonia P. 2003 (a cura di), *Comunicazione multimediale per i beni culturali*, Milano.
 - Tronti C. 2009, *Tecnologie multimediali per la documentazione e la comunicazione del dato archeologico*, in V. Fronza, A. Nardini, M. Valenti (a cura di), *Informatica e Archeologia Medievale. L'esperienza senese*, Firenze, pp. 161-178.
 - Zanini, E., Costa, S. 2006, *Organizzare il processo conoscitivo nell'indagine archeologica: riflessioni metodologiche ed esperimenti digitali*, in «Archeologia e Calcolatori» 17, pp. 241-264.

595

7.2. GIS per l'archeologia

Su GIS e webGIS in generale:

- Azzena G. 1997, *Questioni terminologiche – e di merito – sui GIS in archeologia*, in (a cura di), *Sistemi informativi e reti geografiche in archeologia: GIS-Internet*, VII Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano, Siena, 11-17 dicembre 1995), Firenze, pp. 33-34.
- Biallo G. 2002, *Introduzione ai Sistemi Informativi Geografici*, Milano
- Batini C. et al. 1991, *La progettazione contestuale dei dati*, Milano.
- Djindjian F. 1998, *GIS usage in world wide archaeology*, in «Archeologia e Calcolatori» 9, pp. 19-30.
- D'Andrea A. 2003, *Analisi spaziali intra-site. Soluzioni GIS per lo scavo archeologico*, in «Archeologia e Calcolatori» 14, pp. 329-335.
- D'Andrea A., Niccolucci F. 2000, *L'archeologia computazionale in Italia: orientamenti, metodi, prospettive*, in «Archeologia e

Calcolatori» 11, pp. 13-31.

- De Felice G., Sibilano M.G., Volpe G. 2008, *Ripensare la documentazione archeologica: nuovi percorsi per la ricerca e la comunicazione*, in «Archeologia e Calcolatori» 19, pp. 271-291.
- De Felice G., Sibilano M.G., Volpe G. 2008 (a cura di), *L'informatica e il metodo della stratigrafia*, Atti del Workshop (Foggia 6-7 giugno 2008), Bari.
- Fisher P.F. 1997, *Geographical Information System: today and tomorrow?*, in A. Gottarelli (a cura di), *Sistemi informativi e reti geografiche in archeologia: GIS-Internet*, VII Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano, Siena, 11-17 dicembre 1995), Firenze, pp. 17-31.
- Forte M. 2002, *I sistemi informativi geografici in archeologia*, Roma.
- Francovich R. 1999, *Archeologia medievale e informatica: dieci anni dopo*, in «Archeologia e Calcolatori» 10, pp. 45-61.
- Fronza V., Nardini A., Valenti M. 2009 (a cura di), *Informatica e Archeologia Medievale. L'esperienza senese*, Firenze.
- Gillings M., Wheatley D. 2002, *Spatial technology and archaeology: the archaeological applications of GIS*, London.
- Gottarelli A. 1997 (a cura di), *Sistemi informativi e reti geografiche in archeologia: GIS-Internet*, VII Ciclo di lezioni sulla ricerca applicata in archeologia (Certosa di Pontignano, Siena, 11-17 dicembre 1995), Firenze.
- Monti A. 1998, *Che cos'è un GIS archeologico? Riflessioni a margine di alcune esperienze sul campo*, in «Storicamente» 2, 2006 (www.storicamente.org/02_tecnostoria/strumenti/02monti.htm).
- Moscati P. 1998, *GIS Application in Italian Archaeology*, in «Archeologia e Calcolatori» 9, pp. 191-236.
- Rosada G. 2004, *Topografia archeologica e Sistemi Informativi*, Atti del Convegno (Borgoricco, 20 aprile 2001), «Quaderni di Archeologia del Veneto», Serie Speciale 1, Treviso.
- Sassatelli G., Bogdani J. c.s., *Il GIS per l'archeologia tra metodo e applicazioni: il caso di Marzabotto*, in *GIS DAY. Comparisons of modern geographical disciplines*, Atti della Giornata di Studi (Bologna, 25 novembre 2009).
- Valenti M., Nardini A. 2004, *Modello dei dati e trattamento del dato sul GIS di scavo*, in «Archeologia e Calcolatori» 15, pp. 341-358.

Casi di studio:

- Camin L., Negri A. 2005, *Il GIS del sito romano di podere Cosciano: un esempio di gestione integrata dei dati di scavo*, in «Archeologia e Calcolatori» 16, pp. 153-166.
- Moscatelli U. 1999, *Dispersione dei materiali archeologici e interpretazione: il contributo del GIS Idrisi*, in «Archeologia e Calcolatori» 10, pp. 239-248.
- Nardini A. 2000, *La piattaforma GIS dello scavo di Poggio Imperiale a Poggibonsi. Dalla creazione del modello dei dati alla loro lettura*, in «Archeologia e Calcolatori» 11, pp. 111-123.
- D'Andrea A. 1999, *Il GIS nella produzione delle carte dell'impatto archeologico: l'esempio di Pontecagnano*, in «Archeologia e Calcolatori» 10, pp. 227-237.

Software e cartografia:

- www.apache.org (Apache)
- www.archeoserver.it (ArcheoServer)
- www.esri.com (ESRI)
- <http://n2.nabble.com/Fusion-f2061507.html> (Forum di supporto Fusion)
- <http://trac.osgeo.org/fusion> (Fusion)
- www.igmi.org (Istituto Geografico Militare)
- <http://mapserver.org> (Mapserver)
- <http://maptools.org/ms4w> (Ms4w)
- www.mysql.it (MySQL)
- www.online-archaeology.co.uk (Online Archeology)
- www.opengeospatial.org (Open Geospatial Consortium)
- <http://trac.osgeo.org/proj> (Osgeo Proj)
- www.postgresql.org (PostgreSQL)
- www.w3.org (World Wide Web Consortium)

Casi di studio *webGIS*:

- www.appia.itabc.cnr.it (Appia Antica Project)
- www.provincia.bz.it/beni-culturali/1302/archaeobrowser_long_i.htm (ArchaeoBrowser)
- <http://geomap.como.polimi.it/agew> (ArcheoGew)
- <http://alpinet.mpasol.it> (ArcheoWebGIS, Alpinet)
- <http://cgma.depauw.edu/MAGIS> (MAGIS)
- <http://webgis.dyndns.info/fusion/templates/mapserver/standard2/index.html> (Cesano Valley webGIS)

7.3. Banche dati archeologiche

- Bagnara R., Macchi Jànica G. 2007 (a cura di), *Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologici*, Atti del I Workshop (Grosseto, 8 maggio 2006), Firenze.
- Bogdani J., Vecchietti E. 2008, *Nuove soluzioni in rete per la gestione e la divulgazione del dato archeologico*, in «Ocnus» 16, pp. 59-68.
- Bogdani J., Vecchietti E. c.s., *From “text” to “con-text”: using the web in the archaeological research*, in A. Coralini (a cura di), *Vesuviana. Archeologie a confronto*, Proceedings of the International Conference (Bologna, 14-16 gennaio 2008).
- Bogdani J., Vecchietti E. c.s., *Network solutions for the management and dissemination of the archaeological data*, in 3° Workshop *Open Source, Free Software e Open Format nei processi di ricerca archeologica*, Atti del Convegno (Padova, 8-9 maggio 2008)-
- Bogdani J., Calastri C., Vecchietti E. c.s., *Lo scavo di Albinia (GR) e il sistema di documentazione*, in *Materiali per Populonia*, Atti dei Seminari di Studi 2008, Firenze.
- D’Andrea A. 2006, *Documentazione archeologica, Standard e Trattamento Informatico*, Budapest.
- Demarchi D., Di Gangi G., Lebole C.M. 2006, *Per una lettura integrata del territorio: dalle fonti documentarie e materiali al web*, in «Archeologia Medievale» 33, pp. 501-508.
- Di Giuseppe H. c.s., *Fasti on line*, in A. Coralini (a cura di), *Vesuviana. Archeologie a confronto*, Atti del Convegno Internazionale (Bologna, 14-16 gennaio 2008).
- Gabucci A. 2006, *Informatica per l’archeologia*, Roma.
- Guermandi M.P. 1999, *Dalle basi dati alla rete: l’evoluzione del trattamento dei dati archeologici*, in «Archeologia e Calcolatori» 10, pp. 89-99.
- Macchi Jànica G. 2006, *La struttura della maglia dei castelli medievali nell’Italia centrale: paralleli tra modelli di stanziamento umano*, in «Archeologia Medievale» 33, pp. 7-18.
- Pescarin S. 2006, *Open source in archeologia. Nuove prospettive per la ricerca*, in «Archeologia e Calcolatori» 17, pp. 137-155.
- *Il sapere liberato: il movimento dell’open source e la ricerca scientifica*, Milano 2005.