

METODOLOGIE GEOFISICHE A CONFRONTO PRESSO LA VILLA TARDOANTICA DI AIANO-TORRACCIA DI CHIUSI (SIENA): QUALCHE NOTA SU EFFICACIA E LIMITI

1. INTRODUZIONE

A partire dalle considerazioni e formulazioni metodologiche della cosiddetta New Archaeology, e nonostante una reazione postprocessuale ormai più che trentennale, si è spesso tentato di affrancare l'archeologia dalle discipline storico-umanistiche per avvicinarla ad approcci e tecniche analitiche proprie alle scienze fisico-matematiche. Tale percorso cognitivo che, nel tempo, ha evidenziato numerosi e ampi spazi applicativi, offrendo nuove possibilità di studio e comprensione, di per sé ha soccorso il metodo archeologico spingendolo a prendere coscienza dell'*empanne* ermeneutica di una disciplina spesso troppo radicata ad un monolitico approccio storico, se non antiquario e limitatamente tassonomico del dato. A fronte di questa tradizione da *ancilla historiae*, l'archeologia è progredita a rapidi passi, anche grazie ai New Archaeologists – che, si badi bene, non si sono estinti negli anni Ottanta! – fino, tuttavia, a toccare il paradosso di uno scientismo di fondo, dimenticando che, pur con mille sforzi, l'archeologia rimane una disciplina, in cui nessun sistema trova una regola applicativa costante, neppure a parità di condizioni ambientali e culturali, nella più ampia accezione dei termini. Insomma, rimaniamo persuasi che l'archeologia non sia una scienza e non lo possa essere giacché banalmente a essa non è applicabile il primo principio galileiano, quello della ripetitività dell'esperienza, con ugual risultato in medesime condizioni; in altre parole essa non si risolve in un sistema culturale chiuso (BIETTI SESTIERI 2000).

Sia ben chiaro che non s'intende contestare il valore ermeneutico dell'applicazione delle cosiddette scienze esatte all'archeologia, tutt'altro. Vorremmo, tuttavia, mostrare come queste, almeno in un caso specifico, e benché integrate e applicate con estremo rigore da professionisti, avendo finalità tecniche e non latamente interpretative, non sempre costituiscano la panacea dell'indagine archeologica moderna e soprattutto non sostituiscano a priori il procedimento cognitivo più tradizionale, certo invasivo, ma a oggi ancora spesso dirimente: lo scavo.

Di seguito si presenteranno i dati relativi a tre campagne d'indagini geofisiche attuate presso la villa tardoantica di Aiano-Torraccia di Chiusi (Siena), tra la primavera del 2006 e quella del 2007: tre approcci metodologici differenti (georadar, geoelettrico e magnetometrico) che, nell'intento di chi scrive, avrebbero dovuto essere utili alla programmazione, sulla base dei

loro risultati, di successivi interventi di scavo mirati. Invero, l'applicabilità dei risultati è risultata solo parzialmente utile ai fini indicati, motivo precipuo che ci ha indotti a presentare di seguito le modalità, le azioni e le interpretazioni che hanno verificato i dati forniti dalle indagini e la loro relativa utilità nell'ambito del sistema "scavo".

Riteniamo tale contributo utile e doveroso proprio in considerazione di un approccio rigoroso alla materia archeologica, ove successi e insuccessi applicativi delle più diverse tecniche scientifiche hanno pari dignità editoriale e altrettanta necessità deontologica di pubblicazione. In effetti, nei nostri intenti le pagine che seguono costituiscono il bilancio consuntivo di un articolo apparso in questa sede (CAVALIERI *et al.* 2007), nel quale si sintetizzavano i vantaggi e le aspettative relative all'impiego di una nuova strumentazione geodiagnostica, l'OhmMapper, in ambito archeologico: un lavoro che non rinneghiamo, ma che oggi può meglio essere valutato a seguito di altre analisi e soprattutto dei dati emersi dalla verifica dello scavo. In tal senso di seguito si cercherà di comprendere come in un'area che si è rivelata, a seguito dell'intervento di scavo, ricca di evidenze significative, le anomalie segnalate in prospezione e le successive, relative interpretazioni, corrispondessero a circa un 25% di quanto strutturalmente ritrovato.

Il presente contributo, quindi, ha come obiettivo l'analisi dei limiti interpretativi emersi dalle indagini geofisiche: parametrando il sistema ambientale locale, dunque, e la natura del giacimento archeologico, si cercherà di comprendere quali condotte erranee sono state tenute e in funzione di quali metodologie applicative. L'analisi di tali "errori" può costituire materia utile ad una migliore prassi per azioni future.

Sotto il profilo progettuale, le indagini geofisiche sulla villa si proponevano di studiare e rilevare l'area d'insistenza della stessa, procedendo per fasi:

- raccolta dei dati bibliografici, grafici e fotografici di carattere archeologico;
- definizione di un quadro geologico dell'area;
- posizionamento dei resti immobili della villa già emersi mediante Total Station e GPS;
- rilievo delle strutture non più visibili mediante prospezioni geofisiche;
- elaborazione, studio e pubblicazione dei dati.

2. INQUADRAMENTO ARCHEOLOGICO DELL'AREA

Senza voler ripercorrere la storia della scoperta del sito, per altro altrove già sintetizzata (CAVALIERI *et al.* 2007, 159-164), si può affermare che le prospezioni di superficie degli anni Novanta sul terrazzo fluviale della villa avevano mostrato uno spargimento dei materiali archeologici in cui affiorava una notevole concentrazione di schegge e blocchi di travertino di varie dimensioni, riferibili a strutture murarie, oltre a laterizi da copertura e

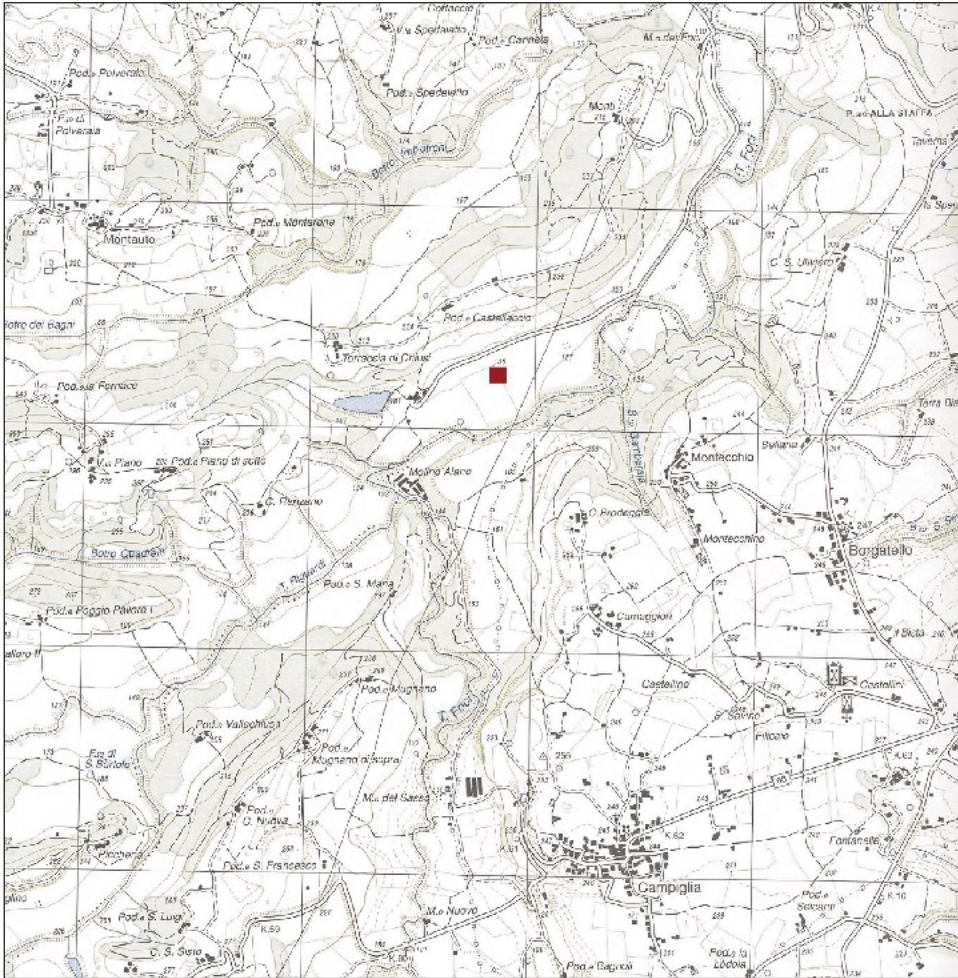


Fig. 1 – Localizzazione del sito della villa Aiano-Torraccia di Chiusi (in rosso); stralcio IGM 1: 25.000, Foglio 113, Quadrante III NO Poggibonsi.

da costruzione, frammenti di ceramica e tessere di mosaico (Fig. 1). Il primo saggio esplorativo, realizzato nel 2001, verificò, al di sotto degli strati di aratura, l'emergere di strutture murarie, unitamente ad un potente crollo, privo di materiali ceramici ma ricco di tessere e masselli musivi. Il sondaggio scese fino al terreno vergine (1,2 m) e si constatarono evidenti tracce di asportazioni antropiche, volontarie (spoliazioni) e involontarie (lavori agricoli).

In verità, già da queste primissime fasi esplorative, a posteriori è evidenziabile una caratteristica stratigrafica costante del giacimento archeologico ad Aiano-Torraccia di Chiusi: un potente strato di crollo edilizio, talora con uno spessore superiore al metro, che avrebbe condizionato sistematicamente tutte le indagini geofisiche in modo da ridurne fortemente il portato diagnostico.

Successivamente, a partire dal 2005, in funzione dei dati raccolti sul sito fino ad allora, l'Université catholique de Louvain decise d'intraprendere una serie di campagne di scavo stratigrafico a cadenza annuale; le indagini mostrarono immediatamente una situazione archeologica complessa sia per stratigrafia sia per articolazione strutturale in pianta che per costruzione edilizia in blocchi di travertino e malta, sempre sigillati da potenti strati di crollo.

Verificata la consistenza dei reperti immobili nel sottosuolo e date le premesse relative allo spargimento dei materiali in superficie, al giacimento archeologico posto ad una profondità media intorno ai 70 cm e alla sua natura monumentale (muri di uno spessore intorno ai 50 cm, talora superiore), si sentì la necessità di porre in atto una strategia di intervento atta a definire in modo più specifico l'estensione del sito ed eventuali punti strategici per lo scavo. Di qui il ricorso a tecniche di indagine non invasive, al fine di ottenere una visione più ampia possibile del sottosuolo e programmare con maggior precisione l'attività nelle campagne successive.

A questo scopo, la direzione di scavo decise di effettuare una serie di prospezioni geofisiche: la prima in ordine di tempo fu un'indagine georadar, nella primavera del 2006; nell'autunno dello stesso anno fu eseguita una campagna di prospezioni geoelettriche; in ultimo, nel giugno 2007, si procedette ad una ricognizione magnetometrica.

La situazione archeologica del sito, al termine della campagna di scavo 2009, evidenziava un'estesa, articolata e lussuosa villa di cui, ad ora, sono stati documentati almeno tre periodi di vita: la fondazione, tra III-IV sec. d.C.; un importante restauro e riorganizzazione degli ambienti, tra la seconda metà del IV e il V sec. d.C.; una profonda trasformazione e smantellamento della struttura residenziale, tra VI e VII sec. d.C. a seguito dell'impianto di diverse officine pirotecniche e di produzione ceramica (CAVALIERI 2009).

Particolare rilievo riveste il più grande vano rinvenuto ad oggi, la cosiddetta "sala triabsidata", certamente un ambiente di soggiorno, per certi versi assimilabile ad un *tricorium*, di cui, però, sfugge ancora l'esatta funzionalità. Sotto il profilo planimetrico, si tratta di una sala a pianta centrale, fondata su un triangolo equilatero con absidi ai vertici, quella meridionale con funzione di vestibolo a doppia soglia. L'ambiente, inoltre, è iscritto in una struttura muraria curvilinea, una sorta di *ambulatio polylobata*, costituita da cinque ampi lobi circolari, chiusi a S da un vestibolo quadrangolare di raccordo tra la sala centrale e il deambulatorio circostante. Se la decorazione marmorea e musiva di gran parte della villa sembra andata perduta, probabilmente "rici-

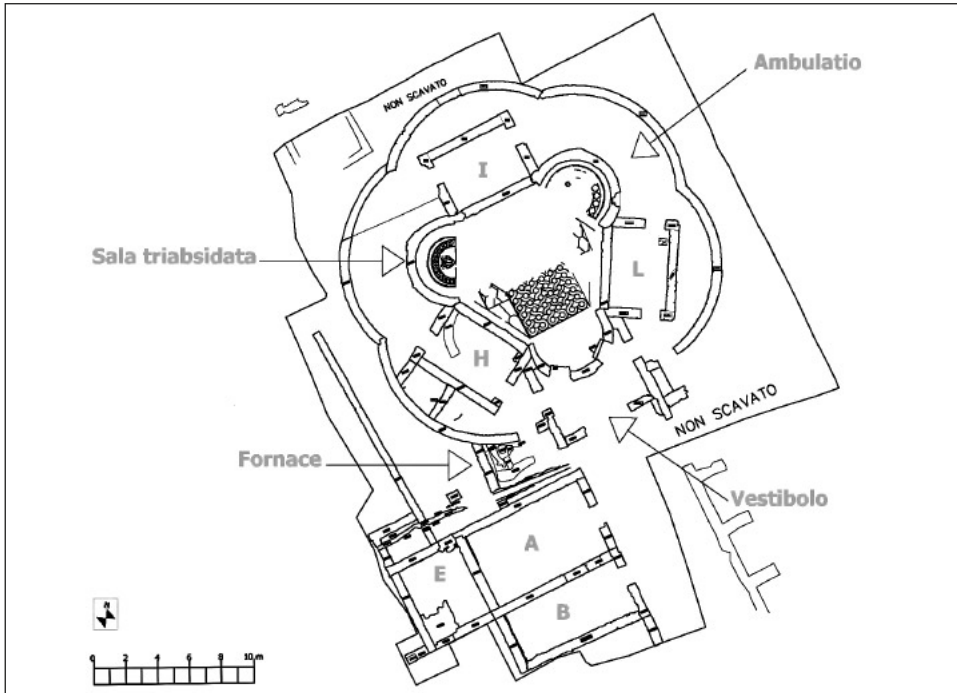


Fig. 2 – Planimetria dello scavo (2009): sono segnalati gli ambienti e le strutture più rilevanti del sito.

clata” quale materia prima durante la fase finale di vita del sito, allorquando la villa diviene al contempo cava e struttura produttiva di tipo artigianale (CAVALIERI, GIUMLIA-MAIR 2009), il pavimento della “sala triabsidata”, databile al secondo periodo (fine IV-inizi V sec. d.C.), si è preservato, pur se con ampie lacune e in stato di conservazione non sempre ottimale. Si tratta di un cementizio a base litica con inserti musivi (Fig. 2).

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

La villa di Aiano-Torraccia di Chiusi è ubicata nella parte S-E del bacino idrografico del torrente Fosci: questo ha una forma subtriangolare e si estende su una superficie di 136 km²; nel tratto finale è caratterizzato da un esteso fondovalle alluvionale pianeggiante nel quale il corso d’acqua incide le proprie alluvioni formando ampi meandri; tale assetto coincide con quello del sito archeologico. La morfologia del bacino è generalmente minuta e varia, talora con scarpate e balze che evidenziano i livelli litologici più resistenti (San Gimignano, Ciuciano, Castel San Gimignano). In corrispondenza, tuttavia, di aree ad affioramento di litotipi meno coerenti, di solito alle quote inferiori,

l'acclività diminuisce e i versanti si raccordano dolcemente al fondovalle, come nel caso dell'area della villa in oggetto (RICCIARDI 2005-2006, 6-22).

La zona su cui essa è ubicata, dunque, corrisponde ad una piccola valle, Pian dei Fosci, colmata da depositi alluvionali pleistocenici, olocenici e attuali, costituiti da sabbie fini e medio-fini gialle, limi e limi-argillosi con frequenti frammenti di gasteropodi e lamellibranchi talvolta integri. Il materiale di questi depositi, che corrispondono al sesto terrazzo alluvionale – quello su cui insistono le strutture archeologiche – deriva dall'erosione dei depositi marini pliocenici che, dopo la loro emersione, sono stati interessati da diverse fasi di erosione da parte dei corsi d'acqua, alternate a fasi di stasi o di sedimentazione, che hanno dato origine a vari ordini di terrazzi fluviali. Infatti, le alluvioni recenti del sesto terrazzo costituiscono il fondovalle del tratto inferiore del torrente Fosci, che attualmente scorre in uno stretto alveo incassato, profondo fino a 3 m sotto il piano delle alluvioni. Nel corso del Pliocene medio si è, poi, verificata una regressione, dovuta in gran parte ad un generale sollevamento dell'area e, al di sopra delle argille presenti verso l'asse del bacino, ha avuto luogo la deposizione di forti spessori di sabbie. Le faglie hanno avuto un ruolo attivo anche dopo l'emersione e durante il Quaternario, permettendo la risalita di acque ricche di carbonati, che hanno dato origine agli estesi affioramenti di travertini. Proprio questi travertini furono impiegati, una volta estratti e tagliati in bozze regolari, quale materiale edilizio della villa.

4. INDAGINE GEORADAR

Tra i mesi di aprile e luglio 2006 (CENSINI 2006, 1-11) la Società Georisorse Italia ha effettuato la prima indagine geofisica con il metodo georadar sull'area archeologica della villa di Aiano-Torraccia di Chiusi, con lo scopo di individuare anomalie archeologiche limitrofe all'area di scavo determinata durante la campagna 2005, ma anche su una superficie più ampia dell'intero Pian dei Fosci. Il rilievo è stato eseguito utilizzando il sistema GPR-RAMAC della Mala Geoscience, con antenna a frequenza 250 MHz lungo una serie di linee intorno all'area di scavo.

L'indagine si è svolta in due fasi: nella prima sono stati realizzati 6 profili che hanno compreso un'area più vasta sul lato N-E dello scavo, a interdistanza di 10 m e con lunghezza di 170 m ciascuno; nella seconda fase sono stati messi a punto 25 profili di dettaglio a interdistanza di 2 m lungo il perimetro dello scavo per uno sviluppo lineare complessivo di circa 2275 m.

I dati sono stati acquisiti in forma digitale su PC portatile; l'acquisizione digitale è stata di 16 bit e 512 campionamenti per scansione, distribuiti su un arco di tempo di ricezione di 100 nanosecondi (ns), attribuendo ai terreni investigati una velocità di propagazione media di 0,08 m/ns.

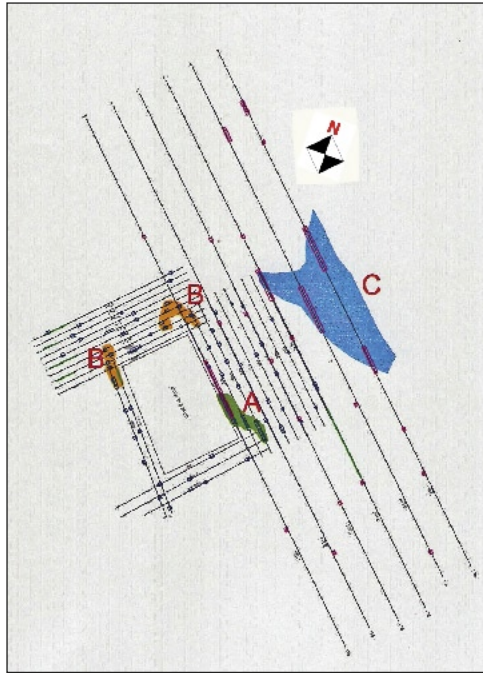


Fig. 3 – Profili delle prospezioni georadar con anomalie evidenziate (da CENSINI 2006).

L'elaborazione dei dati è stata realizzata impiegando la seguente successione: 1) amplificazione (Gain); 2) filtraggio verticale passa banda (Band pass frequency); 3) filtraggio 2D Tempo/Distanza (Background Removal); l'operazione è stata effettuata mediante software Reflex e finalizzata all'enfaticizzazione dei segnali di interesse e all'attenuazione di quelli legati a disturbi o a riflessioni multiple dello stesso segnale; infine, per la visualizzazione delle riflessioni del segnale elettromagnetico si è adottata una scala cromatica a livelli di grigio.

A completamento del lavoro si è delineata una mappa delle anomalie ove individuare le zone di possibile interesse archeologico (Fig. 3); le anomalie sono state riportate con una simbologia che è solo indicativa della loro posizione e non della geometria: i simboli più estesi sono riferibili ad anomalie con dimensioni delle riflessioni superiori a 2 m (strutture continue come pavimentazioni o stratificazioni); i simboli più piccoli sono relativi ad anomalie puntuali con riflessioni di dimensioni ridotte, sempre inferiori a 1 m, imputabili a strutture murarie o singoli blocchi litoidi.

Sulla base della concentrazione e della tipologia delle anomalie, sono state determinate quattro aree di interesse archeologico:

AREA A: ubicata a ridosso del lato E dello scavo, di maggior interesse in quanto caratterizzata da anomalie con riflessioni di discreta estensione.

AREA B: sul lato N dello scavo, verso la strada di accesso, estesa e definita da un'elevata densità di anomalie di tipo puntuale.

AREA C: a 35 m circa sul lato E-N-E dello scavo, individuata nei radargrammi dei profili di prima fase e caratterizzata da anomalie estese e con discreta continuità. La loro estensione laterale tuttavia fa ipotizzare che queste anomalie siano dovute anche a variazioni litologiche del sottosuolo (alluvioni/substrato).

5. INDAGINE GEOELETRICA

Le indagini sono state affidate al Centro di GeoTecnologie dell'Università degli Studi di Siena, che per le stesse ha utilizzato un'allora nuova strumentazione, l'OhmMapper: essa, pur non sfruttando elettrodi di contatto (SCOLLAR *et al.* 1990, 307 ss.; PIRO 2001, 282 ss.), può essere assimilata ad un dipolo-dipolo (CAVALIERI *et al.* 2007); la configurazione dello strumento, unita all'alta densità di dati acquisiti, permette di ottenere profili di resistività ad alta risoluzione anche in situazioni complesse del sottosuolo. L'OhmMapper è molto sensibile ai cambiamenti orizzontali nella resistività, dunque risulterebbe particolarmente adatto alle indagini geoelettriche applicate all'archeologia, dove le strutture antropiche (muri, tombe, fondazioni, strade) usualmente hanno una disposizione verticale e si trovano a basse profondità.

Le indagini di resistività presso la villa di Aiano-Torraccia di Chiusi si sono svolte il 12 e 13 novembre 2006, effettuando otto "stendimenti" che hanno permesso una ricostruzione di altrettante pseudosezioni (CAVALIERI *et al.* 2007); la spaziatura scelta per i marker durante l'acquisizione è stata di 5 m. Tutti i rilievi sono stati disposti intorno al perimetro dello scavo parallelamente ai suoi limiti; il posizionamento su carta di questi percorsi è stato possibile grazie alle misure compiute con la rotella metrica rispetto al sistema di riferimento locale dello scavo. La scelta dei punti dove effettuare le tomografie è stata pianificata sulla base dei dati di scavo e in rapporto alla morfologia della piana alluvionale del sito; il declivio N-S della stessa e le arature condotte fino ad anni recenti avevano mostrato come le strutture antropiche meglio conservate si trovassero sul margine settentrionale dello scavo: qui, infatti, si è indagato più a fondo, realizzando 4 pseudosezioni; sul lato E sono state effettuate 3 strisciate e solo 1 sui lati O e S, lungo i quali le aspettative di intercettare strutture antropiche erano minori.

Poiché non si voleva indagare a profondità maggiori di 2,5 m, si è scelto di configurare lo strumento con antenne da 2,5 m; solo per il rilievo 4 si sono

adottate antenne da 5 m, con lo scopo di scendere a profondità maggiori e studiare il sottosuolo presente in corrispondenza dell'alto morfologico a N del sito archeologico.

Come risulta evidente dal posizionamento in pianta di tutti i principali segnali, il quadro complessivo che emerge dai rilievi elettrici nei pressi del sito risulta di difficile lettura: sul lato S dello scavo la sezione di resistività, effettuata a quasi 25 m dal confine della griglia, rivela la presenza di almeno tre importanti strutture a profondità ridotta (0,50 m dal piano di campagna) e una variazione verticale molto netta delle caratteristiche di resistività del sottosuolo. Nel margine O invece, la bassa resistività potrebbe dipendere da una sorta di "canale" o zona umida a forma di cono con vertice a N e andamento N-S presente fin dalla costruzione della villa (Fig. 4).

6. INDAGINE MAGNETOMETRICA

La prospezione magnetometrica è la tecnica di indagine più utilizzata, per rapidità di investigazione, nell'ambito della ricerca archeologica; il metodo consiste nel misurare i valori di intensità del campo magnetico terrestre o del suo gradiente e nell'analizzarne variazioni e anomalie: dall'analisi delle anomalie riferite agli strati di terreno più vicini alla superficie è possibile individuare la presenza di formazioni archeologiche sepolte.

Le condizioni ottimali per la realizzazione di una prospezione magnetica si verificano quando il terreno è abbastanza uniforme ed è costituito da materiali fini con una moderata suscettività magnetica; condizioni meno favorevoli si verificano in presenza di terreno sabbioso a bassa suscettività, con vistose irregolarità della superficie, presenza di grossi blocchi di materiale vulcanico nelle vicinanze, fondo roccioso irregolare poco profondo: queste condizioni, considerate alla stregua di rumore stazionario, possono essere trattate con le comuni tecniche di filtraggio durante la fase di elaborazione dati.

Le prospezioni magnetometriche sono state eseguite nel giugno 2007 dal LAP&T (Laboratorio di Archeologia dei Paesaggi e Telerilevamento) dell'Università degli Studi di Siena (FREZZA, GHISLENI 2007); i dati sono stati acquisiti con metodo continuo ogni $\frac{1}{2}$ secondo; lo strumento utilizzato è il magnetometro in assetto gradiometrico Overhouser GSM-19GW, della ditta Gemsystem. Gli unici elementi di disturbo presenti sull'area indagata erano i picchetti metallici distribuiti lungo la recinzione dello scavo, che però, secondo la relazione tecnica, non hanno compromesso l'acquisizione delle misurazioni. Nell'area indagata sono state realizzate 3 griglie contigue, con orientamento di acquisizione del gradiente magnetico N-S della grandezza di 50x50 m, intorno all'area di scavo, per una copertura totale di 7500 m²; le griglie sono state orientate in senso N-S/E-O con una distanza tra i profili di 1 m; l'elaborazione delle prospezioni magnetometriche ha prodotto 3 griglie con valori medi differenti tra loro (Fig. 5).

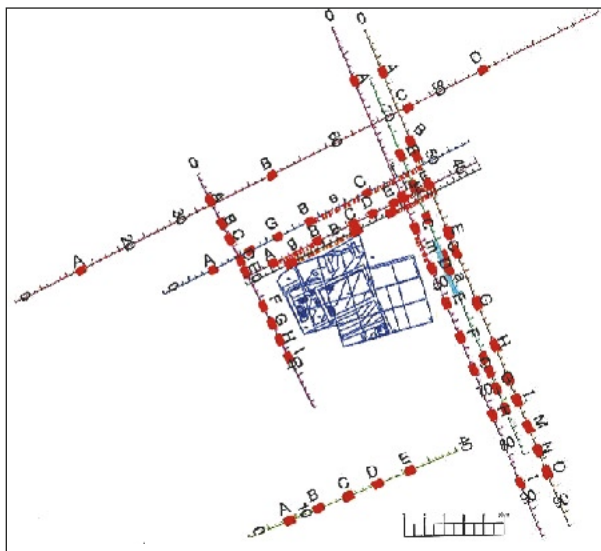


Fig. 4 – Planimetria dello scavo (2007) attorno a cui si pongono gli stendimenti geoelettrici con le relative evidenze (da RICCIARDI 2006).

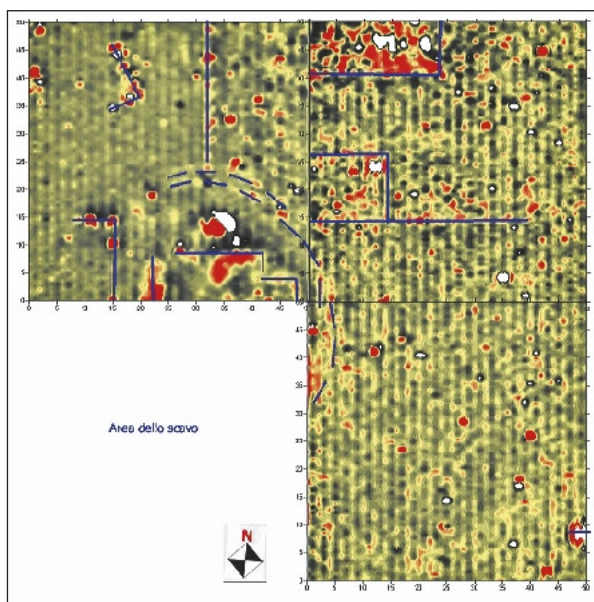


Fig. 5 – Anomalie intercettate dalle prospezioni magnetometriche (da FREZZA, GHISLENI 2007).

Nella griglia 1 la lettura delle anomalie archeologiche si inserisce su una scala di $+20/-20$ nT/m. Nell'area S-E della griglia è visibile una struttura poligonale orientata in senso E-O, circonscritta da una più ampia anomalia circolare che sembra presentare un doppio tratto, e da cui si diparte una traccia lineare orientata in senso N-S di circa 25 m di lunghezza; ad O della prima struttura si identifica una traccia lineare angolare con lo stesso orientamento della precedente; a N-O dell'area indagata è visibile un'ulteriore anomalia lineare angolare.

La griglia 2, posizionata ad E della griglia 1 e ad essa adiacente, evidenzia anomalie magnetiche con valori medi tra $+10$ e -10 nT/m; durante l'elaborazione delle misure è emersa una serie di disturbi di acquisizione che rende più difficile la lettura dell'immagine. Anche in questo caso, sono state individuate diverse anomalie archeologiche: nell'angolo N-O è presente una concentrazione di valori alti, riferibili a un deposito sepolto, non meglio identificabile; nella zona centrale, caratterizzata da una certa disomogeneità delle misure, si riescono a identificare una traccia orientata E-O lunga circa 40 m e una traccia quadrangolare. Nell'angolo S della griglia, infine, una traccia curvilinea sembra collegarsi all'anomalia circolare che caratterizza la griglia 1.

La griglia 3 evidenzia anomalie magnetiche con valori medi fra $+10$ e -10 nT/m; valori così alti sono dovuti alla presenza di un disturbo non meglio identificabile. La griglia non presenta particolari anomalie archeologiche se non una traccia curvilinea nell'angolo N-O e in stretta connessione con quelle già individuate nelle griglie 1 e 2; un'altra traccia è visibile anche nell'area S-E.

7. LETTURA DELLE PROSPEZIONI SULLA BASE DELLE STRUTTURE ARCHEOLOGICHE RINVENUTE

Per verificare la corrispondenza tra l'interpretazione grafica delle anomalie risultanti dalle prospezioni e le evidenze archeologiche scavate, i profili delle prospezioni stesse sono stati sovrapposti alle piante di scavo della campagna del 2009, allorquando la superficie delle strutture murarie rinvenute era notevolmente aumentata (Fig. 6). Inoltre, dal momento che le piante con le prospezioni effettuate sono inserite in una CTR, nella sovrapposizione alle planimetrie di scavo, per maggior precisione, sono stati utilizzati i riferimenti topografici di quest'ultime. La scala utilizzata per le sovrapposizioni, infine, è 1:50, usuale per la planimetria delle aree di scavo (MEDRI 2003, 22); le anomalie "archeologiche" sono state visualizzate in rosso.

Tra i profili eseguiti a interdistanza di 10 m, il profilo n. 1 ha evidenziato una sola anomalia puntuale, pur essendo stato eseguito su un'area che ha rivelato durante lo scavo la presenza di diverse strutture murarie; più in

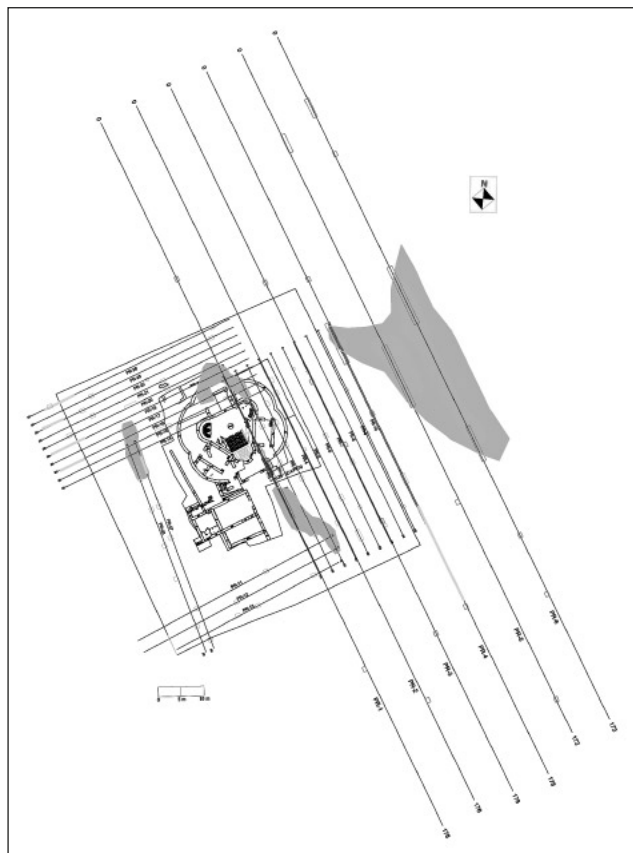


Fig. 6 – Sovrapposizione dei profili georadar alla planimetria di scavo (2009).

generale, le elaborazioni georadar, in giallo e in verde, hanno indicato due aree a forte concentrazione di anomalie, di cui la prima corrisponde alla porzione N del vano I e ad un'area a N-O dell'*ambulatio*; la seconda è ubicata a S-E ove, successivamente, è stato messo in luce un muro a orientamento N-S; i restanti profili, invece, sono stati eseguiti al di fuori dall'area di scavo aggiornata al 2009.

Quanto emerge è che le strisciate, realizzate a interdistanza di 2 m, a fronte di una numerosa serie di strutture murarie e pavimentali rinvenute in fase di scavo, hanno intercettato relativamente poche evidenze; tralasciando i lati S e O, dove le prospezioni sono state eseguite in un'area ancora da investigare, sui lati N ed E, le risposte sono state debolissime (Fig. 7).

Anche per quanto riguarda le tomografie geoelettriche (Fig. 8), pur essendo stati realizzati alcuni profili in corrispondenza di strutture antropiche di notevole consistenza e persino ben conservate (non si dimentichi che lo strumento era stato calibrato al travertino, materiale di cui sono costituiti i blocchi dei muri parzialmente evidenti al momento del sondaggio), le evidenze archeologiche immobili intercettate, in percentuale, sono notevolmente limitate; per facilitare la lettura anche in questo caso le anomalie sono di colore rosso (Fig. 9).

Infine, per le prospezioni eseguite con il magnetometro (Fig. 10) si deve registrare una limitata risposta analitica e interpretativa: pur interessando la griglia 1 e la griglia 2 un'area densa di evidenze archeologiche, le anomalie evidenziate, oltre che scarse, nel loro insieme, in generale non paiono rispecchiare neppure gli allineamenti delle strutture archeologiche (Fig. 11).

In corrispondenza della griglia 1 inoltre, tra il lato N-O dell'*ambulatio* e il vano I in corso di scavo, fu rinvenuta una notevole quantità di scorie in lega di rame, parte di uno scarico di una fornace metallurgica, materiale che, dal punto di vista magnetometrico, avrebbe dovuto dare un segnale piuttosto forte di anomalia/disturbo: dato che, però, risulta irrilevante nella pianta.

8. METODICA SCIENTIFICA E ANALISI CRITICA DEI DATI

Un portato fondamentale, e potremmo dire quasi vitale, della “rivoluzione” messa in atto dalla New Archaeology è, in particolare nell'ultimo decennio, la capacità sviluppata dall'archeologia italiana di dialogare e confrontarsi con metodi e addetti di altri settori disciplinari, anche molto lontani dal quotidiano archeologico. «In questo modo si è cercato, con una tensione attuale anche nel nostro presente, di fare una nuova archeologia, integrata, trasversale. In pratica si è adottato un approccio interdisciplinare: il che significa non tanto essere più identità scientifiche in una (archeologo, archeometra, architetto) quanto saper dialogare, adottare la sostenibilità della domanda da porre allo “scenziato”, l'unica che può sperare di avere risposte intelligibili e contribuire alla definizione di interpretazioni plausibili» (CORALINI 2010).

Ad esempio, l'esperienza con gli architetti e con i colleghi archeologi medievisti insegna a quella che una volta era detta archeologia classica l'importanza del rilievo globale delle strutture, non solo lo spazio occupato dall'evidenza antica, la sua planimetria, ma anche gli alzati, l'archeometria del costruito, le fasi esecutive (CAVALIERI *et al.* 2010).

Ma ancora più importante, e elemento fondamentale nella metodica scientifica, è la pratica della *validation*, che non solo ci ha costretto ad una verifica costante dei dati, ma anche delle premesse. In tal senso, a seguito delle operazioni sul campo e delle analisi dei dati strumentali in laboratorio effettuate da parte dei differenti team di geologi/archeologi, il “protocollo”

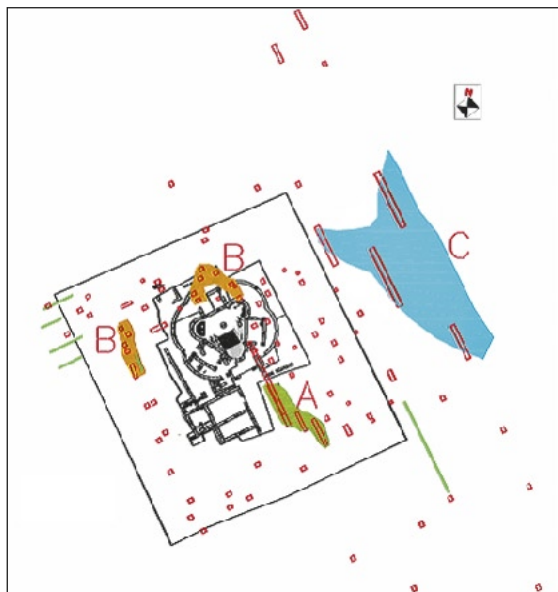


Fig. 7 – Evidenze archeologiche (in rosso) intercettate dalle prospezioni georadar.

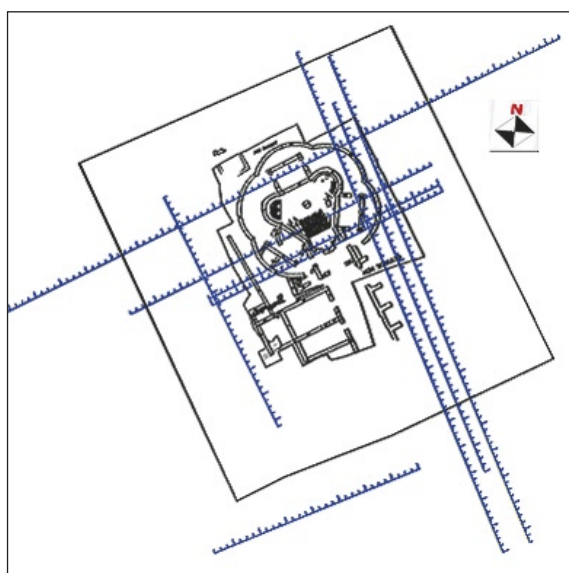


Fig. 8 – Tomografie geoelettriche sovrapposte alla planimetria di scavo (2009).



Fig. 9 – Evidenze archeologiche (in rosso) intercettate dalle tomografie geoelettriche.

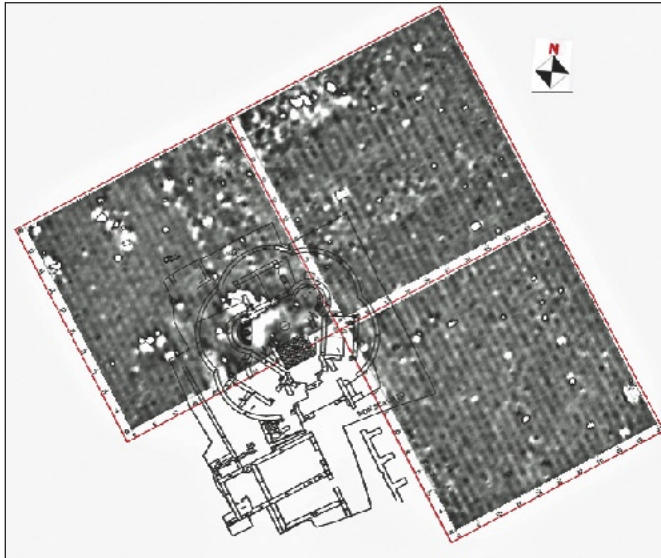


Fig. 10 – Proiezioni magnetometriche sovrapposte alla pianta di scavo 2009.

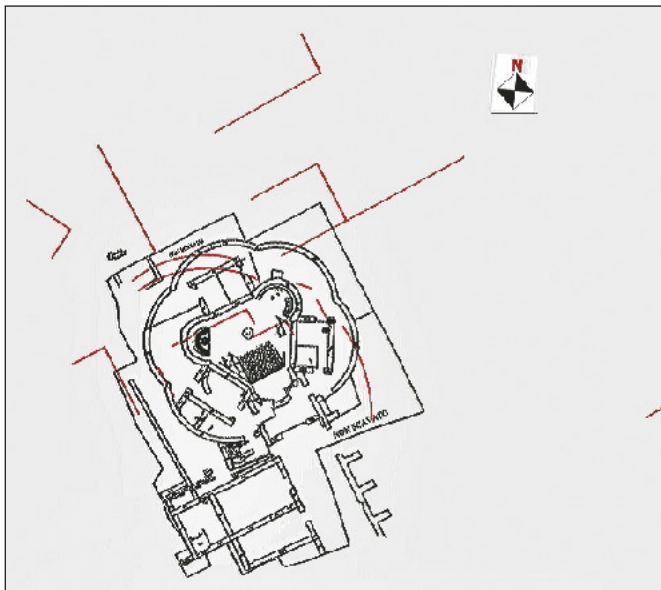


Fig. 11 – Anomalie (in rosso) risultanti dalle proiezioni magnetometriche.

scientifico adottato ha vincolato la comunicazione di queste pagine che costituiscono, in definitiva, la verifica dell'affidabilità dei risultati ottenuti relativamente alle evidenze archeologiche individuate dopo le campagne di scavo 2008-2009. Inoltre, proprio la scelta d'applicazione di tre diversi metodi geodiagnostici, senza che ci fosse a priori scambio di dati tra i tecnici di terreno delle tre équipes, ma solo tra queste e gli archeologici dello scavo, mirava a creare un sistema che fosse, in sede di sintesi finale dei dati emersi dalle tre tecniche geodiagnostiche, il meno possibile condizionato da eventuali premesse e approcci metodici condivisi. A questo si aggiungeva, lo ammettiamo, la curiosità di stabilire quale delle tre applicazioni avrebbe risposto meglio, nel caso specifico, alle questioni archeologiche indicate. È vero, esistono recenti pubblicazioni che, in modo esaustivo e chiaro (BOSCHI 2009, 291-315), riportano i valori di efficacia dei diversi metodi di indagine geofisica più applicati in archeologia in funzione del tipo di evidenza indagata; ma alla luce dell'importanza sperimentale dell'applicazione scientifica e dell'importanza dell'integrazione di più metodi d'indagine non intrusiva (così come oggi ampiamente si va caldeggiando) al fine di una maggiore e migliore attendibilità del dato interpretato, la *démarche* ci pareva interessante.

Riassumendo quanto esposto, possiamo affermare che la sovrapposizione dei profili, eseguiti con le tre differenti tecniche precedentemente analizzate, alle piante di scavo ha evidenziato un forte limite cognitivo delle interpretazioni dei dati geofisici, soprattutto se confrontati all'efficacia diagnostica riferita ad altri contesti da parte di un'ormai vasta letteratura archeologico/scientifica (COLOSI *et al.* 2000; KEAY *et al.* 2000; GAFFNEY *et al.* 2004; BERNABINI 2008; LOCK, FAUSTOFERRI 2008; VERMEULEN *et al.* 2009). I dati e le interpretazioni ottenuti ad Aiano-Torraccia di Chiusi, in effetti, sono risultati spesso lacunosi e soprattutto poco precisi anche nella localizzazione delle poche evidenze individuate.

Pur essendo stata indagata un'area che si è rivelata, a seguito dello scavo archeologico, ricca di evidenze significative, le anomalie archeologiche che le tre prospezioni hanno segnalato corrispondono a una percentuale pari al massimo ad $\frac{1}{4}$ di quanto effettivamente ritrovato.

In sede di sintesi emerge come la precisione e l'attendibilità della prospezione georadar (GPR), in genere maggiori rispetto a quelle di altri metodi d'indagine non invasiva (geoelettrica e magnetometrica), siano un portato dell'estrema sensibilità del sistema, fattore operativo che costituisce al contempo il limite più evidente della tecnica; mentre, infatti, è noto che essa trovi ottimi impieghi in terreni resistivi (a bassa attenuazione, cioè caratterizzati da una bassa conduttività elettrica) e aridi (come rocce compatte, alluvioni ghiaiose asciutte, lastricati, pavimentazioni), risulta praticamente inservibile in terreni argillosi, in limi saturi, e dove è presente acqua con alta concentrazione di sali: l'alta conduttività di questi terreni infatti dà luogo alla trasformazione dell'energia dell'impulso elettroma-

gnético in calore, con forte limitazione della profondità di penetrazione dello strumento. Nel caso di Aiano-Torraccia di Chiusi, la prospezione GPR è stata eseguita su un terreno che geologicamente risulta essere composto da sabbie, limi e limi argillosi, molto conduttivi, quindi con forte limitazione della profondità di penetrazione dello strumento (CONYERS 2006; ORLANDO *et al.* 2008, 94).

Per il rilievo è stata utilizzata un'antenna a frequenza 250 MHz per una profondità di investigazione stimata di 4 m circa; in questo senso, com'è noto, la scelta della frequenza nominale dell'antenna dipende dalla risoluzione che si vuole ottenere e dalla profondità che si vuole raggiungere: la letteratura scientifica riporta come essa, per le indagini archeologiche, possa variare da 20-40 MHz fino a 300-900 MHz; le frequenze più basse garantiscono una più profonda penetrazione con risoluzione minore, quelle più alte consentono una minore penetrazione del segnale ma una risoluzione nettamente maggiore (BALDI *et al.* 2005).

È teoricamente ipotizzabile che l'impiego di antenne a frequenza più alta (quella, diciamo, standard è tra 300 e 500 MHz) sul sito avrebbe garantito una risoluzione migliore, in funzione del fatto che le strutture si trovano in un range di profondità che va da meno 0,70 m a 2,5 m dal piano di campagna. Inoltre, sarebbe stato sicuramente utile eseguire alcuni profili, magari anche solo in un settore-test, con antenne a frequenza diversa, per poi confrontare i risultati in fase di elaborazione dati, verificando così quale potesse essere la profondità, dunque la frequenza ottimale, da utilizzare per l'antenna.

Sulla base di confronti in altri contesti archeologici, è da sottolineare come i profili siano stati eseguiti a interdistanza troppo alta: in genere (PIRO 1996; APPEL, WILHELM, WALDHOR 1997; PIRO, GOODMAN, NISHIMURA 2003; SANTORO 2007, 51-62; BARTOLONI *et al.* 2008; ORLANDO *et al.* 2008; PANELLA *et al.* 2008, 117) essa oscilla tra 0,5 e 1 m; solo nel sito neolitico di Ripa Tetta (PIRO 1996), dove pure è stato necessario indagare un'area molto ampia, i profili sono stati posti a una distanza che varia tra 1, 2 e 4 m, in ogni caso a meno della distanza compresa tra 2 e 10 m, come è accaduto ad Aiano-Torraccia di Chiusi.

La relazione geoarcheologica, inoltre, non fornisce indicazioni circa il posizionamento dei marker, che di solito sono collocati lungo ciascun profilo a interdistanza di 1 m, per stabilire la disposizione geometrica di superficie dell'antenna: in questo modo, a posteriori, è assai difficile, se non impossibile la localizzazione delle anomalie rilevate.

Infine, per recuperare tutte le informazioni contenute nei profili paralleli sarebbe stato utile applicare anche nel caso in oggetto la tecnica del *time slice*: il metodo consiste nel rappresentare planimetricamente, a intervalli costanti di tempo (nanosecondi), i profili acquisiti con il GPR, in modo da costruire mappe che permettono di seguire lo sviluppo, al crescere delle profondità, delle strutture individuate e di ricostruire la loro reciproca correlazione geometrica. Così si può ottenere una visione complessiva in senso orizzontale (planimetrico) e verticale (al crescere della profondità) dei corpi oggetto di indagine

e quindi è possibile fornire indicazioni utili alla pianificazione di successive indagini di scavo (GOODMAN, NISHIMURA, ROGERS 1995; PIRO 2001, 275; SANTORO 2007, 53-54; BOSCHI 2009, 292-295). La mancata adozione di un approccio siffatto ha chiaramente limitato la comprensione di una visione d'insieme del volume di sottosuolo investigato e, quindi, un'identificazione più precisa delle anomalie individuate: infatti, l'interpretazione affidata alla lettura su ogni singola sezione radar può comportare delle sopravvalutazioni o sottovalutazioni dei segnali registrati e quindi una conseguente identificazione falsata dei corpi anomali; inoltre, sui singoli profili non è facilmente identificabile l'effetto laterale, tra l'altro contenuto nel segnale digitalizzato, dei corpi presenti nel sottosuolo che, pur trovandosi vicini ai profili, non sono direttamente visualizzati nella rappresentazione della singola sezione radar.

Anche i risultati forniti dalle prospezioni geoelettriche sono stati di gran lunga inferiori alle aspettative; nonostante la pianificazione dell'intervento (indagine geologica, posizionamento GPS, rilievo eseguito congiuntamente da un geologo e un archeologo) sia stata accurata, lo strumento ha individuato soltanto, oltre a poche strutture murarie, aree a resistività media e medio alta, senza però essere in grado di specificare la natura delle anomalie, poi verificate in fase di scavo come strutture archeologiche.

Essendo l'OhmMapper uno strumento di nuova generazione e relativamente ancora poco utilizzato in applicazioni archeologiche, esso necessitava, al 2007, di maggiori sperimentazioni per raggiungere una migliore qualità di utilizzo, così come altre sue applicazioni, in altri contesti archeologici, hanno evidenziato successivamente (BOTTACCHI 2008, 2010). Il procedimento sul campo ha testato per prima cosa lo strumento: una prima strisciata, corrispondente alla tomografia 1, è stata considerata particolarmente importante giacché, essendo stata posizionata a pochi cm dal margine N dello scavo, dove risultava evidente la prosecuzione di strutture murarie già parzialmente indagate, è stata presa come rilievo utile per calibrare la macchina; la linea percorsa si trovava mediamente ad una distanza di circa 0,8 m dallo scavo. Sapendo che i muri immediatamente adiacenti al rilievo geoelettrico sono composti da blocchi di travertino (roccia sedimentaria calcarea) la cui resistività è superiore a 1.000 ohm m, inglobati in contesto di limo sabbioso (la cui resistività varia, a seconda della percentuale di acqua presente, da 50 a 1.000 ohm m), gli operatori hanno riconosciuto in questa tomografia l'andamento certo di almeno 2 strutture murarie. A posteriori, oggi possiamo affermare che probabilmente sarebbe stato altrettanto utile impiegare lo strumento anche a differenti profondità di misurazione, per verificarne il comportamento al variare di questo parametro (ORLANDO *et al.* 2008) e per confrontare anche in questo caso i risultati ottenuti.

I risultati delle indagini geoelettriche realizzate ad Aiano-Torraccia di Chiusi hanno mostrato, in definitiva, sia quali informazioni relative all'interpretazione in chiave archeologica del sottosuolo il georesistivimetro ad

accoppiamento capacitivo OhmMapper possa elaborare, sia, a seguito della verifica archeologica, quali siano i limiti di tali interpretazioni. Il più evidente, a parere di chi scrive e contrariamente a quanto riportato altrove (BOTTACCHI 2010, 135-140), è stata una insoddisfacente corrispondenza tra le USM rilevate durante il saggio di scavo successivo alla campagna di indagini geoelettriche e i segnali di resistività interpretati come fondazioni di probabile natura archeologica. In altre parole, l'OhmMapper è certo stato utile a confermare la presenza di strutture murarie nel sottosuolo circostante il saggio di scavo già avviato, ma tale probabilità di presenza era di per sé già assicurata dalla semplice constatazione che le strutture murarie già scavate proseguivano in sezione (N, S, E e O) ben oltre l'area indagata archeologicamente. Quindi lo strumento, in qualche modo, ha risposto alla questione relativa all'areale oggetto d'insediamento antropico, senza, tuttavia, poter determinare possibili ambiti di maggior rilevanza archeologica, target primari per futuri interventi di scavo. La lettura del sottosuolo puntuale dell'OhmMapper, quindi, ha assicurato un'estensione notevole della villa, senza, tuttavia, offrire una possibile ricostruzione planimetrico-interpretativa delle evidenze sommerse, limite diagnostico che, ad esempio, le prospezioni geomagnetiche non presentano.

A ciò si aggiunge che le indagini hanno evidenziato come lo strumento non sia stato in grado di porre in atto un contrasto di resistività tra le strutture di origine antropica *in situ* e quelle in crollo: infatti, una buona parte delle aree individuate ad alta resistività (in particolare nella zona O del saggio archeologico), una volta scavate, sono risultate spesso corrispondenti a strati di crollo strutturale, il quale ha caratteristiche elettriche simili ad un muro *in situ*. Infine, anche l'*atout* della capacità indicativa della profondità del giacimento archeologico non sempre è stato confermato puntualmente e questo ancora a causa dell'impossibilità discrezionale muro/crollo.

Purtroppo neppure la prospezione magnetometrica ha fornito risultati veramente utili. Un primo problema riguarda la tara dello strumento in base al contesto geologico, parametro non espresso nella relazione di prospezione, ma che certamente può aver influenzato la raccolta e l'analisi dei dati. La relazione, inoltre, pur affermando che "l'area non presenta particolari fattori di disturbo, se non i picchetti metallici distribuiti lungo la recinzione dello scavo, che non hanno però compromesso l'acquisizione delle misurazioni", rileva nelle griglie 2 e 3 disturbi non meglio identificabili nel sottosuolo in punti che saranno oggetto di scavo nelle prossime campagne. Difficile stabilire a priori quale sia la loro causa: nel caso della villa di Cottanello, la presenza di un acquedotto romano, di cui s'ignorava l'esistenza, creava un forte rumore di fondo che ha mascherato le altre anomalie magnetiche di origine archeologica poste nelle sue vicinanze; ma anche una diffusa presenza di crolli di coperture in laterizi (tegole e coppi) può causare anomalie ricettive (CERRI, PASSALACQUA 2000). Nel caso di Aiano-Torraccia di Chiusi, comunque, la presenza su quasi tutta la

superficie scavata di materiali edilizi da copertura limita la possibilità che tali disturbi, per altro a localizzazione puntuale, siano da imputare a tale causa.

A questo va aggiunto anche che il confronto tra dati di rilievo geofisico (in particolare magnetometrico) ed evidenza archeologica a seguito dello scavo ha posto in luce anche la mancata individuazione, nel settore a N-O dell'*ambulatio*, di un moderno sistema di condotte irrigue interrato, installate probabilmente negli anni Sessanta-Settanta del XX secolo in connessione al soprastante lago d'Aiano, tubature di cui si era persa la memoria per l'avvicendamento della proprietà, la mancanza di una planimetria d'impianto (assente anche nelle carte catastali) e per un'ormai lunga inattività. Si tratta di sottoservizi in fibrocemento, immediatamente messi in sicurezza mediante incapsulamento e denuncia alla proprietà del campo, del diametro nominale di 30 cm ca., verosimilmente sistemati in più allineamenti con andamento parallelo al terrazzo fluviale e raccordati da setti perpendicolari N-S. Il complesso irriguo, inoltre, nella porzione rinvenuta, è stato individuato per una lunghezza di una decina di metri, ad una profondità tra i 0,50 e 0,60 m dal piano attuale di campagna. Rimane sorprendente l'incapacità delle prospezioni d'individuare la presenza in considerazione di un posizionamento non profondo a ridosso della superficie superiore dei crolli delle strutture architettoniche archeologiche, nelle quali erano state appositamente create delle vere e proprie trincee d'allettamento; quindi una situazione limitatamente disturbata o mascherata da una subgiacenza con caratteristiche di potenziale schermo. Sarebbe abbastanza singolare verificare che i disturbi segnalati possano attribuirsi a queste strutture, giacché, laddove le tubature sono emerse dallo scavo, non era stata notata alcuna anomalia.

9. CONCLUSIONI

Ribadiamo che queste pagine non sono state concepite con lo scopo di svalutare le metodologie geodiagnostiche: la maggior parte delle applicazioni conosciute in letteratura, infatti, illustra una lunga serie di casi in cui i risultati delle prospezioni sono stati proficuamente utilizzati dall'archeologia; ma, dal momento che l'obiettivo della prospezione archeologica deve essere appunto quello di agevolare e possibilmente ottimizzare, anche dal punto di vista dei tempi e dei costi, il lavoro archeologico, si è cercato di mostrare quali errori possano essere evitati. In effetti, in un preciso contesto archeologico, quello della villa di Aiano-Torraccia di Chiusi, le indagini geofisiche hanno visto diminuito il loro interesse diagnostico a causa di una non idonea calibrazione degli strumenti, d'interdistanze troppo ampie tra i profili, di profili troppo lunghi, di griglie troppo estese. Più in generale, l'errore che ci pare ricorrente nell'attività descritta consiste nella non sistematicità dell'intervento mediante pochi stendimenti non estensivi sul sito e assai spesso realizzati ad intervalli troppo ampi al fine di una restituzione del sottosuolo

in termini di una maggiore precisione (soprattutto riferendoci alle campagne georadar e geoelettrica: CHIANESE *et al.* 2004). In questo senso anche i parametri clima e tempo hanno un loro valore qualitativo: una giornata di attività sul campo, talora anche meno, non sembra permettere una raccolta di dati in modo completo ed esaustivo, come i prodotti elaborati evidentemente mostrano.

Beninteso, non si vuole cercare un colpevole per l'insuccesso generale e se uno deve esistere è colui che in prima istanza ha la responsabilità ultima della ricerca archeologica, ma è chiaro che se si fossero volute programmare le campagne di scavo 2008-2009 sulla base dei risultati ottenuti dalle prospezioni compiute, sicuramente non si sarebbe scelto d'intervenire nel settore N-E, che, al contrario, si è rivelato ricco di evidenze archeologiche; si sarebbe preferito investigare l'area S-E, a ridosso dei locali a S (A e B), in cui la prospezione georadar aveva individuato anomalie con riflessioni di discreta estensione, ma dove lo scavo ha evidenziato un'area esterna alla villa.

In chiusura, una riflessione, solo apparentemente scontata: perché le indagini geofisiche siano effettivamente utili sono assolutamente necessari due step analitici, la fase di progettazione del rilievo geofisico e quella di post-processing dei dati (SAMBUELLI *et al.* 2008, 131-132). Di conseguenza l'interazione tra diverse competenze scientifiche è fondamentale in primis per stabilire e definire l'obiettivo della ricerca e dei contesti geologico e archeologico, permettendo così di scegliere al meglio le strategie e le tecniche geofisiche che hanno maggiore probabilità di successo. In effetti il ricorso ai metodi geodiagnostici non invasivi non è di per sé una panacea capace di risolvere necessariamente i problemi della moderna archeologia di terreno. Il caso di Aiano-Torraccia di Chiusi lo mostra in modo esaustivo.

Le varie fasi dell'indagine, dalla progettazione fino all'interpretazione dei dati, quindi, hanno bisogno di molto tempo e organizzazione, a partire dallo studio del sito da indagare (geomorfologia, pedologia, estensione, vegetazione, etc.), fino alla scelta della distanza tra i profili che devono essere percorsi dagli operatori con gli strumenti, con una scelta preferenziale tra 1 e 0,50 m, prossimità che, per Aiano-Torraccia di Chiusi, è stata adottata solo per il magnetometro. In tal senso, infatti, qualora si debba ricorrere al noleggio degli strumenti da parte degli archeologi, il fattore disponibilità economica assume un'importanza fondamentale per i costi giornalieri e l'estensione areale da esaminare. Ecco che, quindi, spesso non potendo ricorrere ad un'indagine sistematica dell'area, si ricorre all'analisi per campioni superficiali o, limite anche maggiore, si amplia l'interdistanza tra i profili, con il rischio evidente di limitare la possibilità d'intercettazione di evidenze archeologiche sotterranee o di non comprenderne le relazioni spaziali. In effetti, e pur rischiando di "cantare fuori dal coro", queste sono osservazioni che toccano anche l'importante – oggi direi fondamentale – capitolo finanziario dell'attività di ricerca. Parziali

insuccessi o, se vogliamo, limitati successi come quelli analizzati, comunque hanno sempre considerevoli costi esecutivi.

Un più ampio margine di successo, quindi, è evidente quando le campagne siano programmate con attenzione, in anticipo, e facendo del parametro tempo (quindi denaro) una condizione non primaria. Insomma, qualora coloro che intervengano nell'indagine lo facciano supportati da una sinergia con chi scava di lunga durata e non funzionale alla semplice raccolta dei dati e della loro elaborazione, decontestualizzando così la ricerca diagnostica da quella archeologica tradizionale. L'apporto dell'archeologo, quindi, resta fondamentale, così come il dialogo tra colui che scava e colui che opera l'indagine geodiagnostica, risultato, certo, di una buona preparazione teorica, ma soprattutto di molta esperienza pratica.

MARCO CAVALIERI

Département d'Archéologie et Histoire de l'art
Université catholique de Louvain

GLORIANA PACE

Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici
Università degli Studi di Firenze

BIBLIOGRAFIA

- APPEL E., WILHELM J., WALDHÖR M. 1997, *Archaeological prospection of wall remains using geoelectrical methods and GPR*, «Archaeological Prospection», 4, 219-229.
- BALDI P., CAMPANA S., DURATE P., FELICI C. 2005, *Magnetometria e GPR. Indagine integrata nell'area test "Bosco della città"*, «Annali del Museo Civico di Rovereto, Sezione Archeologia, Storia e Scienze Naturali», Suppl. al vol. 20, 1-14.
- BARTOLONI G., ACCONCIA V., BOITANI F., PIRO S. 2008, *Indagini integrate nell'area dell'Acropoli di Veio, Piazza d'Armi*, in *Geofisica per l'Archeologia*, 85-92.
- BERNABINI M. 2008, *La geofisica applicata per l'archeologia. Considerazioni introduttive*, in *Geofisica per l'Archeologia*, 9-12.
- BIETTI SESTIERI A.M. 2000, *L'archeologia processuale in Italia, o l'impossibilità di essere normali*, in N. TERRENATO (ed.), *Archeologia teorica*, Firenze, All'Insegna del Giglio, 213-242.
- BOSCHI F. 2009, *Introduzione alla geofisica per l'archeologia*, in E. GIORGI (ed.), *Groma 2. In profondità senza scavare. Metodologie di indagine non invasiva e diagnostica per l'archeologia*, Bologna, BraDypUS s.a. Communicating Cultural Heritage.
- BOTTACCHI M. 2008, *Indagini geoelettriche a Sentinum*, in M. MEDRI (ed.), *Sentinum 295 a.C. - Sassoferrato 2006: 2300 anni dopo la battaglia. Una città romana tra storia e archeologia*, Roma, L'Erma di Bretschneider, 371-376.
- BOTTACCHI M. 2010, *Studio dell'efficacia dell'OhmMapper (Geometrics Inc.) per indagini geoelettriche in contesti archeologici*, PhD Thesis, Università degli Studi di Ferrara.
- BRUZZI G. 1998, *La prospezione geofisica per la valutazione del rischio archeologico*, in *Le attuali tecniche geofisiche applicate all'ambiente, al territorio e all'ingegneria civile*, Milano, Geo-Graph.
- CAVALIERI M. 2009, *Vivere in Val d'Elsa tra tarda Antichità e alto Medioevo. La villa romana di Aiano-Torraccia di Chiusi (Siena, Italia)*, «The Journal of Fasti Online» (www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2009-156.pdf).

- CAVALIERI M., BALDINI G., D'ONOFRIO M., GIUMLIA-MAIR A., MONTEVECCHI N., PIANIGIANI M., RAGAZZINI S. 2010, *San Gimignano (SI). La villa di Torracchia di Chiusi, località Aiano. Dati e interpretazioni dalla V campagna di scavo, 2009*, «The Journal of Fasti Online» (www.fastionline.org/docs/FOLDER-it-2010-206.pdf).
- CAVALIERI M., BOTTACCHI M., MANTOVANI F., RICCIARDI G. 2007, *Misure di resistività mediante OhmMapper finalizzate allo studio del sito di Torracchia di Chiusi*, «Archeologia e Calcolatori», 18, 159-186.
- CAVALIERI M., GIUMLIA-MAIR A. 2009, *Lombardic Glassworking in Tuscany*, in A. GIUMLIA-MAIR (ed.), *Manufacturing techniques from Prehistory to the Renaissance*, «Materials and Manufacturing Processes», 24, London, Taylor & Francis, 1023-1032.
- CENSINI G. 2006, *Indagine georadar presso l'area archeologica di Pian dei Foci nel Comune di San Gimignano*, rapporto tecnico n. 1135/06, Sinalunga (SI), Società Georisorse Italia.
- CERRI L., PASSALACQUA L. 2000, *Prospezioni geofisiche sul sito della villa romana di Cottanello*, in M. STERNINI (ed.), *La villa romana di Cottanello*, Bari, Edipuglia, 191-197.
- CHIANESE D., D'EMILIO M., DI SALVIA S., LAPENNA V., RAGOSTA M., RIZZO E. 2004, *Magnetic mapping, penetrating radar surveys and magnetic susceptibility measurements for the study of the archaeological site of Serra di Vaglio (southern Italy)*, «Journal of Archaeological Science», 31, 633-643.
- COLOSI F., GABRIELLI R., PIRO S., COSTANTINI A., SANTORO P. 2000, *Lo studio del territorio impiegando diverse metodologie d'indagine: il caso della Valle del Tevere*, «Archeologia e Calcolatori», 11, 171-189.
- CORALINI A. 2010, *Sull'abitare nel mondo romano. Spigolature*, in A. CORALINI (ed.), *Cultura abitativa nella Cisalpina romana 1*. Forum Populi, Firenze, All'Insegna del Giglio, 7-12.
- CONYERS L.B. 2006, *Innovative ground-penetrating radar methods for archaeological mapping*, «Archaeological Prospection», 13, 139-141.
- FREZZA B., GHISLENI M. 2007, *Prospezioni magnetometriche San Gimignano*, relazione tecnica, LAP&T LAB, Laboratorio di Archeologia dei Paesaggi e Telerilevamento, Università degli Studi di Siena.
- GAFFNEY V., PATTERSON H., PIRO S., GOODMAN D., NISHIMURA Y. 2004, *Multimethodological approach to study and characterize Forum Novum (Vescovio, Central Italy)*, «Archaeological Prospection», 11, 201-212.
- Geofisica per l'Archeologia: possibilità e limiti 2008. Atti del Convegno CISTeC (Roma, Palazzo Massimo, 2008)*, Roma, Università La Sapienza-CISTeC.
- GOODMAN D., NISHIMURA Y., ROGERS J.D. 1995, *GPR time slices in archaeological prospection*, «Archaeological Prospection», 2, 85-89.
- KEAY S., MILLETT M., POPPY S., ROBINSON J., TAYLOR J., TERRENATO N. 2000, *Falerii Novi: A new survey of the walled area*, «Papers of the British School at Rome», 68, 1-94.
- LOCK G., FAUSTOFERRI A. (eds.) 2008, *Archaeology and Landscape in Central Italy: Papers in Memory of John A. Lloyd*, Oxford, Oxford University School of Archaeology.
- MEDRI M. 2003, *Manuale di rilievo archeologico*, Roma-Bari, Laterza.
- ORLANDO L., BERNABINI M., FILITECI M.G., ASCOLI MARCHETTI V. 2008, *Indagini geofisiche per lo studio dei terreni e delle fondazioni di strutture archeologiche*, in *Geofisica per l'Archeologia*, 93-106.
- PANELLA C., PIRO S., BRIENZA E., ZEGGIO S. 2008, *Indagini geofisiche ed archeologiche in area urbana. Il caso delle pendici orientali del Palatino*, in *Geofisica per l'Archeologia*, 117-124.
- PIRO S. 1996, *Integrated geophysical prospecting at Ripa Tetta Neolithic Site (Lucera, Foggia-Italy)*, «Archaeological Prospection», 3, 81-88.
- PIRO S. 2001, *Integrazione di metodi geofisici ad alta risoluzione per l'indagine nei siti archeologici*, in S. CAMPANA, M. FORTE (eds.), *Remote Sensing in Archaeology*, Firenze All'Insegna del Giglio, 273-297.

- PIRO S., GOODMAN D., NISHIMURA Y. 2003, *The study and characterization of Emperor Traiano's Villa (Altopiani di Arcinazzo, Roma) using high-resolution integrated geophysical surveys*, «Archaeological Prospection», 10, 1-25.
- RICCIARDI G. 2005-2006, *Misure di resistività finalizzate allo studio ed alla modellazione della "villa romana" rinvenuta in località Torraccia di Chiusi (Comune di San Gimignano)*, Tesi di Laurea in Geotecnologie, Università degli Studi di Siena.
- SAMBUELLI L., GODIO A., STOCCO S., SOCCO L.V. 2008, *Alcuni criteri per la progettazione di rilievi geofisici per l'archeologia*, in *Geofisica per l'Archeologia*, 131-141.
- SANTORO S. (ed.) 2007, *Pompei. Insula del Centenario (IX,8) I. Indagini diagnostiche, geofisiche e analisi archeometriche*, Bologna, Ante Quem.
- SCOLLAR I., TABBAGH A., HESSE A., HERZOG I. 1990, *Archaeological Prospecting and Remote Sensing*, Cambridge, Cambridge University Press.
- VERMEULEN F., DE DAPPER M., MUŠIĆ B., MONSIEUR P., VERREYKE H., CARBONI F., DRALANS S., VERHOEVEN G., VERDONCK L., HAY S., STERRY M., DE PAEPE P., DE SERANNO S. 2009, *Investigating the impact of Roman urbanisation on the landscape of the Potenza Valley: A report on fieldwork in 2007*, «Bulletin Antieke Beschaving», 84, 85-110.

ABSTRACT

During the years 2006-2007, three teams of scientists (archaeologists with geophysicists) detected the archaeological surface of the Late Antique villa at Aiano-Torraccia di Chiusi (Siena, Tuscany) using GPR (Ground Penetrating Radar), Resistivity and Magnetometry. Their aim was to identify archaeological remains and consequently spend less time and money on digging. At the conclusion of the fieldwork and data treatment, they used a CAD program to overlap geophysical and archaeological layers and check geophysical results on archaeological remains. Despite surveys in many other archaeological sites, they obtained few results: surveys located anomalies in less than 1/4 of the archaeological remains excavated in 2008 and 2009. In this paper the authors attempt to analyze (and try to find better solutions for the future) errors in the geophysical surveys caused by incorrect calibration of the database, low accuracy of grid intersections and excessively long grid lines, in relationship to site conditions and the kinds of archaeological remains. These technical problems in fact certainly create a less than optimal operational synergy between archaeologists and geologists during the post-processing of the data: an analysis of these problems may help to improve future projects of this type.