

Mus. civ. Rovereto	Atti del Workshop in geofisica	10 dicembre 2004	61-77	2005
--------------------	--------------------------------	------------------	-------	------

FRANCO FINOTTI (\*), FEDERICO FISCHANGER (\*\*), VITTORIO ILCETO (\*\*\*),  
GIANFRANCO MORELLI (\*\*), FABIANA ZANDONAI (\*)

## TOMOGRAFIA ELETTRICA 3D DELL'AREA TEST «BOSCO DELLA CITTÀ», ROVERETO (TN)

**Abstract** - FRANCO FINOTTI, FEDERICO FISCHANGER, VITTORIO ILCETO, GIANFRANCO MORELLI, FABIANA ZANDONAI - 3D Electrical tomography investigations in the Test Area «Bosco della Città», Rovereto (TN).

Between August and October 2004 in the test Site «Bosco della Città» many sessions of geophysical surveys were carried out, some of which run with the multi electrode system developed by the researchers team of Museo Civico of Rovereto. The Museum work focused on three geoelectrical surveys: the first aimed at testing the square array power in locating deep unconformities (in the bedrock), the others respectively aimed at finding out the interface between bedrock and cover and finally at evaluating the recognition capacity and the quality of the response offered by different kind of buried targets. Square array method, beside supporting the results achieved by Habberjam and al. published at the end of 60's, allows to shorten the fitting-out time of the system, thanks to multielectrode technology. The tomographic survey made with the classic Wenner array (first with interelectrode distance 2m, then 0,30m) assured a good and noiseless data set. These circumstances favoured the data processing with a new software of tridimensional inversion. The processing with OhmVision enables the delineation of marks otherwise unrecognizable using only pseudosections.

**Key words:** Geoelectrical tomography, tridimensional inversion, square array, Wenner array.

---

(\*) F. Finotti, F. Zandonai, Museo Civico di Rovereto, Borgo S Caterina 41, 38060 Rovereto (TN). Tel. 0464/439055, Fax 0464/439087. finottifranco@museocivico.rovereto.tn.it; zandonaifabiana@museocivico.rovereto.tn.it.

(\*\*) F. Fischanger, G. Morelli, Geostudi Astier s.r.l., via Aiaccia 16/B, 57017 Stagno (LI). Tel. e Fax. 0586/943356. info@geoastier.it

(\*\*\*) V. Iliceto, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica, via Giotto 1, 35137 Padova. Tel. 049/8273942, Fax 049/8272070. vittorio.iliceto@unipd.it.

**Riassunto** - FRANCO FINOTTI, FEDERICO FISCHANGER, VITTORIO ILCETO, GIANFRANCO MORELLI, FABIANA ZANDONAI - Tomografia elettrica 3D dell'Area Test «Bosco della Città», Rovereto (TN).

Fra agosto e ottobre 2004 l'Area Test «Bosco della Città» è stata sede di numerose sessioni di campagne geofisiche, alcune delle quali condotte con la strumentazione multielettrodo sviluppata e messa a punto dai ricercatori e collaboratori del Museo Civico di Rovereto (TN).

L'impegno del Museo si è focalizzato su tre distinte indagini geoelettriche: la prima volta a testare il potere risolutivo dello square array nei confronti di discontinuità profonde (in tal caso interessanti il substrato roccioso), le altre volte rispettivamente a caratterizzare i rapporti fra substrato e copertura, e valutare le possibilità di riconoscimento e la qualità della risposta offerta dalle diverse tipologie di target sepolti. I risultati ottenuti con lo square array non solo hanno positivamente confermato gli studi di Habberjam et al. pubblicati alla fine degli anni '60 ma si è appurato che il ricorso a tale dispositivo, avvalendosi della tecnologia multielettrodo, consente di superare i noti svantaggi legati ai tempi di allestimento del set di misura.

I rilievi eseguiti con la classica disposizione Wenner in tomografia elettrica (prima con passo interelettrodo di 2m, poi di 0.30 m) hanno portato alla raccolta di dati di ottima qualità e per nulla affetti da noise: tali condizioni positive hanno deposto a favore del trattamento dati tramite un nuovo software di inversione tridimensionale. L'elaborazione col programma OhmVision ha consentito di evidenziare anche strutture la cui presenza non era rilevabile dalle singole pseudo-sezioni di partenza.

**Parole chiave:** Tomografia geoelettrica, Inversione tridimensionale, Dispositivi elettrici quadrato e Wenner.

## 1. INTRODUZIONE

Con la realizzazione, sul finire del 2002, dell'Area Test «Bosco della Città», l'équipe di ricerca ed indagini geofisiche del Museo Civico di Rovereto dispone di modelli fisici sepolti nell'Area Test da sottoporre alle medesime prove condotte normalmente sui modelli ridotti ricostruiti in laboratorio.

Ciò si è dimostrato particolarmente efficace nel caso del dispositivo quadrato (Martini, 2004) per cui è stato possibile ampliare il campo d'applicazione sia passando dalle misure in laboratorio a quelle in situ sia rivolgendosi alla caratterizzazione delle discontinuità specifiche del substrato roccioso, come già suggerito da Habberjam (1967).

Lavorare su un'area test consente la conoscenza, a priori, delle condizioni al contorno (natura e rapporti fra copertura e substrato) e delle geometrie dei target sepolti: tale premessa riduce notevolmente i tempi di pianificazione della campagna di misura, guida la scelta della disposizione elettrodo più idonea e permette di dedicare maggiore cura alle fasi successive di acquisizione e trattamento dati. Nel caso specifico proprio l'elaborazione dei dati ha potuto essere adeguatamente sofisticata così da delineare corpi e strutture in uno spazio tridimensionale.

La creazione di un modello geoelettrico di risposta del sottosuolo non può prescindere da una precisa ricostruzione plano-altimetrica della porzione inda-

gata, poiché solo in tal modo le misure possono essere correttamente collocate nel sottosuolo tenendo in considerazione la topografia di superficie. Anche se l'Area Test si sviluppa su di un pianoro, la debole inclinazione verso sud e la presenza di sconnessioni non possono essere trascurate in indagini di dettaglio, dove il passo di misura e le dimensioni delle anomalie cercate sono dell'ordine di grandezza di tali eterogeneità. Per la realizzazione del modello digitale tridimensionale (fig. 1) ci si è basati sul rilievo topografico (alla scala 1:200) eseguito al momento della ricostituzione della copertura originaria.

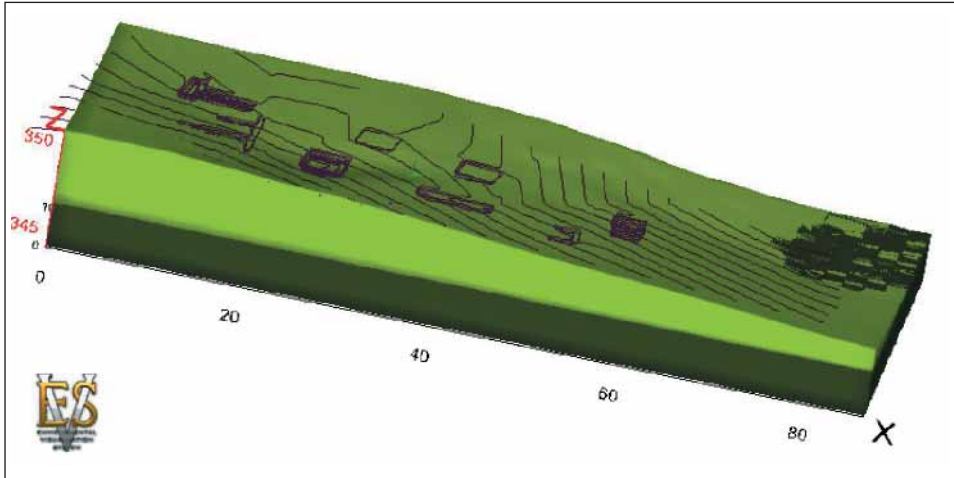


Fig. 1 - Modello topografico tridimensionale del terreno dell'Area Test ricostruito col software EVS; sono stati proiettati sulla superficie i target sepolti.

## 2. STRUMENTAZIONE GEOFISICA IMPIEGATA

L'insieme delle misure elettriche è stato portato a termine mediante l'impiego del **Sistema multielettrodo E.R.S.**, progettato e messo a punto presso il Museo Civico di Rovereto.

La strumentazione, per i cui dettagli tecnici si rimanda alle pubblicazioni citate in bibliografia, prevede un utilizzo massimo di 64 elettrodi (organizzati in 4 moduli da 16) potenziabile tramite l'aggiunta di ulteriori moduli.

Le immagini seguenti (fig. 2 e 3) illustrano l'allestimento strumentale usato per le applicazioni in campagna: l'E.R.S. è collegato allo stendimento elettrodo ed al computer su cui è installato un software specifico. Ogni singola operazione è guidata e controllata tramite computer, anche la scelta della tipologia di stendimento (arrangiamento, numero elettrodi e distanza interelettrodica) risulta estremamente flessibile e aggiornabile tramite software.

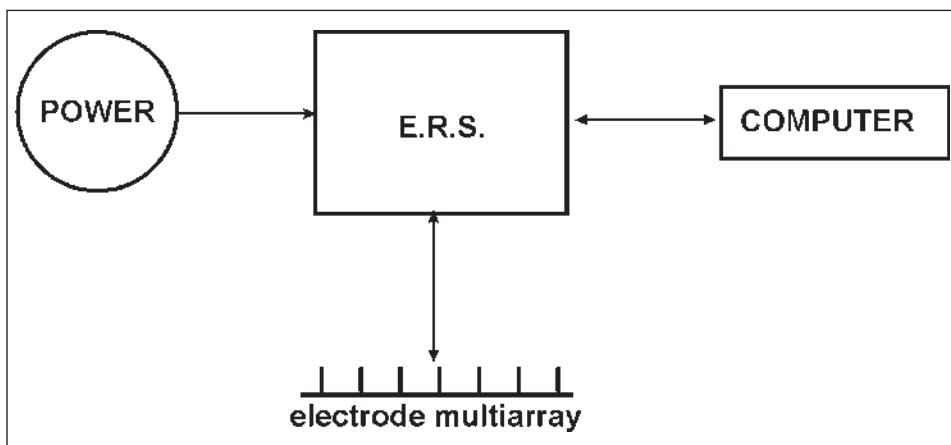


Fig. 2 - Schema dell'apparato strumentale E.R.S.



Fig. 3 - Esempio di allestimento di indagine elettrica in situ.

### 3. INDAGINE GEOELETTRICA

#### 3.1. *Prospezione Wenner a passo 2 m*

Nel corso delle sessioni di misura condotte all'Area Test di Rovereto, sia dall'équipe museale sia da ricercatori esterni, si è rilevato un grado variabile di interferenza fra il segnale dovuto alla struttura e quello imputabile al substrato; come se la presenza di un substrato roccioso subsuperficiale (con il suo andamento irregolare) interferisse in misura variabile sulla risposta dei target. Per indagare la situazione profonda, al fine di studiare la risposta media del terreno sottostante, bypassando lo spessore superficiale costituito dall'insieme target – copertura, la quasi totalità dell'area è stata ricoperta da un'indagine tomografica a maglia larga: 8 stendimenti orientati grossomodo in senso NS, e spaziate fra loro di 4 m, composti ciascuno da 32 elettrodi, per una lunghezza di 60 m (fig. 4).

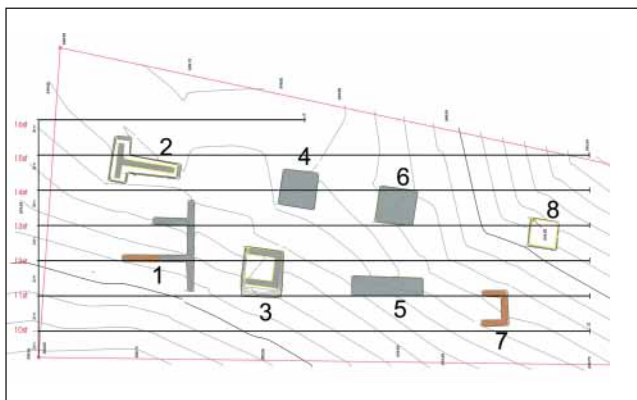


Fig. 4 - Schema e immagine, realizzata in fase di misura, della disposizione degli stendimenti elettrodi con passo 2 m.

Le misure, eseguite con stendimenti Wenner in sequenza multielettrodo, sono apparse fin dall'inizio poco rumorose e caratterizzate da valori medio bassi di resistività apparente in accordo con il valore medio ricavato dall'indagine con lo square array ( $250 \Omega \text{ m}$ ) di cui si dirà in seguito. In alcune pseudosezioni si sono però delineati dei minimi di resistività alquanto singolari che hanno incoraggiato il ricorso ad un trattamento dati più sofisticato e curato di quello normalmente utilizzato. Si è cercata una più spinta correlazione che coniugasse i dati di topografia superficiale con i dati di resistività apparente per arrivare alla ricostruzione del modello geoelettrico tridimensionale del sottosuolo e delle sue eterogeneità.

### 3.1.1 Trattamento, elaborazione e visualizzazione dati

Per l'inversione dei dati raccolti si è optato per il nuovo programma di inversione tridimensionale Ohm Vision Software messo a punto dalla Geostudi Astier (Livorno) e dalla Massively Parallel Technologies, MPT, (Colorado, USA). Un'introduzione alle basi e al funzionamento di questo software sono forniti nel capitolo 4, espressamente dedicato all'inversione tridimensionale.

La processazione ha prodotto un file composto da più di 11000 dati, la visualizzazione finale, pur essendo resa possibile e versatile anche da parte di OhmVision, è stata realizzata tramite la tecnologia EVS, Environmental Visualization System dell'azienda americana C Tech. Questo software consente sia di creare modelli, bi- e tridimensionali, di distribuzione di parametri ambientali (partendo da dati chimici; geologici e idrogeologici) grazie al ricorso a operatori statistici (quali il kriging), sia di rappresentare spazialmente il campo di dati secondo la formula ritenuta più efficace (fig. 5 e 6).

### 3.2. Prospezione Wenner a passo 0.30 m

Disponendo ormai dei dati al contorno, è stata condotta, limitatamente alla porzione meridionale dell'Area Test, una tomografia di dettaglio. Per raccogliere un numero rappresentativo di dati sono stati stesi, in direzione grossomodo E-W, 9 stendimenti multielettrodo a 64 elettrodi (passo interelettrodo di 0.30 m) per una lunghezza totale di ciascun allineamento pari a 18.9 m (fig. 7). Si sono raccolti più di 3200 valori significativi di resistività apparente organizzati nelle relative pseudosezioni. Queste, visionabili in tempo reale sullo schermo del computer di controllo, mostravano già di per sé anomalie ben definite come quella in corrispondenza del target raffigurante una cavità ma materializzato da un blocco di polistirolo (fig. 8) e della piattaforma in cemento armato.

Anche in tal caso, pur ottenendo, grazie alla bontà dei dati, buoni risultati già con la classica inversione bidimensionale, si è optato per la processazione dei dati col Software OhmVision.



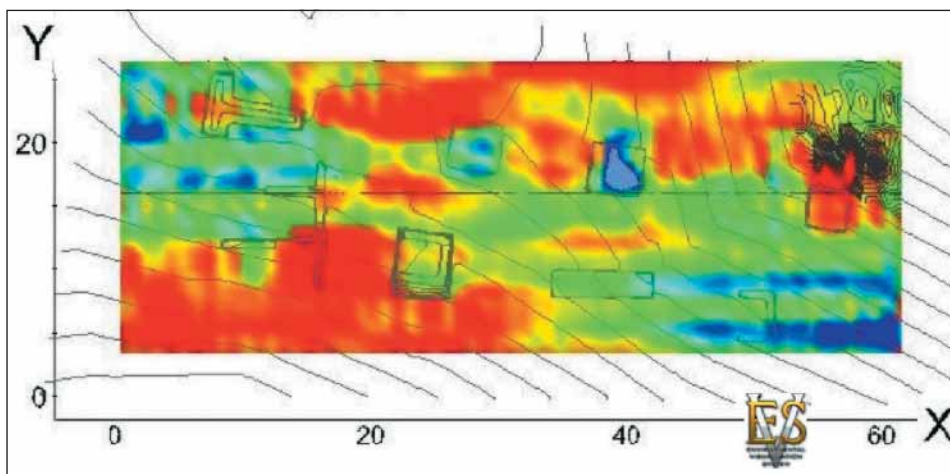


Fig. 5 - Vista azimutale della porzione superficiale della tomografia elettrica a passo 2 m in cui si riconoscono le zone rosse ad elevata resistività correlabili ai riempimenti antropici in materiale grossolano.

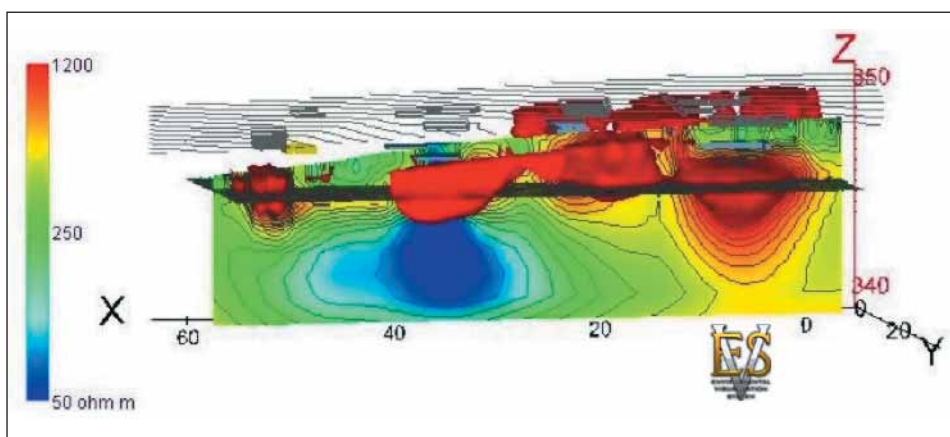


Fig. 6 - Vista laterale del modello 3d sezionato con un piano verticale che evidenzia la presenza di una probabile perdita idraulica (in blu) in prossimità della platea in cemento armato.

### 3.2.2. Trattamento, elaborazione e visualizzazione dati

Il modello finale, frutto dell'inversione tridimensionale, disegna le strutture sepolte in modo sorprendentemente efficace sia nei casi definibili più evidenti sia in quelli più difficili (l'acciottolato ha una geometria tabulare rispetto alle altre strutture e una risposta elettrica simile a quella del materiale grossolano inglobante). Anche in tali casi, non solo sono state ben definite (in spessore e

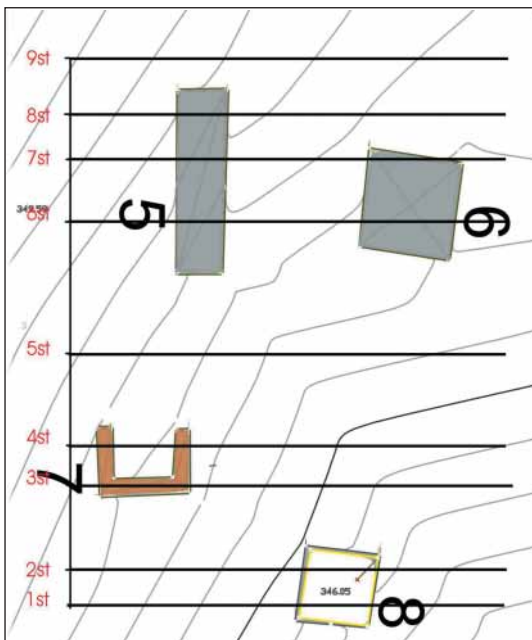


Fig. 7 - Schema e particolare, realizzato in fase di misura, della disposizione degli stendimenti elettrodi con passo 0,30 m.



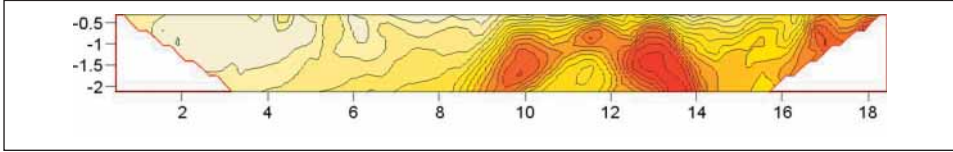


Fig. 8 - Pseudosezione in resistività apparente relativa allo stendimento n. 1 che intercetta, tra le progressive 8-14 m, il vuoto simulato con elementi cubici di polistirolo.

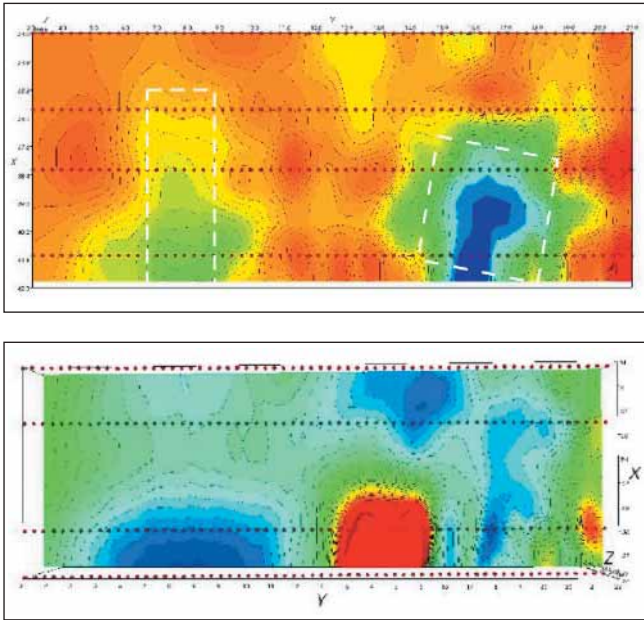


Fig. 9 - L'alto resistivo (in rosso) modella nettamente lo spazio occupato dal polistirolo (immagine sotto) e il basso resistivo corrispondente alla platea in cemento armato (immagine sopra), in tal caso si vede come l'inversione «senta» anche l'orientamento della struttura. Sempre nella figura sopra risulta leggibile, con l'ausilio delle iso-resistive, la forma allungata della strada in acciottolato. Entrambe le immagini sono screenshot del modello realizzato col Software OhmVision.

orientazione) e correttamente collocate le strutture come la n. 6 e n. 8. Eclatante si è manifestato il caso della struttura n. 5, non rilevata dalle pseudosezioni bidimensionali che la intercettavano, ma che è stata invece evidenziata e resa riconoscibile dopo il trattamento di inversione tridimensionale (fig. 9). Mancando infatti il forte contrasto di resistività non è stato possibile delimitare il volume della struttura 5 ma comunque l'algoritmo di inversione ha «sentito» la presenza di questa anomalia di ordine inferiore e l'ha segnalata, essa è stata poi evidenziata anche graficamente tramite l'inflexione delle iso-resistive. Ciò è stato possibile grazie all'elevata risoluzione del modello (cella di dimensioni sufficientemente piccole) diretta conseguenza della maglia di acquisizione e della qualità dei dati di partenza (fig. 10).

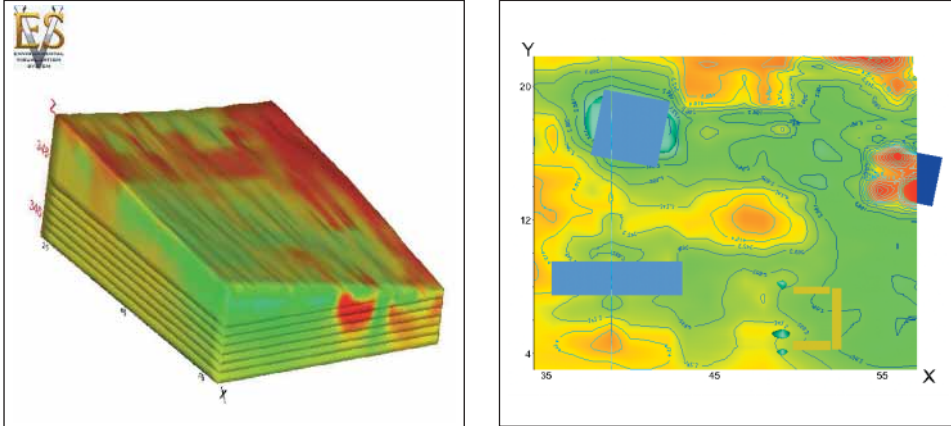


Fig. 10 - A destra si ha la vista azimutale lungo un piano orizzontale della tomografia di dettaglio, mentre a sinistra si propone l'intero modello geoelettrico del sottosuolo per evidenziare come le anomalie alto resistive superficiali siano dovute al materiale grossolano presente, ma la forma allungata vada imputata all'acquisizione secondo quadripoli Wenner e al relativo rumore laterale propagato con la cella da 0.30 perpendicolarmente alla direzione di misura. Entrambe le immagini sono *screenshot* di alcune delle possibili visualizzazioni realizzate col Software EVS.

### 3.3 Applicazione dello square array

Si è scelto di testare la capacità dello square array nel determinare l'assetto strutturale del substrato roccioso in un settore dell'area test non interessato da bersagli. Anche in tal caso si disponeva a priori di conoscenze sull'andamento del bedrock utili a testare il metodo: il substrato roccioso è stato infatti intercettato durante lo scavo per la messa in opera di alcuni target e risultato in accordo con la situazione geologica locale caratterizzata da un'immersione media degli strati a NNW.

A supporto dell'applicazione si sono utilizzati i lavori di Habberjam et al. in cui si illustra la teoria (fig. 11) dell'utilizzo nella prospezione geoelettrica dello square array e si evidenzia il potere risolutivo di tale dispositivo nei confronti di discontinuità e anisotropie subsuperficiali.

A differenza degli altri dispositivi l'arrangiamento quadrato offre il vantaggio di indagare la medesima struttura sotto diverse orientazioni (fig. 12) e di calcolarne il coefficiente di anisotropia ( $\gamma$ ): se tale valore è prossimo o uguale a zero il mezzo è omogeneo altrimenti esso sarà tanto più grande quanto più è spiccata l'eterogeneità.

Lavori di ricercatori americani (HABBERJAM *et alii.*; LANE *et alii.*) illustrano esempi di applicazione (fig. 13) su substrati caratterizzati da discontinuità primarie (stratificazione) e secondarie (fessurazione), dove l'indagine con lo square

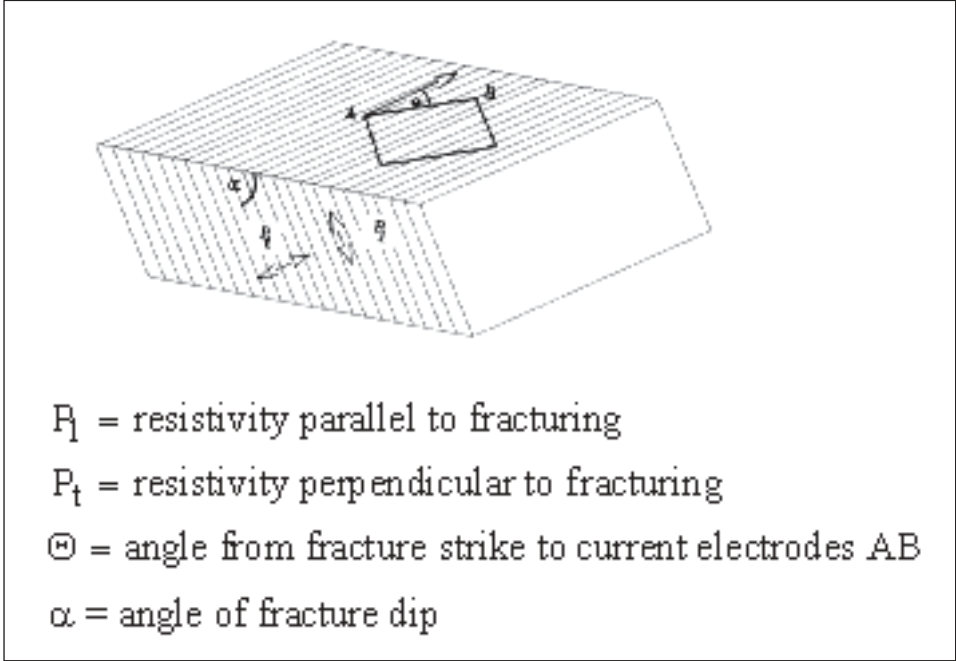


Fig. 11 - Modello di terreno omogeneo e anisotropo (modificato e ristampato da Habberjam, 1972).

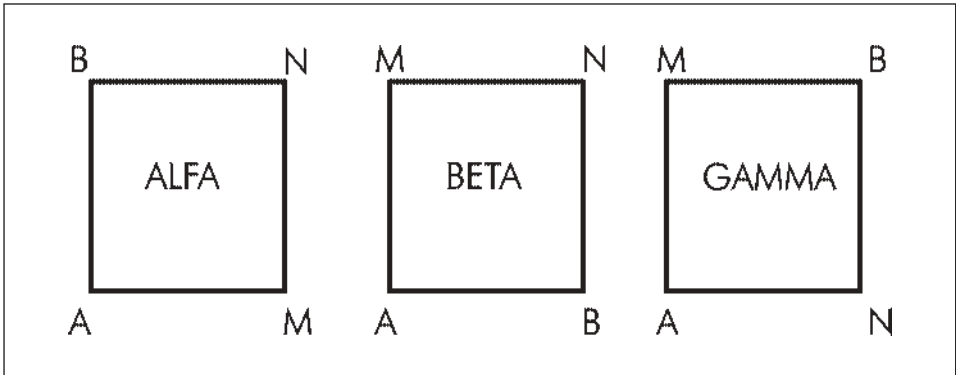


Fig. 12 - Disposizione degli elettrodi nell'arrangiamento quadrato: preso un set di 4 elettrodi posti ai vertici di un quadrato, sono possibili 3 diverse configurazioni elettrodeiche: due perpendicolari (ALFA,  $\alpha$ , e BETA,  $\beta$ ) ed una in diagonale (GAMMA,  $\gamma$ ), che quantifica il grado di anisotropia del sottosuolo. immagine.

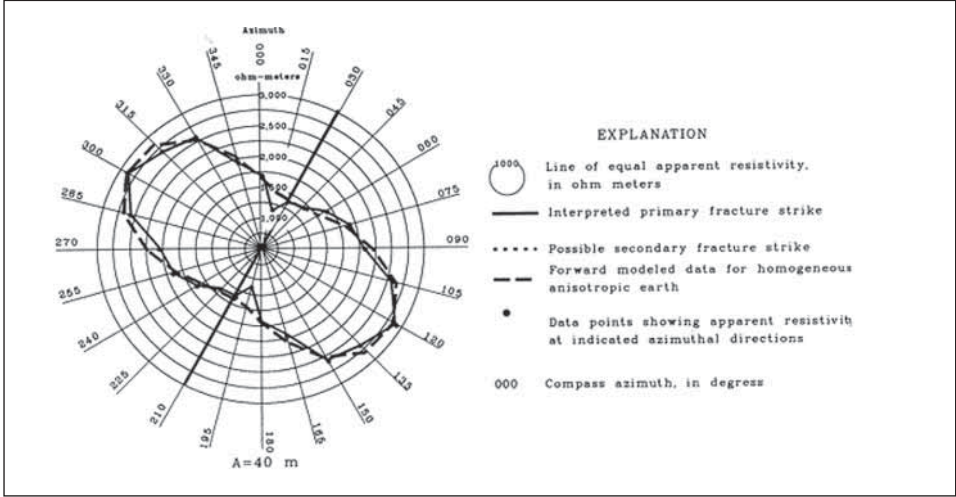


Fig. 13 - Esempio di misure di resistività apparente azimutale raccolte con lo square array nel sito di Priest (U.S. Geological Survey fractured bedrock research site, Mirror Lake, New Hampshire). Modificato da Haeni *et alii.*, 1993.

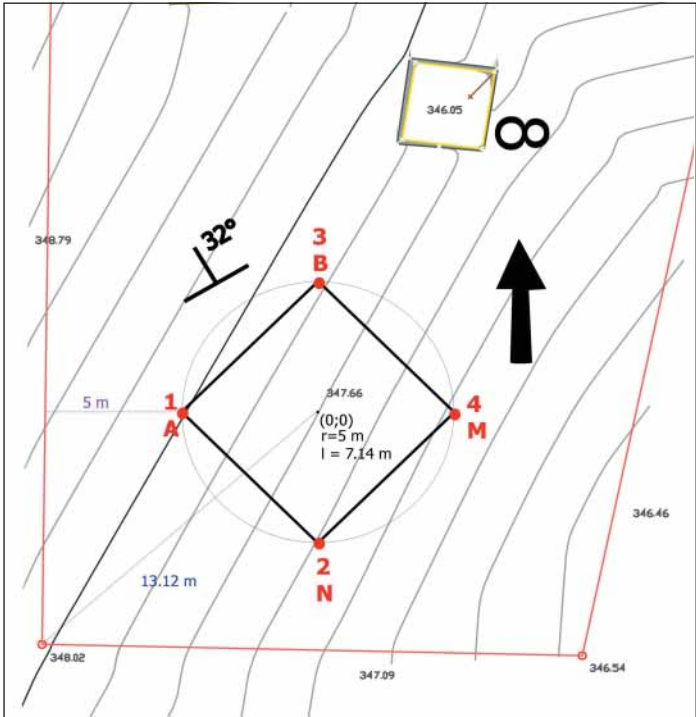


Fig. 14 - Collocazione spaziale del primo quadrupolo di misura a sud del bersaglio n. 8 (polistirolo), e relativi parametri geometrici.

array è volta anche a ricavare informazioni indirette sulla porosità secondaria dell'unità litoide.

### 3.3.1 Raccolta e trattamento dati

Per l'investigazione dell'assetto sepolto, l'arrangiamento quadrato presenta delle particolarità rispetto all'applicazione classica: il quadrato viene inscritto in una circonferenza (per la quale si è scelto un raggio di 5 m, considerata la modesta profondità media a cui si trova, nel caso in esame, il substrato roccioso) all'interno della quale viene fatto progressivamente ruotare. L'indagine è consistita nella ripetizione della misura di resistività (secondo le disposizioni  $\pm$ ,  $^2$  e  $^3$ ) per ogni posizione occupata dal quadrato dopo una rotazione di  $15^\circ$  rispetto al centro del dispositivo (fig. 14); per diminuire i tempi legati alle operazioni di allestimento della misura si è sfruttato il fatto di lavorare con strumentazione multielettrodo implementando adeguatamente il software di acquisizione dati e sistemando lungo la circonferenza direttamente i 24 elettrodi necessari. Ogni misura è stata poi riferita alla direzione azimutale congiungente gli elettrodi di corrente (A, B).

L'interpretazione grafica dei dati, ottenuta mediante diagramma polare a rosetta, evidenzia una zona di massimo di resistività apparente con trend  $150^\circ$ - $330^\circ$ . Lo strike del set principale di discontinuità è perpendicolare a tale direzione e vale: **N60E**, in perfetto accordo con la situazione rilevata in loco (fig. 15).

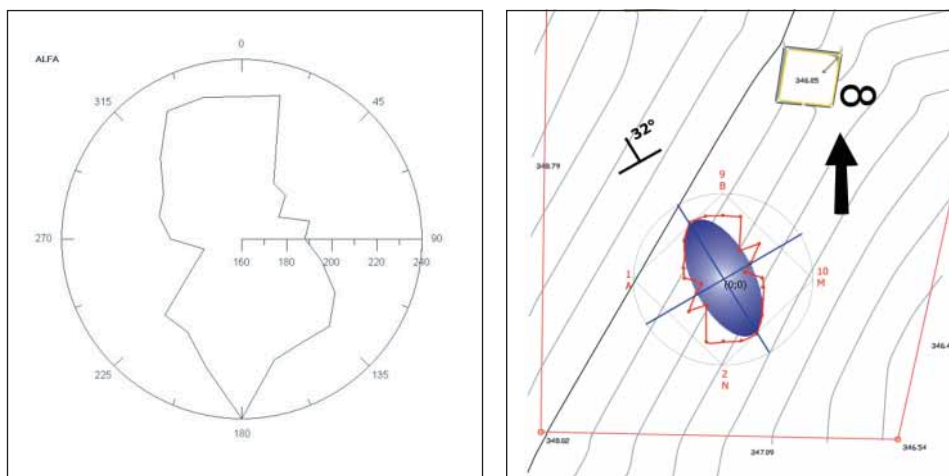


Fig. 15 - A sx esempio di diagramma a rosetta ottenuto per l'acquisizione alfa con 24 rotazioni; a dx i risultati finali sono correttamente orientati rispetto all'azimuth reale.



## 4. INVERSIONE TRIDIMENSIONALE DEI DATI

### 4.1. Software *OhmVision*

Nella pratica dell'interpretazione di misure geofisiche il passaggio dalle due alle tre dimensioni si caratterizza per un aumento di complessità che non è di tipo lineare. La progettazione della campagna di misure, l'esecuzione delle stesse e l'interpretazione dei dati acquisiti richiedono competenze e strumenti spesso difficili da gestire. Dal punto di vista prettamente interpretativo un programma che consenta di invertire in 3D offre tutta una serie di vantaggi nei confronti di algoritmi di inversione 2D, in particolare quando:

- la **topografia** dei terreni investigati sia spiccatamente 3D: in questo caso gli effetti del contesto morfologico sulle misure sono considerevoli, visto che, per esempio, punti di «alto topografico» possono implicare focalizzazioni del campo elettrico, alterando sensibilmente l'andamento delle linee di potenziale nel sottosuolo rispetto a contesti piani;
- il contesto **geologico** presenti **variazioni laterali più o meno brusche** (faglie, eteropie di facies, ...) che rendono inadeguata l'ipotesi di invarianza nella terza dimensione delle caratteristiche geologiche. Questo aspetto ha grande valenza anche nelle applicazioni ambientali, archeologiche o di ingegneria civile, quando l'indagine del sottosuolo è volta a mettere in evidenza strutture 3D;
- le interpretazioni 2D a volte producono anomalie fittizie (**artefatti**): si pensi al caso in cui un profilo 2D risente della presenza di una forte anomalia collocata a qualche metro di distanza dal profilo stesso: la sensibilità della sezione invertita a tali variazioni «lontane» può dare luogo ad artefatti ed errori nell'interpretazione.

A fronte dei vantaggi sopra elencati è indubbio che il passaggio all'interpretazione 3D comporti, come detto, un aumento di complessità dovendo gestire modelli della realtà investigata con molti più parametri. Ciò ha come conseguenza il maggiore peso in termini di **costi ed efficienza computazionale** (e quindi di velocità) che un tale tipo di interpretazioni richiede e fa della tomografia elettrica 3D (e dei relativi software interpretativi) uno strumento che va saputo usare con «consapevolezza».

L'interpretazione tridimensionale delle misure effettuate presso l'Area Test «Bosco della Città» di Rovereto è stata condotta ricorrendo al software di inversione 3D *OhmVision*, sviluppato dalla Geostudi Astier s.r.l. in collaborazione con l'americana Multi-Phase Technologies LLC. *OhmVision* che rappresenta uno strumento innovativo nell'interpretazione di misure geoelettriche. Infatti l'algoritmo di modellazione agli **Elementi Finiti Tetraedrici** consente di invertire misure acquisite su terreni con topografia accidentata (il corretto posizionamento planialtimetrico degli elettrodi determina la corretta collocazione nel piano

verticale delle misure raccolte). Inoltre un nucleo di routine basato sull'inversione ai Minimi quadrati con vincolo di smoothness e ripescaggio del rumore consente l'interpretazione robusta e affidabile delle misure di campagna, anche in presenza di livelli considerevoli di rumore.

Il software OhmVision rappresenta inoltre uno **strumento completo** nell'impiego del metodo geoelettrico in quanto permette non solo di invertire i dati acquisiti in campagna, ma anche di pianificare misure di resistività mediante lo strumento di **Survey Planning**, creando sequenze quadripolari per una qualunque disposizione elettroica (profili 2D, griglie tridimensionali, log elettrici in pozzo, combinazioni foro-superficie) ed effettuando il modeling del comportamento resistivo di modelli sintetici definiti dall'utente, compiendo parallelamente l'analisi di sensitività per investigare l'array elettroico più adatto in un dato contesto.

## CONCLUSIONI

Le indagini condotte all'Area Test, mediante di tomografia elettrica, si sono sviluppate secondo tre direttrici in virtù dei vari obiettivi preposti. Essi hanno riguardato la ricostruzione dell'andamento del bedrock sia in termini di ricostruzione della geometria dell'interfaccia con la copertura, sia del riconoscimento delle direzioni geostruurali. Il terzo obiettivo è consistito nell'individuazione dei target sepolti nell'Area Test e posti all'interno della copertura, anche se a volte molto a ridosso del bedrock stesso.

Più precisamente i risultati delle indagini di tomografia elettrica a maglia larga con dispositivo Wenner e con il dispositivo quadrato (square array) relativamente al riconoscimento delle direzioni geostruurali hanno permesso la ricostruzione di un modello tridimensionale del sottosuolo che ben descrive l'esistenza di anomalie locali dovute a cause contingenti (caratteristiche idrauliche del sottosuolo e individuazione di una perdita idraulica nelle vicinanze della platea in cemento con rete elettrosaldata) e alla particolare conformazione geomorfologia del bedrock. Il terzo obiettivo, e cioè l'esecuzione di una dettagliata tomografia a maglie a passo ridotto, è stato abbondantemente raggiunto avendo individuato e limitato anche dimensionalmente la quasi totalità dei bersagli contenuti all'interno del perimetro di indagine (porzione meridionale dell'Area Test).

Il dettaglio della tomografia a maglie a passo ridotto ha poi consentito di individuare e limitare dimensionalmente la quasi totalità dei bersagli contenuti all'interno del perimetro di indagine (porzione meridionale dell'Area Test).

I buoni risultati raggiunti sono anche il frutto dell'impiego di modelli di inversione più sofisticati, che richiedono però una adeguata qualità del dato di partenza commisurata alle esigenze del caso. Nell'indagine della tomografia di

dettaglio si è ad esempio osservato che il dover imporre una determinata dimensione alla cella verticale (in questo caso 0.30 cm) ha determinato la parziale propagazione in profondità degli effetti elettrici propri della zona superficiale più resistiva. Si è comunque notato che ciò non ha eccessivamente influenzato la risposta elettrica del substrato alla profondità di interesse mentre l'identificazione dei target, è avvenuta sfruttando la flessibilità di visualizzazione assicurata dal software EVS che consente di scegliere e quindi operare per livelli «asportando» la porzione superficiale rumorosa, e riducendo l'intervallo di resistività a quello di interesse.

## BIBLIOGRAFIA

- FINOTTI F., ILICETO V. & SALAZZARI L., 2002 - Capacità risolutive di differenti dispositivi elettrodi in ambito del sistema ERS (Electrical resistivity System), sperimentazione su sistemi ridotti. *Annali Museo Civico Rovereto*, vol. 16, pp. 353-369.
- ERMOKHIN K.M., TSOKAS G.N., TSOURLOS P. & GLASUNOV V.V., 1998 - Calculation of the azimuthal inhomogeneity ratio response of 3-D structures using an analytical forward modelling scheme. *Journal of the Balcan Geophysical Society*, vol. 1, n. 4, pp. 53-59.
- HABBERJAM G.M., 1972 - The effects of anisotropy on square array resistivity measurements. *Geophysical Prospecting*, vol. 20, pp. 249-266.
- HABBERJAM G.M., 1975 - Apparent resistivity, anisotropy and strike measurements. *Geophysical Prospecting*, vol. 23, pp. 211-247.
- HABBERJAM G.M., 1979 - Apparent resistivity observations and the use of square array techniques, in Saxov, S., and Flathe, H. (eds.). *Geoexploration Monographs*, Series 1, no. 9, pp. 1-152.
- HABBERJAM G.M. & WATKINS G.E., 1967 - The use of a square configuration in resistivity prospecting. *Geophysical Prospecting*, vol. 15, pp. 221-235.
- ILICETO V., 1971 - On the electrical behaviour of a sample of soil in function of its water content and temperature. *Boll. di Geofis. Teorica ed Applicata*, vol. 13, n. 50, pp. 155-167.
- ILICETO V., FINOTTI F., MANFREDI M. & VALENTE U., 1995 - A new approach to the instrumentation of the multielectrode array for the study of electric resistivity in subsoil. *First Meeting Environmental and Engineering Geophysics*, Torino, 25-27 Settembre, p. 484.
- ILICETO V., MARTINI M. & SALAZZARI L., 2004 - Confronto del potere risolutivo di differenti dispositivi elettrodi mediante misure su modello ridotto. *Supplemento agli Annali*, n. 20 del Museo Civico di Rovereto.
- LANE J. W., HAENI F. P. & WATSON W. M., 1995 - Use of a square array direct current resistivity method to detect fractures in crystalline bedrock in New Hampshire. *Ground Water*, Vol. 33, n. 3, pp. 476-485.

- MARTINI M. 2004 - Valutazione del grado di risoluzione del dispositivo quadrato nella ricerca di strutture subsuperficiali, *Tesi di Laurea inedita*, Univ. di Padova
- ZANDONAI F., 2001 - Potenzialità del sistema multielettrodo nella valutazione di contenuti d'acqua limite in differenti terreni, misure in laboratorio ed in campagna. *Tesi di Laurea in Geofisica*, Corso di Laurea in Scienze Geologiche, Università degli Studi di Padova, A.A. 2000-2001.
- FINOTTI F., ILCETO V. E ZANDONAI F., 2003 - Individuazione del contenuto d'acqua e soglie critiche in arginature mediante tomografia elettrica. *Geologia Tecnica*, n. 4, pp. 18-31.

