

Ann. Mus. civ. Rovereto	Sez.: Arch., St., Sc. nat.	Vol. 16 (2000)	353-369	2002
-------------------------	----------------------------	----------------	---------	------

FRANCO FINOTTI, VITTORIO ILCETO & LORENZO SALAZZARI

CAPACITÀ RISOLUTIVE DI DIFFERENTI DISPOSITIVI
ELETTRODICI NELL'AMBITO DEL SISTEMA ERS
(ELECTRICAL RESISTIVITY SYSTEM)
SPERIMENTAZIONE SU MODELLI RIDOTTI

Abstract - FRANCO FINOTTI, VITTORIO ILCETO & LORENZO SALAZZARI - Resolution of different electrical arrays in the Multielectrode System ERS (Electrical Resistivity System) - Experiments on reduced physical models.

This research compares the different resolution standards of various electrical arrays (Wenner, Dipole -Dipole, Rectangle) by using the Multielectrode System ERS (Electrical Resistivity System) in experiments on reduced physical models simulating buried anthropic structures. It also points out the best arrays according to the different research targets.

Key words: Electrical resistivity, Multielectrode system, Experiments on reduced physical models.

Riassunto - FRANCO FINOTTI, VITTORIO ILCETO & LORENZO SALAZZARI - Capacità risolutive di differenti dispositivi elettrodici nell'ambito del Sistema ERS (Electrical Resistivity System) - Sperimentazione su modelli ridotti.

Utilizzando il sistema multielettrodo ERS (Electrical Resistivity System) su modelli fisici ridotti che simulano strutture di origine antropica sepolte nel primo sottosuolo, il presente lavoro compara il diverso grado di risoluzione offerto dai dispositivi Dipolo-Dipolo, Wenner e Rettangolo proponendone anche un loro uso in rapporto al target indagato.

Parole chiave: Resistività elettrica, Sistema multielettrodo, Simulazione su modelli ridotti.

INTRODUZIONE

Nel campo della prospezione geofisica si assiste ad una continua ricerca di metodi rapidi ed efficaci per lo studio delle caratteristiche fisiche del suolo che consentano di individuare la presenza di corpi e strutture sepolte naturali e/o artificiali, di valutare la variazione litologica in senso orizzontale e verticale e di monitorare la variazione, in funzione del tempo, dei parametri idrogeologici del sottosuolo.

Recentemente, nell'ambito delle prospezioni geoelettriche, ha trovato ampio spazio un nuovo metodo denominato Sistema Multielettrodo che, attraverso un opportuno software, governa l'immissione della corrente elettrica nel sottosuolo e misura le differenze di potenziale su un nutrito numero di elettrodi infissi nel terreno. Il sistema di energizzazione del terreno e di acquisizione dei dati è in grado di abbreviare, rispetto ai metodi geoelettrici classici, i tempi di campagna e della successiva elaborazione dei dati, consentendo di economizzare i costi di esercizio, di effettuare indagini lungo profili e/o aree ampie e di ottenere informazioni di grande precisione relative alla conoscenza del sottosuolo. L'aumento infatti del numero delle informazioni acquisite migliora la precisione con la quale viene rappresentata l'anomalia geoelettrica del sottosuolo e la capacità di risoluzione e di interpretazione sulla geometria delle possibili strutture sepolte.

Mediante sistemi software di trattamento dei dati sono infine realizzabili immagini 2D e 3D che permettono di rappresentare al meglio le variazioni dei parametri indagati, quali la resistività e la caricabilità dei materiali, sia in senso verticale che orizzontale, schematizzando le anisotropie del sottosuolo con grande precisione. Utilizzando le attuali potenzialità dei computer e le sempre più spinte qualità dell'elettronica, i sistemi multielettrodo sono diventati ora più completi ed affidabili.

LE MOTIVAZIONI DELLA COSTRUZIONE DI ERS

La consapevolezza che la conoscenza di un territorio passi attraverso lo studio di fenomeni antropici, fisici e naturalistici, ha portato il Museo Civico di Rovereto a valorizzare in modo paritetico le sue due principali sezioni: quella umanistico archeologica e quella naturalistico scientifica. Per questo motivo nel 1995 si è dato corso al progetto «Archeometria» che ha individuato nel Museo Civico di Rovereto risorse, tecniche e professionalità idonee ad affrontare i problemi sotto diverse ottiche per un corretto approccio multidisciplinare allo studio del territorio.

Anche in campo archeologico, oggi più che in passato, risulta indispensabile proporre, a fianco dei tradizionali metodi di scavo, una conoscenza preliminare

del sito indagato, che integri le conoscenze dell'archeologo per una corretta pianificazione dello scavo.

I metodi geofisici rientrano quindi a pieno titolo nel nuovo *trend* culturale «archeometrico» ben evidenziato dall'espressione «Archeologia senza scavo», offrendo, per la rilevazione di corpi o strutture sepolte, sistemi non invasivi di indagine ad alta risoluzione. Per questo il progetto Archeometria, tra le principali finalità, si propone anche di individuare le tecniche di prospezione più utili ed efficaci nello studio delle zone di interesse archeologico. Poiché, come si è accennato, i metodi elettrici si sono recentemente arricchiti di nuove tecnologie, quali quelle offerte dal Sistema Multielettrodo, alcuni degli Autori del presente lavoro si sono dedicati alla progettazione e alla costruzione di un avanzato Sistema Multielettrodo denominato ERS (Electrical Resistivity System) (ILICETO V., FINOTTI F., MANFREDI M. & VALENTE U. 1995). La strumentazione ERS prende quindi lo spunto da una lunga serie di esperienze geofisiche applicate sia a problematiche di ingegneria civile e ambientale che a tematiche archeologiche, dove l'integrazione di diversi metodi di campagna e la possibilità di trattare quantità di dati rilevanti, risulta determinante per la corretta interpretazione delle misure e per l'individuazione di particolari strutture sepolte. La rapidità nella rappresentazione della distribuzione delle anomalie, nonché la facilità di esportare i dati in altri ambienti software, permette all'operatore di effettuare immediate scelte sulla migliore disposizione elettrodica, razionalizzando il lavoro di campagna e facilitando misure sempre più significative soprattutto nell'ambito di indagini che prevedono un'accurata precisione nell'individuazione del bersaglio. Inoltre la facilità e la rapidità nella rappresentazione dei dati e la loro immediata leggibilità, facilita il dialogo tra il geologo e le altre figure professionali chiamate a interpretare nel miglior modo possibile l'anomalia geofisica. In sintesi il controllo in tempo reale della qualità delle misure geoelettriche e la loro rapida rappresentazione sono stati i temi dominanti nella progettazione di ERS.

Vantaggi e caratteristiche del sistema ERS (Electrical Resistivity System).

Il sistema multielettrodo si avvale di uno strumento di misura composto da diversi canali di acquisizione (normalmente 64) ai quali vengono collegati altrettanti elettrodi disposti sul terreno secondo gli usuali dispositivi (Wenner, Dipolo-Dipolo, Schlumberger ecc.), da un computer portatile che assolve le funzioni di gestione del sistema di acquisizione e di immagazzinamento dei dati e da una sorgente di corrente continua volta all'energizzazione del terreno.

Nel corso di un'indagine il dispositivo di misura prescelto viene fatto scorrere lungo il profilo di misura o sull'area da investigare in maniera automatica utilizzando l'intero set di elettrodi. Gli elettrodi vengono sistemati mediante l'adozione di un opportuno passo, o distanza interelettrodica, che generalmente

viene mantenuto costante durante l'intera indagine. Come è noto, in prima approssimazione, la profondità di indagine viene valutata in base alle dimensioni dei dispositivi elettrici ed è quindi condizionata dal numero di canali di acquisizione e dal passo prescelto.

Un software di comando seleziona gli elettrodi nelle loro funzione di energizzazione e misura del potenziale che sono resi operativi secondo le modalità del quadripolo scelto.

Col sistema ERS è possibile ottenere, già in campagna, una prima immagine elettrica del sottosuolo in resistività apparente che, mediante opportuni algoritmi di inversione, verrà successivamente trasformata in resistività reale attinente alle strutture esistenti nel sottosuolo.

Il Software di acquisizione permette all'operatore il controllo di tutti i parametri in gioco. Questa procedura, associata alla rapidità nella rappresentazione della distribuzione delle anomalie ed alla facilità di esportare i dati in altri ambienti software, consente anche di effettuare immediate scelte circa la migliore disposizione elettrodica, razionalizzando così il lavoro di campagna ed eseguendo misure più significative soprattutto utili in quelle indagini che necessitano di un'accurata precisione nell'individuazione del bersaglio.

Architettura del sistema ERS

Il sistema ERS è suddiviso in due moduli principali: A. Modulo di misura e B. Modulo elaboratore.

La filosofia operativa è quella di permettere all'operatore l'effettivo controllo della misura in ogni sua fase, rendendo così possibile la valutazione della qualità dei dati acquisiti in funzione dei disturbi e delle grandezze fisiche in gioco (Fig. 1).

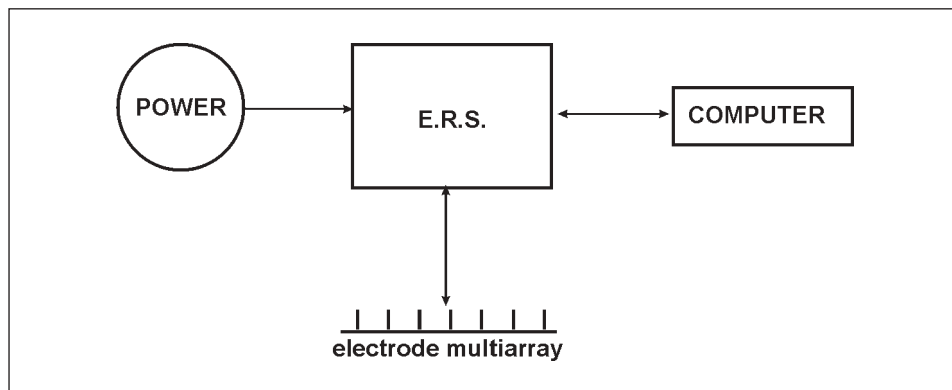


Fig. 1 - Schema funzionale dell'apparecchiatura ERS (Electrical Resistivity System).

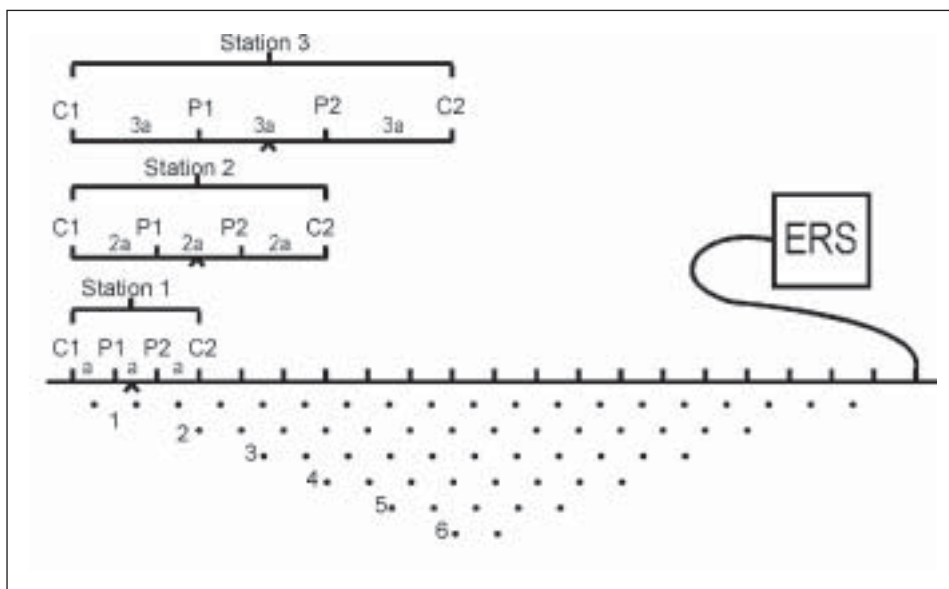


Fig. 2 - Sistema di acquisizione dei dati (modulo di misura) secondo il Sistema Multielettrodo ERS nel caso di utilizzo del dispositivo Wenner. Esempio di sequenza automatica di misure nella creazione di una pseudosezione (Da Griffiths, 1990 - modificato).

Ciascun modulo presenta diverse caratteristiche e fornisce servizi diversi.

A. *Modulo di misura*

Energizzatore: 12 - 200 D.C. Volt, batterie ricaricabili o gruppo elettrogeno.
 Matrice di commutazione: 4 righe (2 per l'energizzazione e 2 per la misura di tensione) per 16 colonne (elettrodi), ogni colonna può essere connessa ad una delle quattro righe tramite comando dal computer; interblocco sui comandi di energizzazione per evitare il corto circuito in caso di comandi errati; batterie ricaricabili o gruppo elettrogeno.

Il modello base presenta la connessione automatica di n. 2 matrici con la possibilità di ulteriore espansione: fino a 4 (32, 48, 64 elettrodi) all'interno del modello base e multipli di 4 in moduli esterni (128, 192 ecc).

Misura di tensione: 0-2000mV; protezione alle sovratensioni in input fino a 240 Vrms; conversione analogica - digitale a 16 bit.

Misura di corrente: 0-600mA; conversione analogica - digitale a 16 bit.

B. *Modulo elaboratore*

Il modulo elaboratore (parte software) permette il controllo del modulo di misura (Fig. 2), soddisfa le richieste dell'operatore sia per quanto riguarda l'acquisizione dei dati di campagna che la loro memorizzazione, archiviazione ed elaborazione.

I principali blocchi funzionali sono i seguenti:

- Archiviazione
- Misurazione
- Dispositivi elettrici
- Visualizzazione (video o stampante)
- Elaborazione
- Esportazione dei dati

La totale integrazione di questi blocchi è la principale caratteristica di questo modulo e di tutta la progettazione di ERS compresa la possibilità di impostare a piacere (Fig. 3):

- a) il ritardo necessario per misurare a regime;
- b) il numero di acquisizioni a regime;
- c) la frequenza di acquisizione;
- d) il ritardo tra il segnale di energizzazione diretto e inverso;
- e) il numero di campioni letti per ogni misura;
- f) il ritardo tra un campione e l'altro;
- g) il ritardo di misura (tempo che intercorre tra le misure di una sequenza).

SPERIMENTAZIONE SU MODELLI RIDOTTI

La versatilità del Sistema Multielettrodo ERS, ha permesso di istituire un progetto di sperimentazioni al fine di studiare e verificare il comportamento di tre dispositivi elettrici classici, quali Wenner, Dipolo - Dipolo e Rettangolo, sia su modelli fisici ridotti che in campagna in situazioni reali.

Nella ricerca di corpi sepolti la qualità dei risultati è spesso condizionata dalla scelta del dispositivo elettrico impiegato dato che le scelte del dispositivo e delle sue dimensioni, possono concorrere all' esatta individuazione della geometria del corpo presente nel sottosuolo. Per questo motivo l' utilizzo in laboratorio di modelli fisici ridotti, dove poter effettuare sperimentazioni secondo condizioni conosciute e controllate, ha permesso di valutare con precisione l' efficacia e il grado di risoluzione di alcuni tra i più comuni dispositivi elettrici e del loro dimensionamento in funzione del *target* considerato.

Confronto fra diversi dispositivi

Per effettuare questo studio si è creato in laboratorio un modello fisico ridotto che simula una struttura muraria a forma di ferro di cavallo (delle dimensioni di due centimetri sia in larghezza che in altezza) sepolta da una coltre argillosa di alcuni centimetri. È stato a tal fine costruito un contenitore in legno, delle dimensioni di 60x60 e di 30 cm di altezza, all'interno del quale, sopra uno strato basale di sabbia, si è poggiato quindi il muretto in sassi a forma di ferro di cavallo ricoperto da argilla umida allo scopo di creare un maggior contrasto tra l' argilla (conduttiva) ed il muretto (resistivo) e garantire un migliore contatto tra

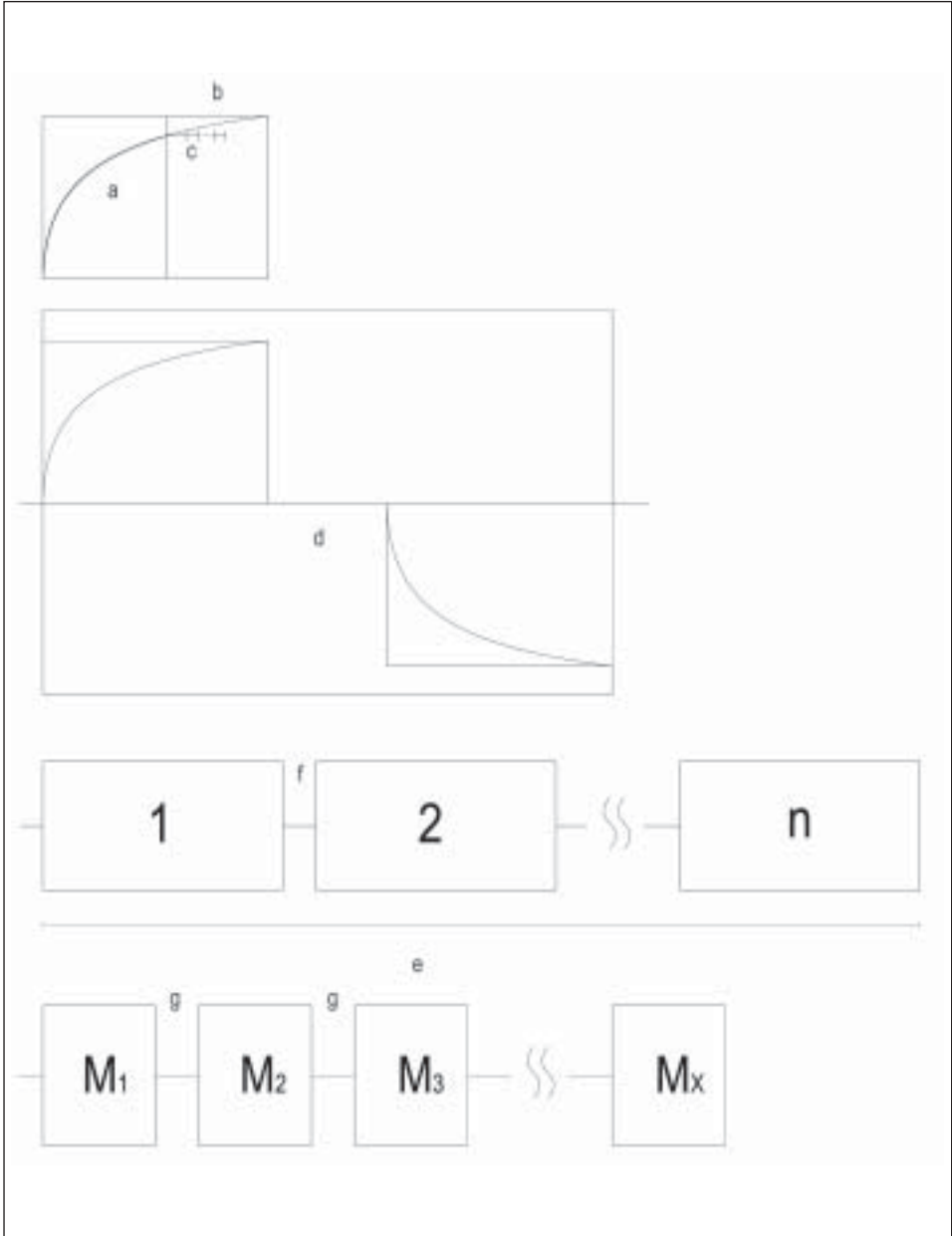


Fig. 3 - Schema che illustra le possibilità dell'operatore di modificare e controllare i seguenti parametri: a) il ritardo necessario per misurare a regime; b) il numero di acquisizioni a regime; c) la frequenza di acquisizione; d) il ritardo tra il segnale di energizzazione diretta e inversa; e) il numero di campioni letti per ogni misura; f) il ritardo tra un campione e l'altro; g) il ritardo di misura (tempo che intercorre tra le misure di una sequenza).

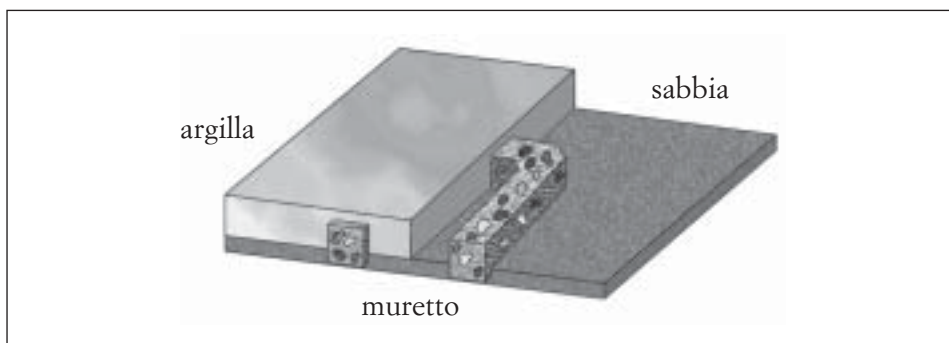


Fig. 4 - Illustrazione schematica del modello fisico ridotto che simula una struttura muraria sepolta (muretto), a forma di ferro da cavallo, fondato in sabbia e ricoperto da un livello di argilla. La disposizione raffigurata è presa come riferimento per l'orientazione dei profili elettrici seguendo convenzionalmente i quattro punti cardinali.

il terreno e gli elettrodi (Fig. 4). La parte più alta del muretto era così coperta da un centimetro di argilla.

Sulla superficie in argilla è stata stesa una griglia isolante in plexiglas con 1024 fori ad intervalli di un centimetro, formando 32 righe per 32 colonne in modo da posizionare gli elettrodi con grande precisione e secondo profili referenziati rispetto alla struttura sepolta e alla geometria del cassone.

L'insieme delle misure vengono automaticamente visualizzate in grafico in modo da creare: *cross-sections*, unendo i dati di tutte le profondità provenienti da una singola linea di misura e *slices*, unendo maglie di valori appartenenti a uguali profondità di indagine e derivanti da profili paralleli adiacenti oppure dall'unione di profili tra loro perpendicolari.

L'analisi delle *cross-sections* e delle *slices* consente sia di seguire l'evoluzione areale delle anomalie elettriche legate ai corpi presenti nel sottosuolo, sia a valutare il grado di efficienza del dispositivo elettrico adottato nel disegnare la struttura sepolta.

ESECUZIONE DELLE MISURE IN LABORATORIO

Sul modello fisico ridotto, di cui si sono descritte le principali caratteristiche, sono state eseguite diverse misure geoelettriche, col Sistema Multielettrodo ERS, volte a definire la conoscenza areale e verticale della distribuzione della resistività elettrica apparente calcolata per lo più secondo profili disposti in maniera parallela ed ortogonale alla struttura muraria inserita nel modello.

L'esame comparato delle matrici della resistività elettrica apparente ottenute

con i diversi dispositivi elettrici utilizzati, sia in situazione di omogeneità del sottosuolo, lontano cioè dalla struttura muraria (situazione di «bianco») (Fig. 5a) sia in corrispondenza della struttura sepolta, hanno cercato di documentare la capacità di risoluzione dei dispositivi stessi e la loro efficienza nel saper collegare le anomalie elettriche alla precisa localizzazione e alla geometria delle mura sepolte.

VALUTAZIONE DEL DISPOSITIVO PIÙ IDONEO

Nel corso della sperimentazione su modelli fisici ridotti sono stati utilizzati tre dispositivi elettrici di cui due, il dispositivo Wenner e Dipolo-Dipolo, per indagini lungo *cross-sections*, ed un terzo, il dispositivo Rettangolo, per la prospezione areale.

Dispositivo Wenner. Con questo dispositivo si sono eseguiti profili di misura secondo varie direzioni (arbitrariamente denominate Nord-Sud, Est-Ovest e Diagonale) utilizzando diverse distanze interelettrodiche da uno a cinque centimetri, al fine di valutare la loro capacità di rappresentare ed individuare le strutture sepolte.

Analizzando le *cross-sections*, si può notare che quelle ottenute utilizzando un passo di campionamento di un centimetro permettono di visualizzare al meglio la presenza e l'esatta geometria delle zone anomale (Fig. 5). In particolare risulta evidente che le anomalie elettriche, raffigurate nella *cross-sections* derivante da un profilo di misura secondo passo di campionamento di un centimetro posto in posizione centrale rispetto al modello ed eseguito in direzione Est-Ovest (Fig. 5b), bene evidenziano l'intercettazione dei due muri paralleli della struttura sepolta a forma di ferro da cavallo.

Con passo di campionamento di due centimetri (Fig. 5c) le anomalie di resistività evidenziavano ancora la presenza delle strutture murarie anche se con una geometria meno attinente alle reali dimensioni del modello.

Anche le *slices* derivanti dai dati ottenuti per quattro livelli con passo di campionamento pari ad un centimetro hanno permesso di rilevare l'esatta forma areale della struttura sia per maglie ottenute dall'unione dei profili Est-Ovest (Fig. 6a) che Nord-Sud (Fig. 6b).

Le *slices* dei dati acquisiti, con passo di campionamento da tre a quattro centimetri, consentono ancora di rilevare la presenza della struttura, mentre con passi da quattro e da cinque centimetri si introduce un effetto di *aliasing* che riduce di molto la leggibilità dell'anomalia. In questi casi unificando i dati provenienti da due serie di profili tra loro perpendicolari si ottiene nuovamente una buona immagine della struttura.

Utilizzando il dispositivo Wenner si sono anche create delle matrici con i dati provenienti da profili di misura eseguiti diagonalmente rispetto all'orienta-

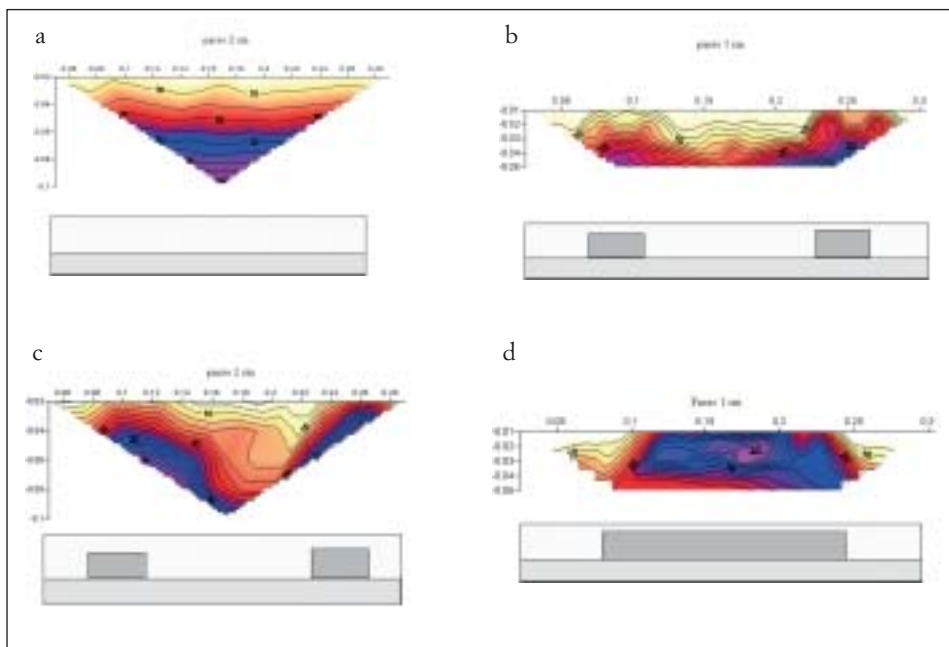


Fig. 5 - Comparazione di alcune *cross sections* ottenute con il dispositivo Wenner a passo elettronico variabile da uno e due centimetri e relative a profili eseguiti in posizione: a) trasversale (Est-Ovest) in ambiente indisturbato senza la presenza del muretto (passo due centimetri); b) trasversale (Est-Ovest) e centrato rispetto alla struttura sepolta (passo un centimetro); c) trasversale (Est-Ovest) e centrato rispetto alla struttura sepolta, ma a passo doppio rispetto al precedente (passo due centimetri); d) longitudinale (Nord-Sud) e centrato rispetto alla struttura sepolta (passo un centimetro); e) longitudinale (Nord-Sud) e parallelo ad uno dei muri sepolti in direzione Nord-Sud (passo un centimetro).

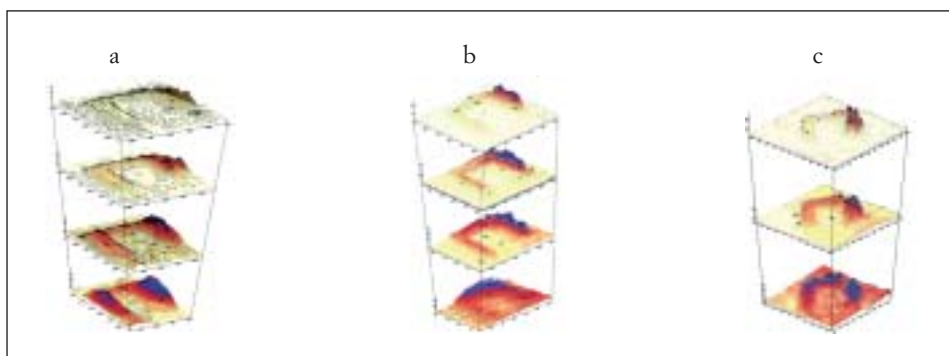


Fig. 6 - *Slices* ottenute dai profili Wenner con passo di campionamento variabile da uno a quattro centimetri eseguiti: a) secondo la direzione Est-Ovest; b) secondo la direzione Nord-Sud; c) secondo direzione dei profili a 45° rispetto le principali direzioni (Nord-Sud; Est-Ovest).

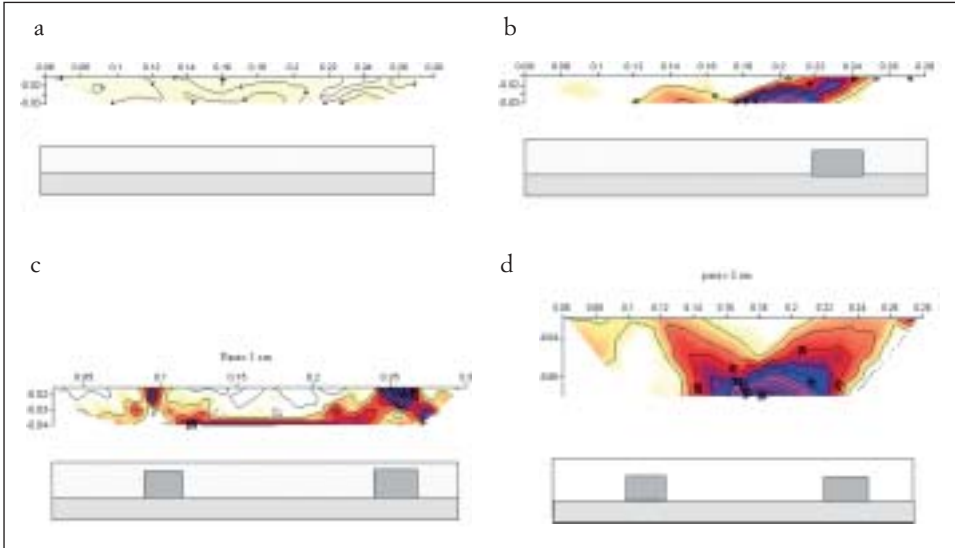


Fig. 7 - Comparazione tra le *cross-sections* ottenute con il dispositivo Dipolo - Dipolo ed eseguite secondo direzioni Nord-Sud ed Est-Ovest con dimensione dei Dipoli che variano tra uno e due centimetri. a) profilo eseguito in posizione trasversale (Est-Ovest) in ambiente indisturbato senza la presenza del muretto (dimensione dipoli un centimetro); b) profilo eseguito longitudinalmente (Nord-Sud) e centrato rispetto alla struttura sepolta (dimensione dipoli un centimetro); c) profilo eseguito in posizione trasversale (Est-Ovest) centrale alla struttura che bene evidenzia le due sezioni dei muri attraversati (dimensione dipoli un centimetro); d) analoga situazione del profilo c) ma con le dimensioni dei dipoli pari a due centimetri.

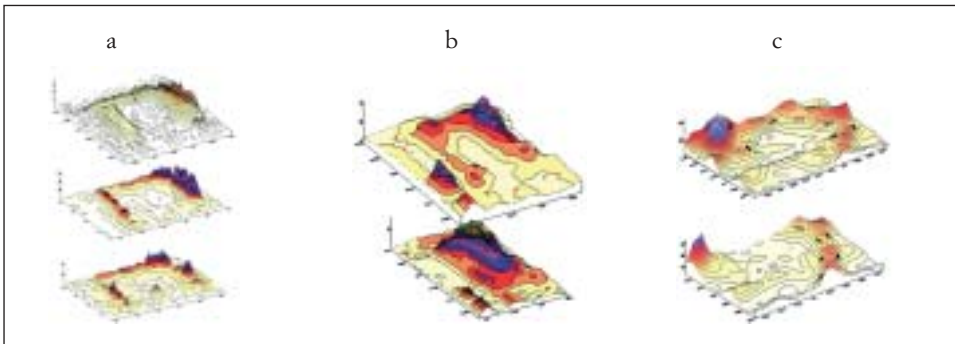


Fig. 8 - Comparazione di sequenze di *slices* ottenute grazie al dispositivo Dipolo - Dipolo con passo di campionamento da uno a due centimetri. a) sequenza di *slices* ottenute da profili di direzione Est-Ovest con passo di campionamento pari a un centimetro; b) sequenza di due livelli di *slices* ottenute da profili di direzione Est-Ovest con passo di campionamento pari a due centimetri; c) *slices* ottenute da profili inclinati di 45° rispetto le direzioni ortogonali con passo di campionamento pari a un centimetro.

zione della maglia di punti utilizzata. I profili di misura si sono svolti secondo la direzione Nord/Ovest-Sud/Est con passo di campionamento pari ad un centimetro. Si può notare (Fig. 6c) come il dispositivo Wenner mantiene un'ottima risoluzione anche se l'orientazione del profilo di misura non è concorde all'orientazione della struttura sepolta. In più, rispetto alle *slices* ottenute con i dati provenienti dai profili di resistività elettrica acquisiti secondo direzioni ortogonali alla struttura, si nota che la rappresentazione delle anomalie visualizza la geometria del muro sepolto anche a profondità 3 volte il passo elettrodo. Con le matrici ricavate dei dati dei profili ortogonali aumentando il passo di campionamento si corre il rischio di perdere il segnale proveniente dalle strutture parallele alla direzione dei profili, mentre inclinando la direzione degli stessi questo rischio si fa più remoto.

Dispositivo Dipolo - Dipolo. Con il dispositivo Dipolo - Dipolo si sono eseguiti profili utilizzando distanze dipolari di uno e due centimetri secondo le direzioni principali di misura, Nord-Sud, Est-Ovest e secondo la diagonale del contenitore.

Comparando le *cross-sections* ottenute con dimensione dei Dipoli pari ad un centimetro (Figg. 7b e 7c) si nota che le strutture sepolte vengono rilevate in maniera ottimale, mentre utilizzando una dimensione dipolare di due centimetri le anomalie, legate alle due strutture murarie sepolte, generano un'unica area anomala che converge in posizione centrale per poi unificarsi in profondità (Fig. 7d).

Tutta l'analisi porta ad evidenziare che l'insieme dei dati provenienti dai profili e dalle *Slices* ed ottenuti con distanza dipolare di un centimetro, bene individuano la struttura (Fig. 8a), mentre con una distanza dipolare anche leggermente superiore la diminuzione nella quantità dei dati e l'aumento nelle dimensioni dei dipoli provocano una forte perdita di leggibilità del collegamento tra anomalia elettrica e geometria della struttura sepolta (Fig. 8b).

In sintesi dalle *slices* provenienti dai dati ottenuti con il dispositivo Dipolo - Dipolo si rileva uguale comportamento riscontrato nelle *cross-sections*. Con passo di campionamento di un centimetro si riesce infatti a rappresentare molto bene la geometria della struttura sepolta, mentre le medesime misure eseguite con passo di due centimetri producono una vistosa perdita di dettaglio.

Come per il dispositivo Wenner, anche per il dispositivo Dipolo - Dipolo si sono create delle matrici con i dati provenienti da profili orientati a 45° rispetto la struttura sepolta con direzione Nord/Ovest-Sud/Est. Dalla rappresentazione di queste matrici (Fig. 8c) si può osservare che mentre l'anomalia è ancora rilevabile, non altrettanto bene si può dire della capacità del sistema di disegnare la geometria del corpo sepolto. Conoscendo l'esatto posizionamento della struttura si può infatti affermare che il limite tra terreno e struttura risulta molto confuso. Inoltre si può notare che sulla prima matrice, più superficiale, l'andamento delle anomalie si presenta curvo, mentre nella seconda più profonda, viene a perdersi la visione generale della struttura in quanto si rilevano solo dei

picchi nei valori di resistività posizionati lungo la struttura stessa e una parte rilevante del muro posto sul lato Nord non viene minimamente rilevata.

Dispositivo Rettangolo. Questo tipo di dispositivo consente di eseguire misure areali ubicate nell'area centrale di uno stendimento quadripolare di tipo Schlumberger. Al centro dello stendimento si identifica un'area nella quale, nel caso di un sottosuolo omogeneo, è minima la variazione del potenziale elettrico. Si raffigura un rettangolo i cui lati sono uguali ad un terzo di AB, lungo l'asse AB e di AB/2 ortogonalmente ad esso. All'interno di quest'area si misurano i valori della resistività secondo profili paralleli all'asse AB e con passo di campionamento prescelto.

Si può notare come questo dispositivo non ha permesso di rilevare al meglio le geometrie della struttura sepolta (Fig.9a e Fig.9b). Inoltre tale dispositivo risente molto della direzionalità dei profili rispetto alla struttura, rilevando meglio le strutture poste perpendicolarmente alla direzione dello stendimento e meno quelle parallele.

UNIONE DEI DATI PROVENIENTI DA PROFILI TRA LORO PERPENDICOLARI

Nell'analizzare la casistica precedente si è avuto modo di trattare moltissime misure provenienti da profili tra loro perpendicolari e volendo anche generare matrici frutto dell'unione di stendimenti ortogonali si è notato che i punti di misura cadano nella stessa posizione. Si presenta quindi il problema di come unificare tali valori per poter presentare un unico dato. Le due possibili ipotesi prese in considerazione, considerando A e B i valori riferiti ad un unico punto di misura secondo le due direzioni tra loro perpendicolari, sono state le seguenti:

- scegliere il valore della media aritmetica dei due dati $(A+B)/2$;
- considerare la direzionalità dei profili di misura (orientazione delle linee di corrente) determinando il valore del punto coordinato quale somma vettoriale dei due punti $\sqrt{A^2+B^2}$.

Dalle *slices* ottenute secondo i due metodi e per matrici relative al dispositivo Wenner a passo di campionamento di un centimetro secondo le direzioni di misura Nord-Sud ed Est-Ovest, risulta che entrambe le metodiche restituiscono una buona immagine della struttura sepolta, ma che dalla *slice* ottenuta mediante il calcolo della somma vettoriale si ottiene un maggiore risalto della struttura. Infatti gli intervalli di resistività sono di 30 Ohm·m per la *slice* ottenuta con la media aritmetica e di 50 Ohm·m per la *slice* ottenuta dal calcolo della somma vettoriale (Fig. 10).

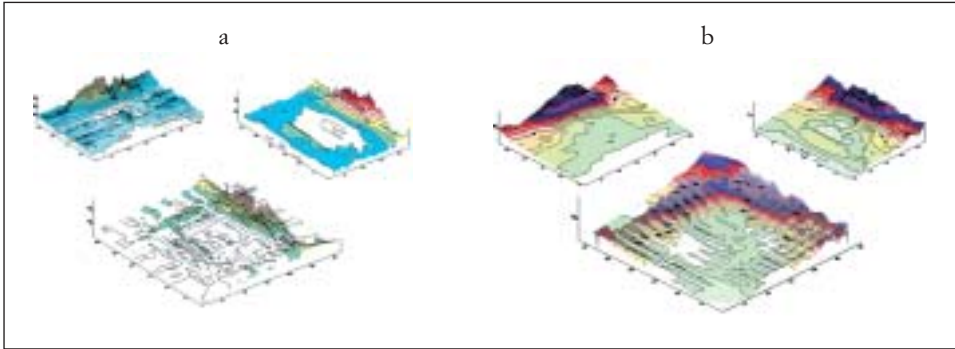


Fig.9 - Risultato dell'unione delle matrici ottenute da profili Nord-Sud ed Est-Ovest mediante l'uso del dispositivo Rettangolo con passo di campionamento pari a un centimetro (a) e passo di campionamento pari a due centimetri (b).

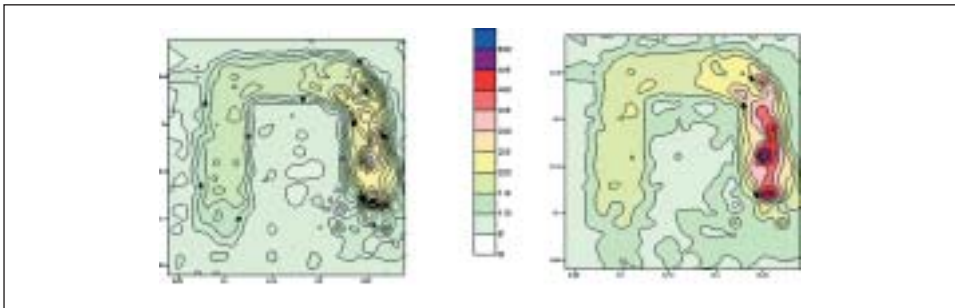


Fig.10 - Comparazione tra le due *slices* ottenute sommando le matrici dei profili con direzioni di misura Nord-Sud ed Est-Ovest, utilizzando (nella *slice* di sinistra) la media aritmetica e (nella *slice* di destra) la somma vettoriale. Le matrici si sono ottenute utilizzando il dispositivo Wenner a passo di campionamento pari ad un centimetro. Si può notare come nella *slice* ottenuta dall'unione secondo la media aritmetica delle due matrici (*slice* di sinistra), la geometria della struttura sepolta sia riconoscibile solo rappresentando le iso-resistive apparenti a passo di 2 Ohm·m (intervallo massimo di resistività pari a 30 Ohm·m), mentre nella *slice* di destra, risultato della somma vettoriale, si ottiene un maggiore risalto della struttura tanto che l'intervallo di resistività è pari a 50 Ohm·m e la struttura sepolta bene si legge anche con intervallo tra le iso-resistive apparenti pari a 5 Ohm·m.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'esperienza condotta in laboratorio presso il Museo Civico di Rovereto circa le potenzialità del Sistema Multielettrodo, applicato allo studio di modelli fisici ridotti, ha consentito di focalizzare aspetti metodologici ed approcci teorici rivolti da un lato all'ottimizzazione dei sistemi di acquisizione dei dati sperimentali e dall'altro alla ricerca di una efficace rappresentazione grafica dei dati trattati da opportuni software.

Lo studio della modellistica è stato improntato all'individuazione dei metodi migliori di acquisizione considerando come variabili il dispositivo e il passo di campionamento. Queste due variabili, di estrema importanza per migliorare il potere di risoluzione dei metodi elettrici e la loro capacità di rappresentare la geometria dei corpi sepolti, esalta le caratteristiche tecniche di ERS (Electrical Resistivity System) che permette di posizionare gli elettrodi secondo intervalli variabili a piacere da pochi centimetri a decine di metri, scegliendo, secondo il target, la migliore configurazione elettrodica possibile.

Le misure hanno dimostrato come l'utilizzo del dispositivo Wenner dia una buona risposta in ogni situazione e secondo qualsiasi direzione di misura, indipendentemente dalla direzione del *target* la cui reale ubicazione, nei casi pratici di campagna, è generalmente sconosciuta. Inoltre il passo di campionamento influenza l'esito dell'indagine solo quando risulta sproporzionato alle dimensioni del target procurando problemi di *aliasing* dovuti alla perdita del segnale.

Al contrario il dispositivo Dipolo - Dipolo risulta estremamente sensibile al passo di campionamento e alla dimensione dei dipoli. Si è constatato infatti che il solo passaggio dal passo di un centimetro al passo di due centimetri riduce sostanzialmente l'esito dell'indagine. Il passo di campionamento di un centimetro ha permesso di individuare la struttura con buona risoluzione sia con le *cross-sections* che con le *slices*, mentre già con passo di due centimetri non si colgono più i corretti rapporti geometrici tra le anomalie della resistività apparente e la forma della struttura sepolta. Inoltre questo dispositivo perde di molto la sua capacità di disegnare la geometria del corpo sepolto nel caso di profili orientati diagonalmente rispetto alla struttura.

L'utilizzo del dispositivo rettangolo si è dimostrato inefficace all'uso in quanto rileva solo le strutture poste perpendicolarmente alla direzione di misura.

Nella fase di trattamento dei dati si è cercato il sistema più idoneo alla fusione delle matrici di dati provenienti da profili tra loro perpendicolari. Si è notato che la matrice che nasce dall'unione dei dati attraverso il calcolo della somma vettoriale permette una risoluzione maggiore della struttura rispetto a quella ottenuta dal calcolo della media aritmetica.

BIBLIOGRAFIA

- APPARAO A., SIVARAMA SASTRY R. AND SUBRAHMANYA SARMA V., 1997 - Depth of detection of buried resistive targets with some electrode array in electrical prospecting. *Geophysical Prospecting*, 45:365-375.
- BARKER R.D, 1979 - Signal contribution section and their use in resistivity studies. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 59 (1):123-130.
- BARKER R.D., 1981 - The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. *Geophysical Prospecting*, 29:128-143.
- BHATTACHARYA P.K. AND PATRA H.P., 1968 - Series Methods in Geochemistry and Geophysics: Direct Current Geoelectric Sounding (principles and interpretation). *Elsevier Publishing Company*.
- CARPENTER E. W., 1995 - Some notes concerning the Wenner configuration. *Geophysical Prospecting*, 3: 388-401.
- DAVIS JOHN C., 1986 - Statistics and data Analysis in Geology. *John Wiley and Sons*, New York.
- DEY A., WALLACE H. MEYER, H. FRANK MORRISON, AND WILLIAM M. DOLAN, 1975 - Electric field response of two-dimensional inhomogeneities to unipolar and bipolar electrode configurations. *Geophysics*, 40(4): 630-640.
- GRIFFITHS D. H. AND BARKER R. D., 1993 - Two dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29: 211-266.
- GRIFFITHS D. H AND TURNBULL J., 1985 - A multi-electrode array for resistivity surveying. *First Break*, 3(7):16
- GRIFFITHS D. H., TURNBULL J. AND OLAYINKA A.I., 1990 - Two-dimensional resistivity mapping with computer-controlled array. *First Break*, 8(4): 121.
- HABBERJAM G. M. AND WATKINS G. E., 1967 - The reduction of lateral effects in resistivity probing. *Geophysical Prospecting*, 15.
- HESSE A., 1966 - Prospections Géophysiques à faible profondeur : applications à l'Archéologie. *Dunod*, Paris.
- KELLER G. AND FRISCHKNECHT F., 1966 - Electrical methods in Geophysical Prospecting. *Pergemon Press*.
- KOEFOD O., 1979 - Geosounding Principles, 1 resistivity Sounding Measurements. *Elsevier Scientific Publishing Company*.
- KUNZ G., 1966 - Principles of Direct Current Resistivity Prospecting. *Geopublications Associates*
- LICETO V., 1971 - On the electrical behaviour of a sample of soil in function of its water content and temperature. *Bollettino di Geofisica Applicata*, 13(50): 155-167.
- LICETO V., BONCI L, CESI C., EULILLI V., PULSINELLI C., GRESpan A., SCHIAVON S., 1998 - Definizione di forme naturali (paleovalvei) ed antropiche (discariche) nel primo sottosuolo mediante tecniche di «Geoelectrical and I.P. Imaging». *Geologia tecnica e ambientale*, 4/98: 29-34

- ILICETO V., FINOTTI F., MANFREDI M., AND VALENTE U., 1995 - A new approach to the Instrumentation of the *Multi-electrode –Array* for the study of Electrical Resistivity in Subsoil. *1st Meeting Environmental and Engineering Geophysics*, Torino 25-27 1995, EEGS European Section, poster presentations: 484.
- MAREŠ S., 1984 - Introduction to Applied Geophysics. *D. Reidel Publishing Company*.
- PANISSOD C., LAJARTHE M., TABBAG A., 1997 - Potential focusing: a new multielettrode array concept, simulation study, and field tests in archaeological prospecting. *Journal of Applied Geophysics*, 38:1-23.
- PARASNIS D.S., 1979 - Principles of Applied Geophysics. *Chapman and Hall Ltd*.
- PARKOMENKO E.I., 1967 - Electrical Properties of Rocks. *Plenum Press-New York*.
- PAZDIREK O., BLÁHA V., BENES L., SAFRÁNEK V., MAN O., ZIMA L., KNÉZ J., 1995 - *Quo vadis*, DC Resistivity? (New Ways in Direct Current acquisition techniques). *Exploration Geophysics Remote Sensing and Environment*, 2(2): 5-10.
- REYNOLDS J.M., 1997 - And Introduction to Applied and Environmental Geophysics. *John Wiley & Sons*.
- SALAZZARI L., 2000 - Il sistema multielettrodo nella ricerca di strutture sepolte mediante l'impiego di vari dispositivi elettrici. *Tesi di laurea inedita*, Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università di Padova, Anno Accademico 1999/2000.
- SHARMA P.V., 1978 - Series: Methods in Geochemistry and Geophysics: Geophysical Methods in Geology. *Elsevier*, New York.
- THELFOED W.M., GELDART , R. E. SHERIFF, KEYS D.A., 1976 - Applied Geophysics, *Cambridge University Press*.
- VAN OVERMEEREN R.A. AND RITSEMA I.L., 1988 - Continuous vertical electrical sounding. *First Break*. 6(10).
- WORTHINGTON P. F. AND BARKER R. D., 1977 - Detection of disused vertical mineshafts at shallow depths by geoelectrical methods. *Geoexploration*, 15: 111-120.

Indirizzo degli autori:

Franco Finotti, Museo Civico di Rovereto, Largo S.Caterina n. 41, I-38068 Rovereto (TN).
 Vittorio Iliceto, Dipartimento di Geologia, Paleontologia e Geofisica dell'Università di Padova, Via Giotto n. 1, I-35100 Padova
 Lorenzo Salazzari, Via Dei Garofani n. 7, I-37033 Verona
