

ELETTRONICA ED INFORMATICA NELLA GEOFISICA - UN METODO TRIDIMENSIONALE PER L'INTERPRETAZIONE DIRETTA DEI METODI GEOELETRICI

MUSMECI FABIO *, RIZZO STEFANO **

*Ricercatore Enea

**Geofisico, libero professionista, Anguillara Sabazia (RM)

ABSTRACT

L'uso dell'elettronica e dell'informatica nella geofisica applicata, ed in particolare nella geoelettrica, ha consentito, negli ultimi anni, un notevole sviluppo della strumentazione che, da monocanale, è divenuta multicanale, consentendo di acquisire contemporaneamente più segnali.

Nello stesso tempo l'affacciarsi sul mercato di numerosi programmi di interpretazione, soprattutto basati sull'inversione dei dati, ha facilitato il compito di chi interpreta le prospezioni geoelettriche.

Questa "rivoluzione" ha però il rovescio della medaglia: strumenti automatici ed interpretazione automatica hanno fatto sì che persone senza un'adeguata preparazione si presentassero nel mondo della geofisica applicata, fornendo dati e risultati spesso di dubbio valore scientifico.

Strumenti del tipo "scatola nera", che non consentono una valutazione puntuale dei segnali elettrici, e programmi di inversione che forniscono comunque delle immagini del sottosuolo impossibili dal punto di vista di un geologo, hanno spesso svalutato la figura dei geofisici applicati.

Viene proposto un metodo di acquisizione dei segnali elettrici, anch'esso multicanale, ma dove è possibile valutare ogni singolo segnale e, se necessario, intervenire sulla misura automatica.

Viene inoltre proposto un modello per il supporto all'interpretazione diretta di misure geoelettriche. Il modello, agli elementi finiti, discretizza il terreno con resistenze poste ai vertici di un reticolo tridimensionale. Utilizzando le equazioni di Kirchhoff e un metodo numerico per la loro soluzione, viene ricostruito il potenziale in ogni punto desiderato. L'utente può così osservare le conseguenze sulle sue misure di diverse ipotesi sulla stratigrafia, presenza d'anomalie come le cavità ipogee ecc. Confrontando i valori calcolati con quelli acquisiti in campagna può essere guidato verso una corretta interpretazione della zona di studio. Una serie d'esempi mostra l'affidabilità del metodo nel rappresentare configurazioni teoriche e di sistemi noti.

1. LE MISURE GEOELETRICHE

Fino agli anni 70 lo strumento principe nelle misure geoelettriche è stato il potenziometro, associato, nelle acquisizioni più delicate, da registratori che fornivano il segnale su carta, permettendo quindi una valutazione, anche a posteriori, della correttezza del segnale e quindi del valore di resistività apparente calcolato. I metodi erano lenti e laboriosi, ed occorreva un'esperienza che poteva essere maturata solo sul campo. C'era un detto presso la CGG, e la CMP, società leader nella geofisica applicata: "un operatore geofisico, prima di essere pronto, deve fare almeno un anno di misure sotto la sorveglianza di un operatore senior".

A partire dai primi anni ottanta sono comparsi i primi strumenti automatici, inizialmente solo monocanale, con i quali era possibile, impostato il metodo da utilizzare (Schlumberger, Wenner ecc.) e la geometria del quadripolo, ottenere direttamente il valore della resistività apparente.

Uno di questi strumenti fu provato in campagna, in parallelo con la strumentazione tradizionale, e si constatò che le misure erano corrette finché si usavano degli MN corti (massimo 20 m) ma già a partire da MN 80 m, soprattutto in presenza di rumori, le misure divergevano notevolmente avendo come risultato la classica curva "a denti di sega", tipica di misure inaffidabili.

Negli anni novanta sono comparsi gli strumenti multicanale, che consentono l'acquisizione contemporanea di molti segnali (fino a 128), ma sempre senza un controllo diretto della bontà del segnale elettrico misurato. Questo tipo di strumenti ha consentito lo sviluppo di una nuova tecnica d'indagine denominata tomografia elettrica. L'uso di algoritmi, come lo "stacking" e la stima numerica dell'errore, consente un miglioramento della qualità della misura.

Questi strumenti consentono di realizzare in continua, senza alcun intervento dell'operatore, interi profili di tomografia; il tempo necessario per un ciclo di misure è dell'ordine di qualche ora. Sarebbe necessaria, prima di smontare il profilo, un'analisi dei valori di resistività acquisiti, una valutazione della grandezza dei potenziali e delle correnti fatte circolare; purtroppo, spesso, avendo a che fare con centinaia di valori, quest'operazione non viene compiuta e ci si affida alla sorte ed ai programmi di interpretazione automatica. Troppo spesso si è dovuto leggere nei tabulati, forniti insieme al rapporto, valori della differenza di potenziale dell'ordine del nV, magari con la precisione di sei cifre decimali, oppure valori di resistività apparente che passano, in misure attigue, da qualche Mohm.m a qualche decimale di ohm.m.

Questi risultati abnormi sono proposti soprattutto quando si opera in centri abitati, dove si sommano diverse fonti d'errore:

- rumori elettrici diffusi e discontinui;
- cattivi contatti elettrici;
- presenza di tubazioni metalliche interrato;
- la polarizzazione degli elettrodi.

La prima causa d'errore, presente anche quando si opera nelle vicinanze di ferrovie elettrificate, fa sì che al segnale si sommi un rumore "random" spesso di qualche ordine di grandezza superiore al segnale stesso. In queste condizioni nessuna operazione matematica sul segnale può renderlo accettabile.

La seconda fonte di errore causa un basso livello della intensità di corrente, abbassando così il livello della differenza di potenziale a valori inaccettabili. Un'alta resistenza di contatto ai capi degli elettrodi è inoltre causa di errore se l'impedenza di ingresso dello strumento non è sufficientemente elevata. La presenza di tubazioni metalliche, a diretto contatto con il terreno, mette le zone interessate allo stesso potenziale, vanificando le misure. Se si utilizza uno strumento che consente di vedere il segnale, la presenza di una tubazione è immediatamente avvertita da un operatore esperto, che smette di operare e cambia posizione al sistema. Se si opera con uno strumento automatico, difficilmente si può avvertire la presenza della tubazione, e si portano a casa misure inutilizzabili.

Quando si usa un elettrodo come A (o B) questo accumula su di sé un certo numero di cariche (anche se si usano elettrodi in polarizzabili) che vengono poi rilasciate al terreno; il tempo di rilascio dipende dalla resistenza di contatto, dal numero di cariche e dalla resistività del terreno in cui è messo l'elettrodo. Se lo stesso elettrodo è usato subito dopo come M (o N) spesso al segnale si somma un potenziale, che varia linearmente nel tempo (deriva), del quale occorre tenere conto.

2. UN DIVERSO METODO D'ACQUISIZIONE DEI SEGNALI

Come si può dedurre da quanto descritto in precedenza, l'uso degli strumenti automatici, del tipo "a scatola nera" non convince un vecchio prospettore geofisico; d'altronde occorre poter fornire nuove tecniche d'indagine come la tomografia a costi accettabili, e quindi è necessario avere attrezzature multicanale. Sul mercato sono presenti solo gli strumenti automatici già descritti e quindi gli autori hanno progettato e costruito una nuova strumentazione che, pur essendo multicanale, consente una valutazione diretta del segnale da parte dell'operatore.

I segnali sono campionati attraverso un personal computer dotato di una scheda della National Instruments con le seguenti caratteristiche:

| | |
|-----------------------|---|
| Numero di canali | 16 in single ended o pseudo differenziali, 8 differenziali; |
| Risoluzione | 16 bit, 1/65536 del massimo segnale di ingresso; |
| Campionamento | 20.000/s minimo; |
| Vimax | 100 μ V, 1V, 5 V, 10 V; |
| Guadagno | 120 db con Vimax = 100 μ V; |
| Errore massimo | 3 μ V con Vimax = 100 μ V; |
| Impedenza di ingresso | 20 G Ω in parallelo con 100 pF; |
| Stabilità | 1 μ V/ $^{\circ}$ C. |

I segnali vengono inviati alla scheda, attraverso un sistema di filtri passa-basso della Analog Device, con frequenza di taglio a 4 Hz, che rendono possibile l'utilizzo della scheda nella configurazione pseudo differenziale.

Una volta campionati, i segnali sono resi visibili sullo schermo e si può operare su di essi.

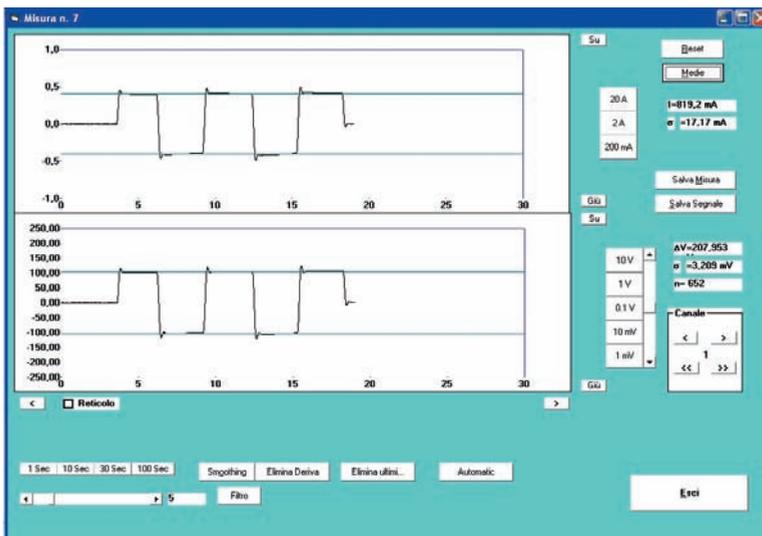


Fig. 1 – Esempio di un segnale campionato in assenza di rumori

Nella figura 1 viene rappresentato un segnale tipo. Il dato è di quelli senza disturbi, che potrebbe benissimo essere misurato da uno strumento automatico.

In alto è rappresentata l'intensità di corrente, in Ampere, in basso la differenza di potenziale, in μ V. Una serie di comandi permette di variare la scala e, per i potenziali, il fondo scala. A destra sono visualizzati i risultati dell'operazione di media: $I=819,2 \mu$ A, con un σ di $17,17 \mu$ A, $\Delta V=207,95 \mu$ V, media di 652 campioni con uno scarto quadratico medio di $3,21 \mu$ V.

Ogni qualvolta si pigia il pulsante "medie", il programma calcola lo scarto quadratico ed elimina dal calcolo della media i valori che differiscono di tre deviazioni standard, affinandone iterativamente la misura.

E' possibile separare una porzione di segnale e calcolare le medie solo su questa.

Il tasto "smoothig" esegue una operazione di medie ponderate sui diversi campioni, il filtro elimina le componenti superiori alla frequenza voluta, il tasto "elimina deriva" elimina l'effetto della polarizzazione degli elettrodi o di una eventuale corrente tellurica a bassissima frequenza, il tasto "elimina ultimi" taglia un numero prefissato di campioni dalla coda del segnale.

Naturalmente, dal segnale viene eliminato, automaticamente, il potenziale spontaneo.

Nella figura 2 viene mostrato un esempio di segnale disturbato.



Fig. 2 – Esempio di un segnale disturbato da una condotta metallica

Il segnale fa parte della stessa serie di misure dell'esempio precedente. Uno degli elettrodi, il dodicesimo, era ubicato sul margine di una strada dove era presente una condotta metallica. E' evidente la polarizzazione indotta presente nel segnale; in questo caso l'operatore può non tenere conto di questo segnale, oppure tentare di prendere gli asintoti come effettiva differenza di potenziale e vedere se il valore è congruo con i potenziali vicini.

Da notare che il numero di campioni presi in considerazione dal programma è sceso a 392, contro i 652 del segnale precedente, ed il s percentuale è salito dall'1,5% al 15%.

Nella figura 3 viene mostrato un altro esempio di segnale disturbato, questa volta, da un rumore "random".

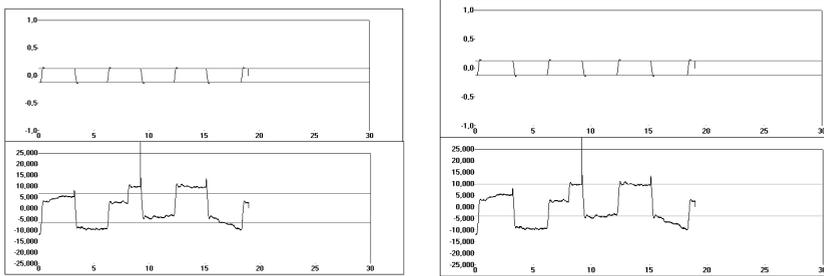


Fig. 3 – Esempio di un segnale disturbato da un rumore random

Come si può vedere durante l'acquisizione dei campioni è subentrato un rumore random di circa 7 mV che ha spostato in alto il segnale. Nella figura a sinistra la media è stata fatta direttamente dal programma, nella figura a destra il segnale è stato valutato correttamente dall'operatore.

In questo caso la differenza, tra il valore calcolato automaticamente e quello imposto dall'operatore, è minima, ma se il rumore fosse stato superiore, ad esempio il doppio, l'errore tra il segnale calcolato e quello reale sarebbe stato notevole.

Da notare che nella parte finale del campionamento il rumore tende lentamente ad annullarsi

3. CONSIDERAZIONI

Con quest'intervento non si vuole assolutamente denigrare gli strumenti ad acquisizione automatica, ma sulla base di un'esperienza più che trentennale, se ne vogliono sottolineare i limiti, soprattutto se tali strumenti sono usati da mani inesperte, senza un'adeguata preparazione nell'acquisizione dati e quindi senza la dovuta sensibilità alla misura che può essere acquisita solo dopo una lunga esperienza sul campo con strumenti analogici oppure digitali ma con l'ausilio d'interfacce software trasparenti che garantiscono il pieno controllo del dato.

4. INTERPRETAZIONE DEI DATI GEOELETTRICI

L'interpretazione di tutti i metodi geoelettrici non può ignorare il "Principio di equivalenza". Tale principio è alla base d'ogni modello elettrostratigrafico proposto e dice in sostanza che una sequenza di valori di resistività apparente (un sondaggio elettrico Schlumberger, Wenner, Dipolo-Dipolo) ammette molte soluzioni e che quindi **non esiste** un modello univoco che soddisfi tale sequenza..

Poiché quasi tutti i metodi geoelettrici a potenziale provocato possono essere ricondotti a sondaggi Schlumberger, sarà trattato quest'ultimo metodo come archetipo di tutti gli altri metodi.

L'enunciazione esatta del principio di equivalenza è: sondaggi elettrici eseguiti su diverse sequenze di terreni possono fornire curve praticamente identiche; il che conduce a due complicazioni:

1. la difficoltà di valutare il numero degli strati incontrati
 2. uno scarto, sempre possibile, tra gli spessori e resistività calcolati e quelli reali.
- Primo caso: l'interpretazione di una curva non è più sicura quando, ad esempio, una successione di 5 strati fornisce una curva riferibile ad un modello a 3 strati ed ambe-

due i modelli siano possibili dal punto di vista geologico; tale difficoltà potrà essere superata solo attraverso l'esecuzione, nella stessa zona, di numerosi SEV, attraverso i quali, in condizione di spessore e profondità diversi degli orizzonti studiati, sarà possibile decidere il numero effettivo degli strati.

Secondo caso: lo spessore e la resistività del primo strato possono essere facilmente valutati senza apprezzabili errori. Per tutti gli altri mezzi elettrici lo spessore calcolato dipende dalla resistività che viene loro attribuita.

Ogni strato conduttore è caratterizzato da una conduttanza longitudinale, rapporto tra lo spessore e la resistività dello strato stesso, mentre ogni mezzo resistivo viene caratterizzato da una resistenza trasversale, prodotto della resistività per lo spessore.

Tali parametri, di grande aiuto per l'interpretazione, sono ricavabili, a partire direttamente dalle curve di terreno, conoscendo, ad esempio nel caso di tre strati, la resistività del primo e del terzo strato.

Senza informazioni supplementari, tuttavia, non sarà possibile determinare lo spessore dello strato intermedio.

Tale difficoltà potrà essere ovviata solo attraverso l'esecuzione di SEV in corrispondenza di perforazioni a stratigrafia nota, da cui, facendo il processo inverso, sarà possibile ottenere la resistività vera di un certo orizzonte e trasferire il valore così ottenuto ai SEV eseguiti nella stessa zona; purché, beninteso, non varino arealmente le condizioni chimico-fisiche dello strato.

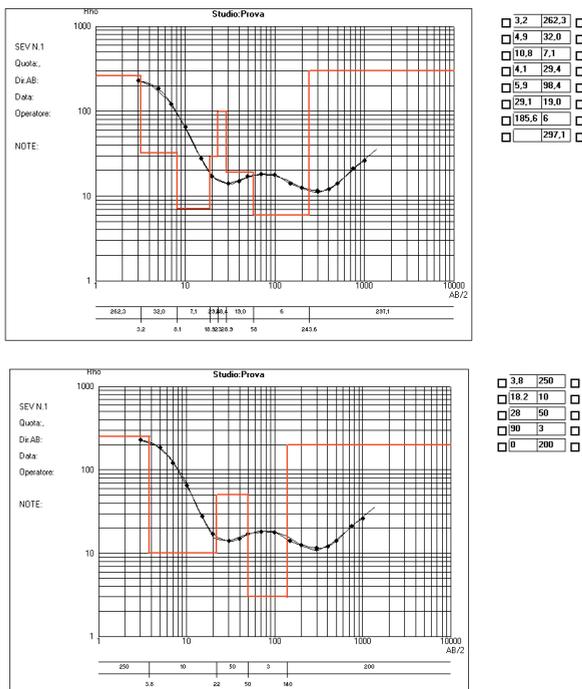


Fig. 4 – Esempio di due diverse interpretazioni della stessa curva

Nella figura 4 viene mostrata la curva di un sondaggio elettrico interpretata in due modi completamente diversi ma ambedue possibili, come possibili sono altri modelli e tutte le soluzioni intermedie.

In alto è stato adottato un modello a cinque strati e l'interpretazione è stata "corretta" in modo da avere numeri interi (solo il primo ed il secondo strato hanno uno spessore con un decimale) sia negli spessori che nelle resistività. In basso sono stati inseriti 8 strati ed il programma è stato lasciato libero di fornire una sua interpretazione.

Il risultato è che la stessa curva, così come enunciato dal principio di equivalenza, può essere interpretata in molti modi diversi, tutti corretti. Da notare che il programma fornisce sia gli spessori che le resistività quasi tutti con cifre decimali, commettendo un grande errore di sopravvalutazione della sensibilità del metodo; il computer può farlo, un geofisico no.

Enunciato il principio ne consegue che l'uso di software che forniscono un'interpretazione automatica di un qualsiasi metodo geoelettrico devono essere usati con estrema cautela, tenendo sempre presente che le soluzioni fornite non sono univoche.

Un errore frequente, compiuto da "geofisici" inesperti, è quello di attribuire ad uno stesso mezzo elettrico valori diversi di resistività, in un'area circoscritta e senza l'ausilio di sondaggi di taratura, solo perché il programma ha fornito valori diversi per ogni curva; ne consegue che l'attribuzione degli spessori diviene completamente arbitraria e senza alcun valore.

5. L'INTERPRETAZIONE DELLA TOMOGRAFIA ELETTRICA

Qualunque sia la configurazione utilizzata in un profilo tomografico, di fatto vengono eseguiti una serie di sondaggi elettrici. Se la configurazione è del tipo Schlumberger, ovviamente si eseguono una serie di SEV Schlumberger con una distanza AB crescente via via che ci si sposta con gli MN verso il centro del profilo, la stessa cosa vale per la configurazione Wenner α .

Se si usa la configurazione polo-dipolo si esegue un sondaggio elettrico semi Schlumberger con la differenza che invece di allontanare il punto A, viene allontanato il dipolo MN e la distanza tra A ed il centro di MN vale AB/2 Schlumberger. Anche la configurazione polo-polo può essere trasformata in un SEV Schlumberger, ma in questo caso la distanza AM vale, sperimentalmente, tra AB/2 ed AB/4.

Le configurazioni dipolo-dipolo (polare o equatoriale) sono sempre riconducibili a dei SEV Schlumberger (Al'Pin 1950) con la distanza tra i centri di AB ed MN pari ad AB Schlumberger, nel caso della configurazione polare, ad AB/2 Schlumberger nel caso della configurazione equatoriale. In presenza di stratificazioni parallele ed isotrope, è possibile quindi interpretare i profili di tomografia elettrica come una serie di sondaggi elettrici e fornire un'interpretazione puntuale. In pratica un'interpretazione di questo tipo è possibile anche per strati poco inclinati, fino ad un massimo di 30° circa.

Le cose si complicano se si è in presenza di una stratificazione molto divergente, di contatti orizzontali tra mezzi elettrici a diversa resistività o, soprattutto, se si è in presenza di "oggetti" con resistività nettamente diversa dai terreni inglobanti, come può essere una cavità ipogea.

Un valido ausilio all'interpretazione della tomografia elettrica in queste situazioni è dato dai programmi di inversione come quello di Loke, purché se ne conoscano i limiti ed i risultati forniti non vengano presi "tout court" ma con spirito critico.

Il principio di equivalenza non vale, come si è detto, solo per i sondaggi elettrici Schlumberger, ma vale per tutti i metodi geoelettrici in cui l'incognita sia la determinazione dello spessore e resistività di strati, od oggetti, sepolti. Il principio vale quindi anche per la tomografia elettrica, quale sia la configurazione utilizzata. Ne consegue che se sono possibili diversi modelli, data una certa serie di valori di resistività, i programmi d'inversione forniscono una delle possibili soluzioni e non la soluzione.

6. IL PROGRAMMA DI INTERPRETAZIONE DIRETTA 3D

In questo paragrafo viene illustrato un approccio diverso da quello usato nei programmi di inversione.

La strada seguita è quella dell'adozione di uno schema agli elementi finiti, dove le celle di un reticolo approssimano la struttura del terreno nel sottosuolo. Per semplicità le cellette sono state supposte cubiche. Ogni cella ha una sua resistività che può essere tradotta, dalla seconda legge di Ohm, in resistenze elettriche. Infatti in un cubo di ter-

reno di dimensioni unitarie e di resistività ρ , essendo $\rho = R \cdot l/s$, se l ed s sono unitarie, il valore di ρ sarà eguale al valore di R nella direzione perpendicolare a tutte le facce del cubo; quindi il cubo può essere semplificato da tre resistenze tra loro perpendicolari di valore $R = \rho$. In altre parole l'assegnazione di un particolare valore di resistività ad una zona dello spazio corrisponde, nel modello, all'assegnazione di tre resistenze che hanno un capo in comune su uno dei vertici del cubo.

Ad ogni cubo corrispondono tre "maglie" elettriche costituite dalle 3 resistenze assegnate al cubo e dalle resistenze relative alle celle vicine (Fig. 5).

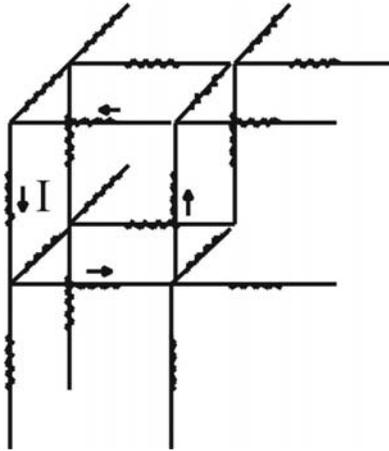


Fig. 5 – Illustrazione di una cella

Ovviamente in un terreno reale la corrente circola in tutte le direzioni, ma se ogni cubo ha dimensioni infinitamente piccole rispetto alla scala del modello ed il numero di cubi è infinitamente grande, si può ritenere con buona approssimazione che una terna di resistenze possa riprodurre una porzione di terreno reale.

I limiti di un modello digitale sono:

- deve essere discreto, e cioè deve per forza di cose essere costituito da una serie di celle di dimensioni finite a cui viene attribuita una resistività;
- il numero di celle che non può essere infinito.

Di conseguenza ha dei limiti spaziali con l'inevitabile distorsione del campo elettrico ai bordi. Le incognite in un modello così concepito sono:

- le correnti che circolano in ogni singola cella nelle tre direzioni;
- il potenziale elettrico in tutti i punti del modello.

Nel programma viene richiesto di assegnare l'intera distribuzione delle resistività, posizione e correnti applicate.

Le equazioni di Kirchhoff forniscono la soluzione che viene cercata.

Ricordiamo qui in particolare l'equazione:

$$-\sum i \cdot P + \sum E = 0$$

dove, per ogni ramo della maglia:

i sono le correnti;

R sono le resistenze;

E sono le differenze di potenziale eventualmente applicate.

Questa equazione formalizza il fatto che, su una maglia, la somma algebrica delle differenze di potenziale è nulla.

Si noti come le equazioni siano lineari e coinvolgano, per ogni maglia, solo le cellette adiacenti. Le incognite, nel nostro caso, sono le correnti. Conosciute queste e note le resistività, sarà possibile calcolare le differenze di potenziale. In un caso ideale basterebbe quindi risolvere il sistema di equazioni nelle i , per esempio, attraverso l'utilizzo della matrice dei coefficienti (resistenze).

Purtroppo, nel nostro caso, la soluzione delle equazioni di Kirchhoff per ogni maglia corrisponde alla soluzione di un sistema lineare la cui matrice dei coefficienti è di dimensioni che divengono presto intrattabili. Il numero di maglie del sistema è infatti, per definizione, pari a tre volte quello del numero di celle. Il numero di equazioni da considerare cresce quindi enormemente al crescere delle dimensioni del modello considerato. I metodi dell'analisi numerica trattano però questo tipo di problemi.

La soluzione adottata dal programma non è quindi esatta ma si basa sul metodo numerico iterativo di Gauss-Seidel. In questo metodo, appartenente alla famiglia dei metodi basati sul rilassamento, le soluzioni vengono iterativamente approssimate fino a che i cambiamenti divengono trascurabili.

Il modello adottato nei casi pratici si basa sul calcolo teorico della distribuzione dei potenziali sulla superficie di un parallelepipedo suddiviso in $91 \times 61 \times 25$ (138.775) celle cubiche il cui lato ha dimensioni unitarie. Si è infatti verificato empiricamente che queste dimensioni offrono un sufficiente compromesso tra tempo di calcolo e accuratezza dei risultati. In questo caso sono necessarie circa 400 iterazioni per arrivare a delle soluzioni stabili. Su un Pentium 5 a 3.2 GHz, il tempo impiegato è di circa 3 minuti.

Tramite un'opportuna interfaccia grafica ad ogni cella viene attribuita una resistività. Vengono quindi specificate le posizioni degli elettrodi e la corrente immessa. Il programma calcola quindi la corrente che circola nelle tre direzioni principali (x , y e z) di ogni singola cella. Sulla superficie vengono stimate le differenze di potenziale tra un vertice del parallelepipedo e tutti i nodi della rete di celle.

Per ovviare all'inevitabile effetto del bordo, dove l'assenza di celle deforma l'andamento del campo elettrico, i punti di misura virtuali sono posti nel terzo centrale tra le celle 31 e 61 dell'asse x . La differenza di potenziale esistente tra due punti della maglia è, per la prima legge di Ohm, pari al prodotto di $R \cdot i$.

Trovati i valori teorici dei potenziali, il programma calcola le resistività apparenti secondo la configurazione utilizzata e trasferisce i dati in un database che viene poi utilizzato come se fosse ricavato da dati sperimentali.

7. TEST TEORICI DEL MODELLO 3D

Per verificare la validità del modello di interpretazione diretta si è proceduto ad una serie di prove sia teoriche che sperimentali. Esse sono:

1. una prova a resistività omogenea su tutto il modello e test con il quadripolo Schlumberger;
2. una prova su modello a due strati, il primo a 10 ohm.m, spesso 20 m, su un substrato a 100 ohm.m, con il quadripolo Schlumberger;
3. una prova su modello a due strati, il primo a 10 ohm.m, spesso 20 m, su un substrato a 100 ohm.m, con tomografia dipolare nella configurazione polo-dipolo;
4. una prova su modello a tre strati, il primo a 10 ohm.m, spesso 10 m, il secondo a 100 ohm.m spesso 20 m su un substrato a 10 ohm.m, con tomografia dipolare nella configurazione polo-dipolo;

Nelle figure che seguono vengono illustrati i risultati ottenuti.

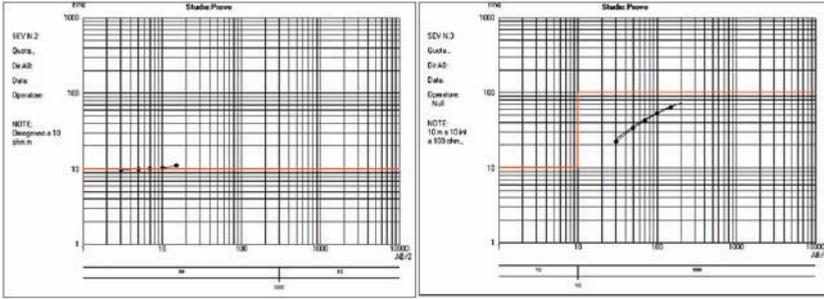


Fig. 6 – Prove 1 e 2 SEV Schlumberger

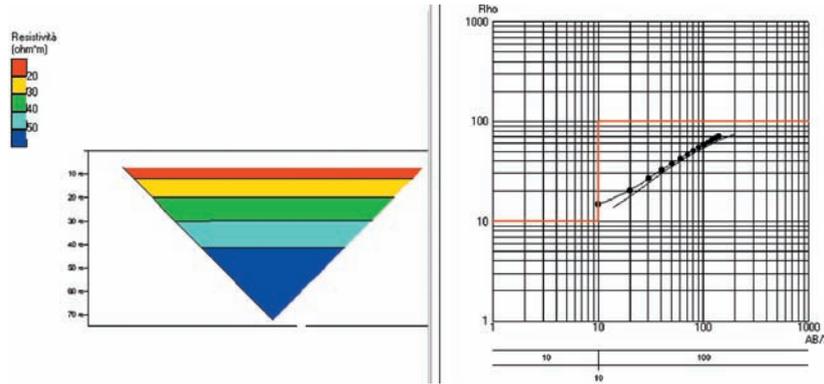


Fig. 7- Prova 3 SEV Polo-Dipolo

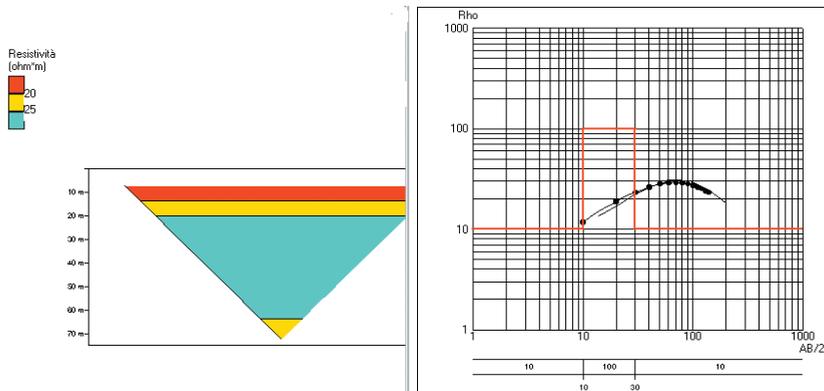


Fig. 8 – Prova 4 SEV Polo-Dipolo

Come si può vedere le curve ottenute coincidono molto bene con quelle teoriche. Nella configurazione polo-dipolo, con passo $x = 10$ m ed $n = 14$, l'elettrodo A è stato posto inizialmente sul nodo 31 della linea centrale dei nodi, l'elettrodo B sul nodo 86, sempre della linea centrale dei nodi. La distanza tra A e B è stata quindi fissata ad una distanza virtuale di 550 m, ovvero ad una distanza quasi 4 volte superiore alla massima distanza A-N. Nel calcolo della resistività si è tenuto comunque conto del fatto che il punto B non è posto ad una distanza infinita.

8. RISULTATI DI ALCUNE INDAGINI

Una indagine eseguita a Guidonia, per la individuazione di eventuali cavità, ha dato i risultati qui di seguito illustrati. Nell'area sono presenti dei travertini, spessi circa 30 m, che poggiano su terreni lacustri e su vulcaniti argillificate.

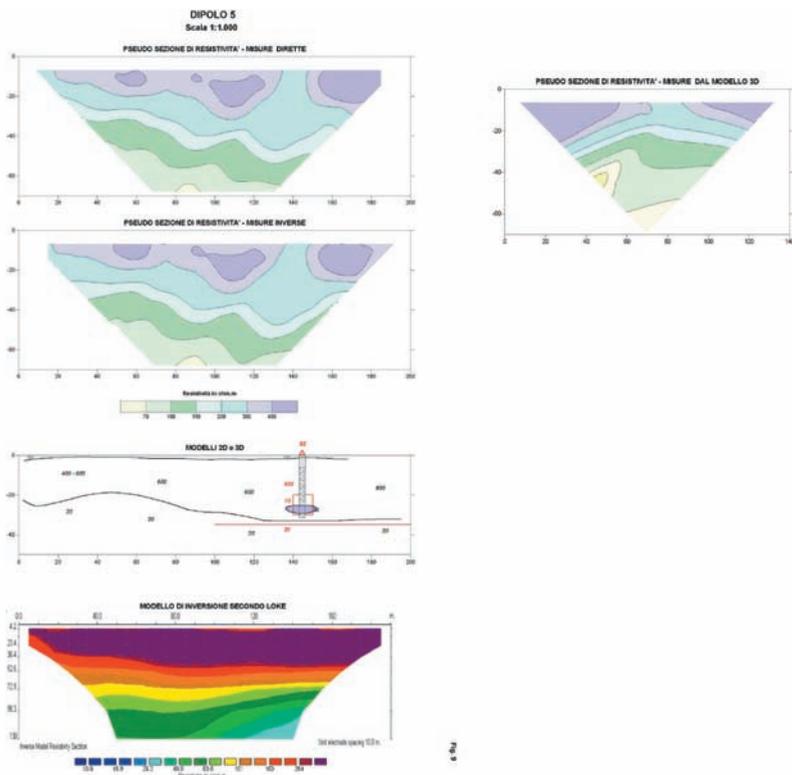


Fig. 9 – Applicazione del programma in un'indagine a Guidonia (Roma)

Uno dei profili tomografici, eseguito nella configurazione polo-polo, $x=10$ m, $n=14$, con misure sia dirette che inverse, ha attraversato, nel tratto finale, una apparente rottura nella copertura resistente, interpretata inizialmente come una diminuzione dello spessore dei travertini.

Un sondaggio di controllo ha incontrato una cavità, alta 5 m alla profondità di 25 m, colmata da fango; la resistività dell'acqua di falda era di circa 5 ohm.m (1890 mS). L'utilizzo del metodo di interpretazione diretta 3D è evidentemente del tipo "trial and error" e dopo alcuni tentativi è stato utilizzato il modello disegnato in rosso nella sezione geoelettrica interpretativa. Il resto della sezione è stato interpretato con il metodo Schlumberger.

Nel modello 3D è stata utilizzata una maglia di celle di 10 m di lato, ed alla cella "anomala" è stata attribuita una resistività di 10 ohm.m in considerazione del principio di equivalenza.

Da notare che il modello di inversione di Loke indica la presenza di un conduttore a profondità di circa 70 m.

Nella caldera di Latera (VT) è stata realizzata un'indagine tomografica, configurazione

polo-polo, $x=20$ m, $n=14$, con lo scopo di individuare le vie preferenziali di fuga dei gas endogeni attraverso terreni argillificati, visto che tali vie di fuga sono legate ad una maggiore permeabilità di questi terreni e che al trasporto di gas è legata anche una risalita di acque termali mineralizzate.

Le indagini sono state eseguite nell'ambito del progetto NASCIENT, finanziato dalla Comunità Europea, ed affidate dal Prof. S. Lombardi, del Dipartimento Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza", responsabile per l'Italia del progetto.

Anche in questo caso, oltre all'interpretazione con il metodo Schlumberger ed all'utilizzo del modello di inversione di Loke, è stato adottato il programma di interpretazione diretta tridimensionale.

Per un breve tratto del profilo, lungo complessivamente 1200 m, è stato usato, dopo alcuni tentativi, il modello indicato in basso a destra nella figura. In un blocco omogeneo a 20 ohm.m è stata inserita una fascia resistiva superficiale a 100 ohm.m, spessa 20 m e larga 200 m, ed una zona verticale conduttrice a 5 ohm.m, larga 100 m e profonda 60 m.

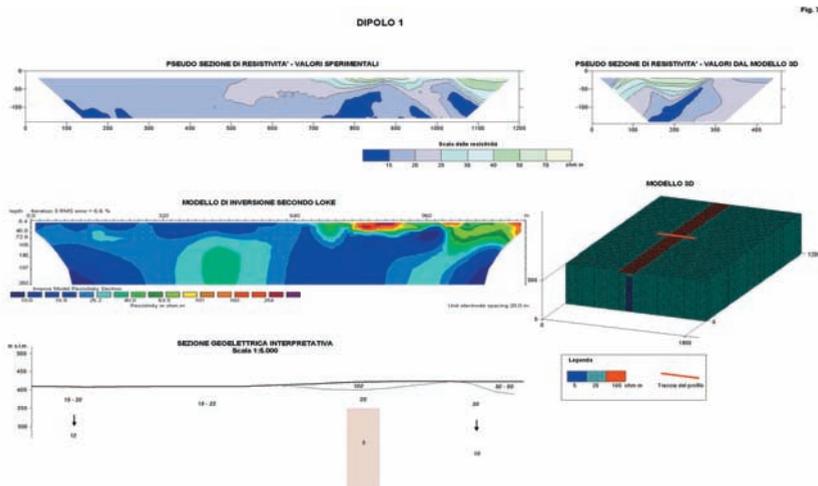


Fig. 10 – Applicazione del programma in un'indagine nella caldera di Latera (Viterbo)

In ambedue i casi descritti, i risultati forniti dal programma sono molto simili ai dati sperimentali e sono quindi stati utilizzati per l'interpretazione delle indagini geoelettriche.

9. CONSIDERAZIONI

Con quest'intervento si è voluto ricordare che l'interpretazione dei dati geoelettrici è complicata e non può essere affidata solo ai programmi di inversione. Essi costituiscono un valido supporto all'interpretazione, ma non possono essere esaustivi.

Occorre sempre ricorrere anche ad altri metodi d'interpretazione per confermare, o meno, i risultati dei modelli d'inversione.

Il software presentato è un tentativo di uscire dalla logica del "prendere o lasciare" dei programmi automatici ed avere quindi un'alternativa o un controllo di quanto fornito da tali programmi.

Pensiamo che l'uso integrato di diversi metodi interpretativi possa essere la strada corretta all'ottenimento di risultati il più possibile vicini alla realtà.

BIBLIOGRAFIA

- L. ALFANO – Dipole-dipole deep geoelectric sounding over geological structures – *Geophysical Prospecting*, 1980, 28
- L. M. ALPIN - Dipole Methods for measuring Earth conductivity (Traslation from Russian) – 1966, Plenum Press, New York
- G. BAIS, G. BRUNO, E. CARRARA, M. GRIMALDI, V. PAOLETTI, A. RAPOLLA, N. ROBERTI - Individuazione di cavità in aree urbane mediante prospezioni geofisiche – Atti del IX congresso nazionale dei Geologi Roma 17-20 Aprile 1997
- M. CUGGIANI – Metodi dell’analisi numerica – 1977, Ed. UTET
- M. H. LOKE, R.D. BARKER – Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudo-sections – *Geophysics*, 1995, Vol. 60
- M. H. LOKE, R.D. BARKER – Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudo-sections by a quasi-Newton method – *Geophysical Prospecting*, 1996, 44
- S. LOMBARDI, Progetto NASCIENT – NASCENT Natural Analogues for the Storage of CO₂ in the Geological Environment - CE Project n° ENK5-CT-2000-00303 in corso
- L. NOLASCO, S. RIZZO – Indagine geologica integrativa – 2002, Relazione inedita
- D. PATELLA – A general transformation system of dipole geoelectric sounding into Schlumberger's as an approach to the inversion – R. Cassinis (ed.) *Ettore Majorana International Science*, 1981, Series 11
- D. PATELLA, A. TRAMACERE – Geoelectrical axial dipole sounding curves for a class of two-dimensional Earth structures – *Geophysical Prospecting*, 1986, 34
- D. PATELLA – Application of geoelectrical dipolar techniques to the study of an underground natural cavity of archaeological interest – *Bollettino di geofisica teorica ed applicata*, 1978, Vol. XXI n° 77
- S. RIZZO – La geofisica applicata nel controllo e nelle indagini sui sinkholes: l'esempio di Camaiore – 2002, Atti del convegno di Grosseto del 31 Marzo 2000, Regione Toscana

