

Sessione II / *Session II*

Risorse minerarie non energetiche  
*Non-energetic mineral resources*

***Profilo geoelettrico dipolare continuo. Descrizione della metodologia ed esempi di applicazioni a problemi di Ingegneria civile, ricerche idriche e minerarie***

CENSINI G.<sup>1</sup>, COSTANTINI P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Georisorse Italia s.a.s., Siena, <sup>2</sup>Progemisa S.p.A., Cagliari - Italia



---

Estratto da / *Reprinted from*  
Atti del Congresso / *Congress Proceedings* - Vol. 1

Stampa: Litografia Geda - Via Villa Glori 6 - Torino

## ***Profilo geoelettrico dipolare continuo. Descrizione della metodologia ed esempi di applicazioni a problemi di ingegneria civile, ricerche idriche e minerarie***

CENSINI G.<sup>1</sup>, COSTANTINI P.<sup>2</sup>, <sup>1</sup>Georisorse Italia s.a.s., Siena, <sup>2</sup>Progemisa S.p.A., Cagliari; Italia

### INTRODUZIONE

L'utilizzazione della geoelettrica nelle situazioni geologico applicative permette generalmente di studiare un'area, da un punto di vista cognitivo, in funzione delle sue caratteristiche elettriche, in particolare consente di conoscere qualitativamente e/o quantitativamente la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo.

Tale informazione, per la correlazione rilevabile tra resistività e caratteristiche litologiche, risulta particolarmente importante qualora si voglia conoscere, con un metodo a basso costo, l'assetto geologico di un'area o verificare la presenza o meno di eventuali corpi conduttivi o resisitivi.

I metodi generalmente utilizzati consentono di ottenere informazioni in senso verticale o in senso orizzontale. Le une in termini quantitativi, ma a certe condizioni, le altre solo qualitativamente. L'ottenimento di entrambe le informazioni e', in genere, legato ad un notevole appesantimento delle operazioni di campagna, appesantimento tale da rendere la prospezione non piu' conveniente in termini del rapporto costi/benefici; intendendo con benefici la quantita' e la qualita' delle informazioni ottenute.

Utilizzando un particolare dispositivo elettrodico associato ad una tecnica evoluta di processing dei dati, attraverso cioe' il Profilo Dipolare Continuo (P.D.C.), c'e' la possibilita' di poter acquisire informazioni di entrambi gli aspetti consentendo di risolvere dettagliatamente situazioni altrimenti difficilmente definibili.

Le applicazioni di tale metodologia possono esser molteplici: ricerca geologica generica, mineraria ed idrogeologica, caratterizzazione dei terreni per lo studio

delle loro caratteristiche meccaniche.

### 1. METODOLOGIE DI SONDAGGI ELETTRICI

I sondaggi elettrici vengono generalmente utilizzati per ricostruire la stratigrafia elettrica uni-dimensionale al di sotto del punto di stazione. La tecnica di prospezione generalmente utilizzata e' il sondaggio Schlumberger o Sondaggio Elettrico Verticale (S.E.V.), in cui la distanza degli elettrodi di energizzazione (AB) viene gradualmente aumentata secondo una progressione logaritmica e il dipolo di misura del potenziale (MN) e' posto al centro dello stendimento simmetrico ed in linea con gli elettrodi di corrente secondo lo schema di figura 1a.

Il risultato del S.E.V. e' una curva, su un grafico bilogaritmico, della resistività apparente in funzione della semilunghezza degli stendimenti di linea di invio di corrente (AB/2). L'interpretazione di tale curva permette di ricostruire una successione unidimensionale di terreni distinti in funzione della loro resistività elettrica. In condizioni favorevoli il metodo consente, quindi, di risalire alla stratificazione dei terreni nel sottosuolo, in quanto essi sono, spesso, differenziabili litologicamente in funzione della loro resistività. E' necessario pero' che il terreno indagato sia, almeno con buona approssimazione assimilabile ad un semispazio stratificato con superfici di stratificazione piane ed orizzontali.

Le profondita' di investigazione, per applicazioni di tipo ingegneristico, minerario idrogeologico che in genere vengono richieste vanno dai pochi metri ad alcune centinaia (300-500 metri).

Per profondita' di indagine maggiori si puo' far ricorso ad un tipo di stendimento diverso ma sempre rientrante nella catego-

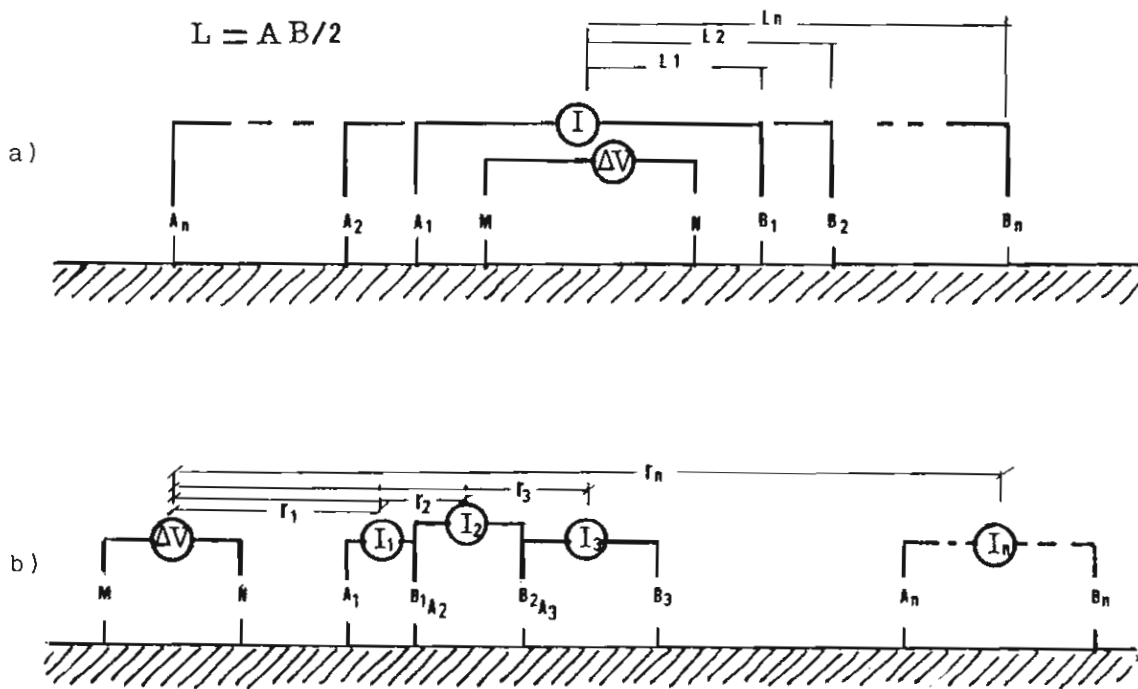


Fig. 1: Dispositivi per sondaggi elettrici - a) Dispositivo tipo Schlumberger (SEV) - b) Dispositivo tipo Dipolo-Dipolo (SED)

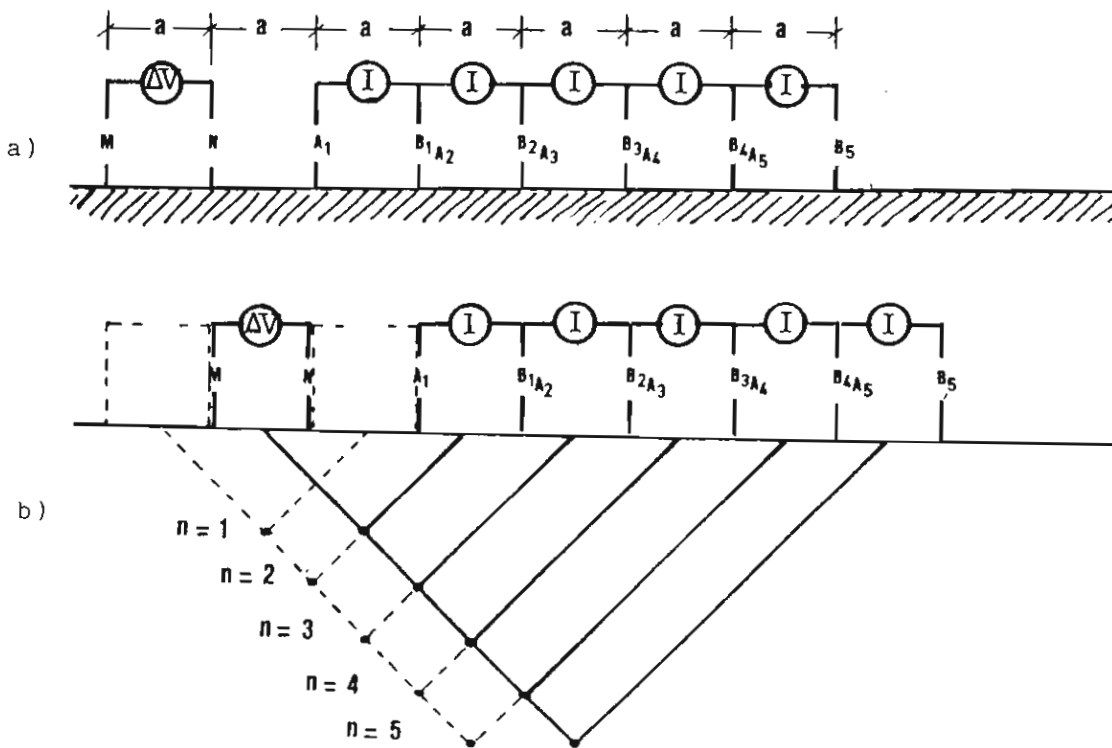


Fig. 2: a) Dispositivo per profili Dipolo-Dipolo convenzionali; b) Schema per la restituzione dei dati su pseudosezione

ria dei sondaggi elettrici: il Sondaggio Elettrico Dipolare profondo (S.E.D.) (Marchisio et al. 1986). In questo tipo di stendimento il dipolo MN di misura della differenza di potenziale e' esterno al dipolo AB di corrente. Le informazioni sulle variazioni della resistivita' con la profondita' vengono acquisite aumentando progressivamente (logaritmicamente) la distanza interdipolare (R), Cfr. fig. 1b.

Nel caso del S.E.D. con grandi ampiezze di R, il problema piu' difficile da risolvere e' quello relativo alla misura del segnale  $\Delta V$  al dipolo MN, che, essendo funzione inversa del cubo della distanza R, decresce rapidamente.

Per ovviare a questo problema la tecnica piu' conveniente e' quella di far ricorso a moderne tecniche di acquisizione e processing del segnale con elevato miglioramento del rapporto segnale/disturbo. (Marchisio e Costantini, 1984; Marchisio et al. 1986).

Infatti sia l'incremento della potenza dell'apparato di invio di corrente attraverso il dipolo AB, sia l'aumento delle dimensioni del dipolo MN non sono soluzioni possibili dal punto di vista pratico (la potenza di trasmissione dovrebbe aumentare enormemente) e teorico (l'aumento delle dimensioni dei due dipoli con l'aumentare della distanza R porterebbe il dispositivo molto lontano dalle condizioni teoriche in cui si prevedono dipoli di dimensioni infinitesime).

Le moderne tecnologie, tuttavia, consentono di contenere l'appesantimento hardware necessario per una acquisizione di tutti i dati necessari i quali, inoltre, per mezzo di software finalizzati alla valutazione dei deboli segnali utili, possono venir trattati direttamente sul terreno mediante computers di dimensioni estremamente contenute. Tutto cio' si traduce in una semplificazione delle operazioni di campagna e si rendono cosi' possibili interventi per i quali il metodo del S.E.D., sia per motivi geologico strutturali, sia per motivi logistici, risulta piu' conveniente, altrimenti penalizzato dai problemi di esecuzione delle misure.

### 3. METODO DEL PROFILO DIPOLARE

Quando e' preferibile acquisire informazioni su eventuali discontinuita' laterali presenti nel semispazio indagato si ricorre al profilo dipolare. In questo caso l'energizzazione del terreno e la misura di potenziale vengono effettuati utilizzando dipoli collineari esterni a distanze

prefissate che vengono aumentate seguendo una progressione lineare. Cfr. fig. 2a.

Il dispositivo viene poi traslato lungo il profilo (fig. 2b) per il tratto di semispazio che si vuol indagare con cadenza regolare. I risultati vengono rappresentati attribuendo la resistivita' apparente misurata ad un punto della sezione posta convenzionalmente all'intersezione delle diagonali tracciate nello schema precedente. Tale tipo di rappresentazione (pseudosezione) permette di riconoscere eventuali variazioni laterali dei parametri elettrici dei terreni indagati, sebbene tali sezioni non rappresentino un modello quantitativo della distribuzione della resistivita' nel sottosuolo.

### 4. TECNICA DEL PROFILO DIPOLARE CONTINUO

I limiti di applicazione delle due metodologie in funzione della reale distribuzione delle resistivita' nel sottosuolo (S.E.V. e S.E.D. per stratificazioni orizzontali e Profili Dipolari per variazioni laterali) si traducono quindi nella necessita', per programmare un intervento, di avere una idea, anche approssimativa, della disposizione geometrica delle formazioni presenti nell'area indagata.

Il metodo del Profilo Dipolare Continuo (P.D.C.) e' un sistema che consente di miscelare le possibilita' risolutive dei Sondaggi e dei Profili, utilizzando un dispositivo elettrodico particolare ed una altrettanto particolare tecnica di processing dei dati.

Lungo un profilo le misure vengono effettuate secondo lo schema del profilo dipolare convenzionale utilizzando pero' distanze interdipolari crescenti logaritmicamente con progressivo aumento delle dimensioni del dipolo di energizzazione (per mantenere un'elevata leggibilita' del segnale) e traslando rigidamente il dispositivo collinearmente alle linee di invio e misura.

In pratica su ogni punto di stazione viene eseguito un sondaggio dipolare (S.E.D.) vero e proprio, mentre dalla restituzione grafica dei risultati delle misure con lo schema di fig. 2b si ottiene, al tempo stesso, una pseudosezione di resistivita' apparente la cui risoluzione laterale sara' funzione della distanza tra i punti di stazione.

I dati acquisiti sono quindi di duplice natura: curve di resistivita' apparente dipolare e pseudosezioni.

Dalla pseudosezione cosi' ottenuta si ha una misura della bidimensionalita' del

semispazio investigato (molto piu' alta di quanto possibile in base ai S.E.V. che risentono di meno delle variazioni laterali) e quindi consente di stabilire entro quali zone abbia senso una interpretazione stratigrafica quantitativa dei dati.

L'interpretazione della curva, dopo aver trasformato i dati dal dominio dipolare a quello Schumberger (Patella, 1974; Kumar & Das, 1977), viene effettuata con i consueti algoritmi di modellizzazione dei S.E.V.

La collezione dei risultati dell'interpretazione quantitativa permette quindi di ricostruire una sezione geoelettrica in cui sono evidenziate le variazioni della resistivita' dei terreni, lateralmente e sulla verticale (modellizzazione bidimensionale).

Il prodotto finale di un Profilo eseguito con questo sistema e' una sezione di resistivita' del sottosuolo che, in base alle conoscenze delle caratteristiche elettriche delle rocce presenti, puo' consentire una facile costruzione di una sezione geologica interpretativa.

Il metodo, anche in contesti apparentemente sfavorevoli, sembra consentire una ottima definizione delle distribuzioni di resistivita' indagate eliminando i problemi di ambiguita' che insorgono nella rappresentazione a pseudosezione con la metodologia dipolare convenzionale. Esso, inoltre, con appropriate attrezzature, permette una maggiore produzione giornaliera durante le operazioni di campagna rispetto all'esecuzione di sondaggi elettrici convenzionali e, quindi, a parita' di costi una raccolta di maggiori quantita' di informazioni.

## 5. ESEMPI DI APPLICAZIONE

Nel seguito si riportano i risultati delle applicazioni in differenti casi reali in tre contesti diversi, geologico applicativo, idrogeologico e minerario, corredate delle interpretazioni geofisiche e delle relative interpretazioni geologiche.

### 5.1 - Studio della zona di imposta di una diga in terra.

Nell'ambito delle indagini geologiche e geotecniche effettuate per la progettazione esecutiva di una diga in terra sul Torrente Milia (Prov. di Grosseto) fu eseguito un P.D.C. nella zona di imposta dello sbarramento.

Il motivo della richiesta era la acqui-

sizione di informazioni utili per una migliore correlazione delle stratigrafie ottenute da numerose perforazioni geognostiche che avevano attraversato successioni molto differenti a distanze di poche decine di metri. Oltre alla delimitazione laterale della coltre alluvionale, si dovevano dare indicazioni sull'andamento dei livelli prevalentemente calcarei appartenenti alla Formazione delle argille con calcari palombini che sono, seppur di poco, piu' permeabili dei livelli argilloscistosi.

La conoscenza delle stratigrafie ottenute dalle suddette perforazioni geognostiche ed i dati dell'interpretazione quantitativa del P.D.C. consentirono di tracciare una sezione geologica 'Continua' di notevole aiuto per la successiva fase progettuale.

Nella figura 3 sono riportate le varie fasi di elaborazione dei dati acquisiti: nella sezione di fig. A e' riportata la pseudosezione di resistivita' apparente; nella B sono riportati i risultati delle interpretazioni quantitative effettuate per ciascuna stazione di misura; nella figura C e' tracciata la sezione geologica interpretativa.

### 5.2 Ricerche idriche in terreni detritici

In questo caso il Profilo Dipolare Continuo e' stato inserito nel programma di indagini per l'esecuzione di una ricerca di acque, per scopi idropotabili, che la Comunita' Montana del Monte Cetona (Provincia di Siena) fece eseguire nel 1988 lungo una fascia di circa 2.500 metri alle pendici del M.te Cetona stesso nel versante orientale, a monte dell'omonimo centro abitato.

L'obiettivo delle ricerche erano le acque presenti entro detriti di falda (di natura calcarea) che alimentano sorgenti di rilevante importanza, gia' captate, ma non piu' sufficienti. Si doveva, quindi, individuare la zona piu' favorevole alla esecuzione di un pozzo in modo da incrementare la disponibilita' d'acqua senza pregiudicare la disponibilita' alle opere di presa esistenti.

Il P.D.C. che fu eseguito lungo tutta la suddetta fascia consenti' di indicare 2 zone molto promettenti: nella figura 4 e' stato riportato lo spezzone di profilo relativo alla zona prioritaria. Anche qui', come nel caso precedente sono state ricostruite le tre fasi del processo di interpretazione: A=pseudosezione di

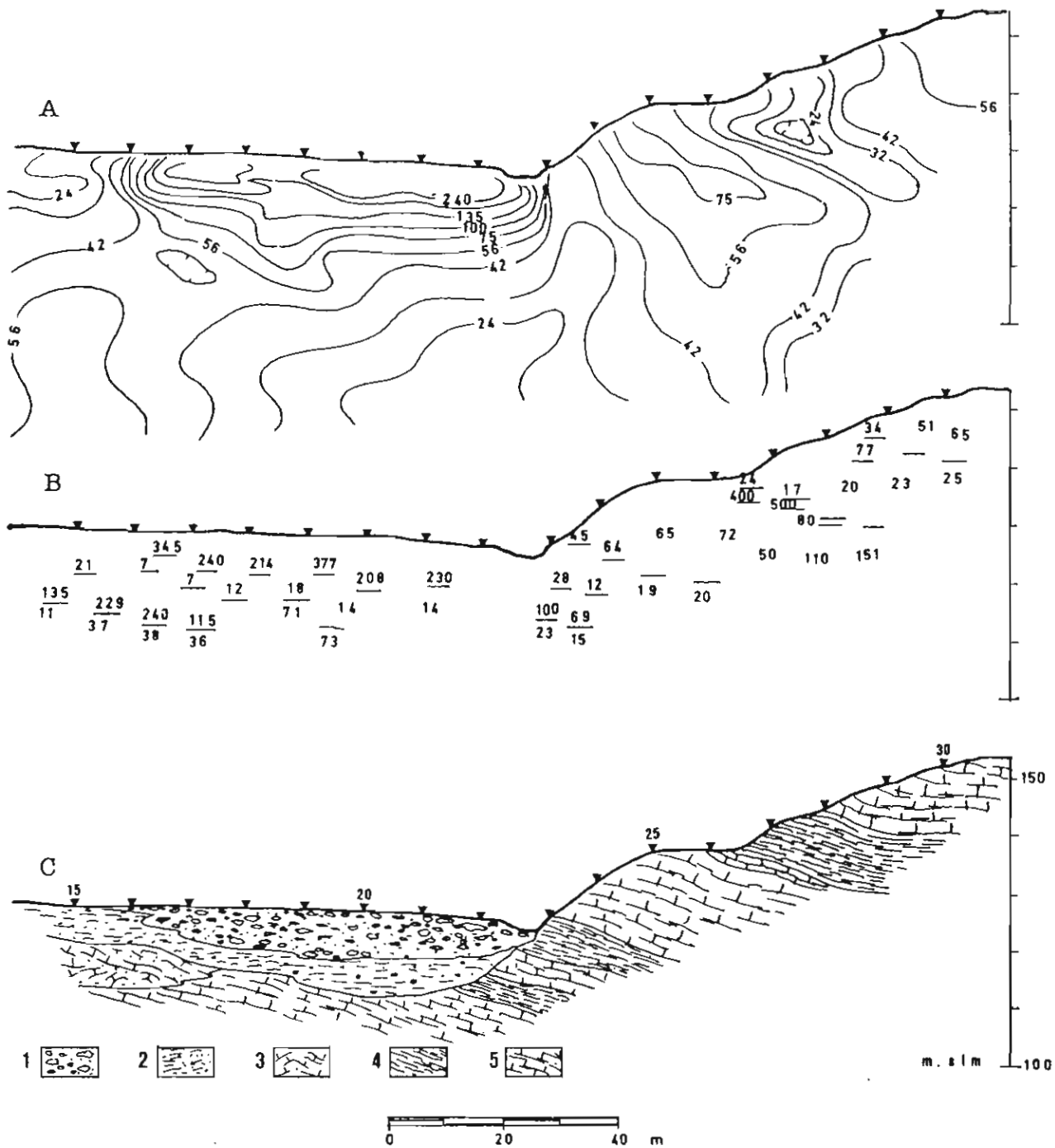


Fig. 3 - A): Pseudosezione di resistività apparente (valori in  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ )  
 B): Sezione Geoelettrica di interpretazione quantitativa (valori in  $\text{ohm}\cdot\text{m}$ )  
 C): Sezione geologica interpretativa - 1) Alluvioni e ghiaie grossolane; 2) Alluvioni limoso-argillose; 3) materiale detritico ed alterazione del substrato; 4) Bancate prevalentemente argilloscistose; 5) Bancate calcaree  
 ( per C.I.G.R.I. - LIVORNO)

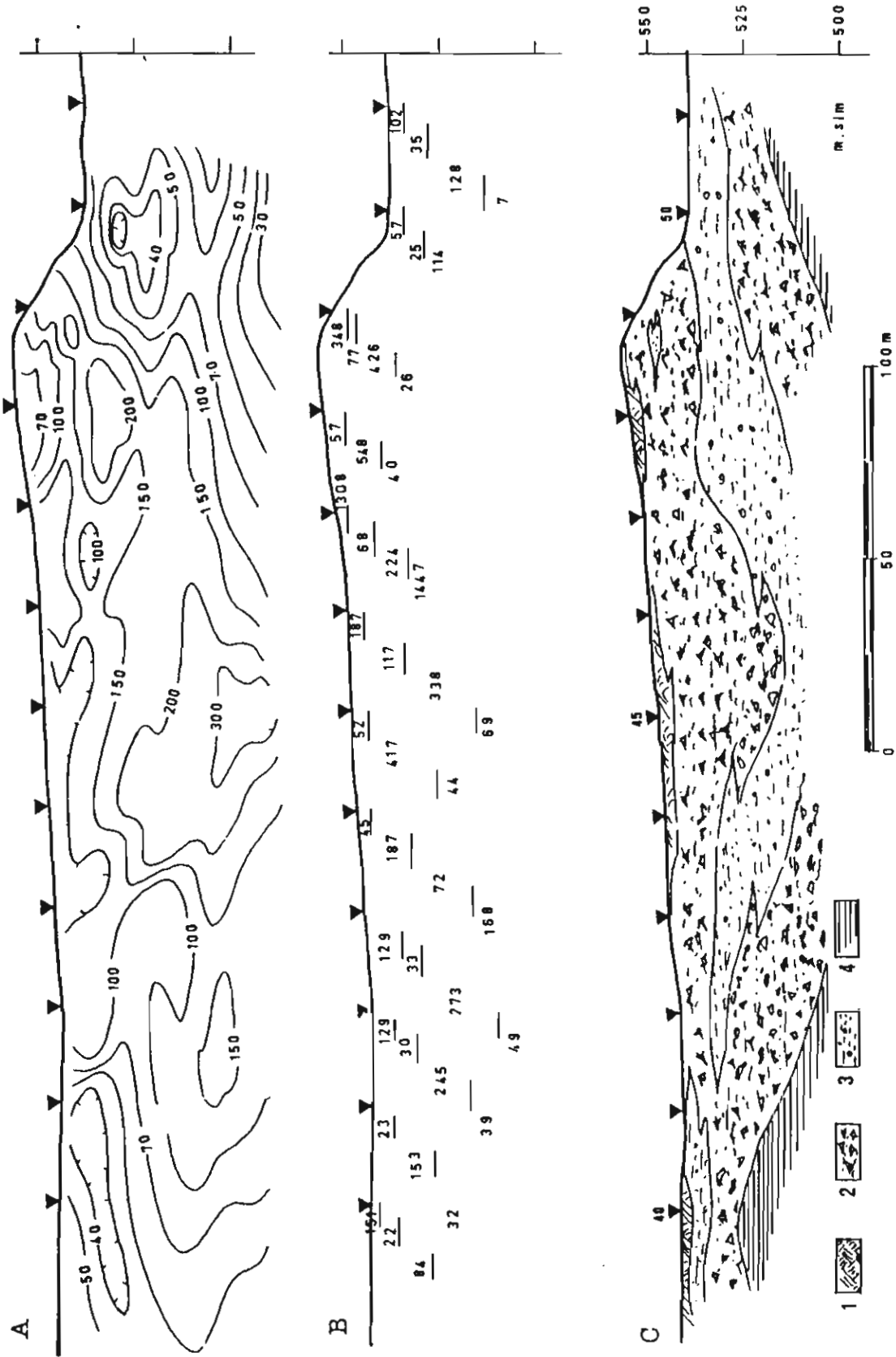


Fig. 4 - A) B) e C) con fig. 3  
 1) Terreni di alterazione superficiale; 2) Breccie calcaree stratificate;  
 3) Detriti in matrice argillosa; 4) Substrato argilloso  
 ( COMUNITA' MONTANA DEL MONTE CETONA - SIENA )

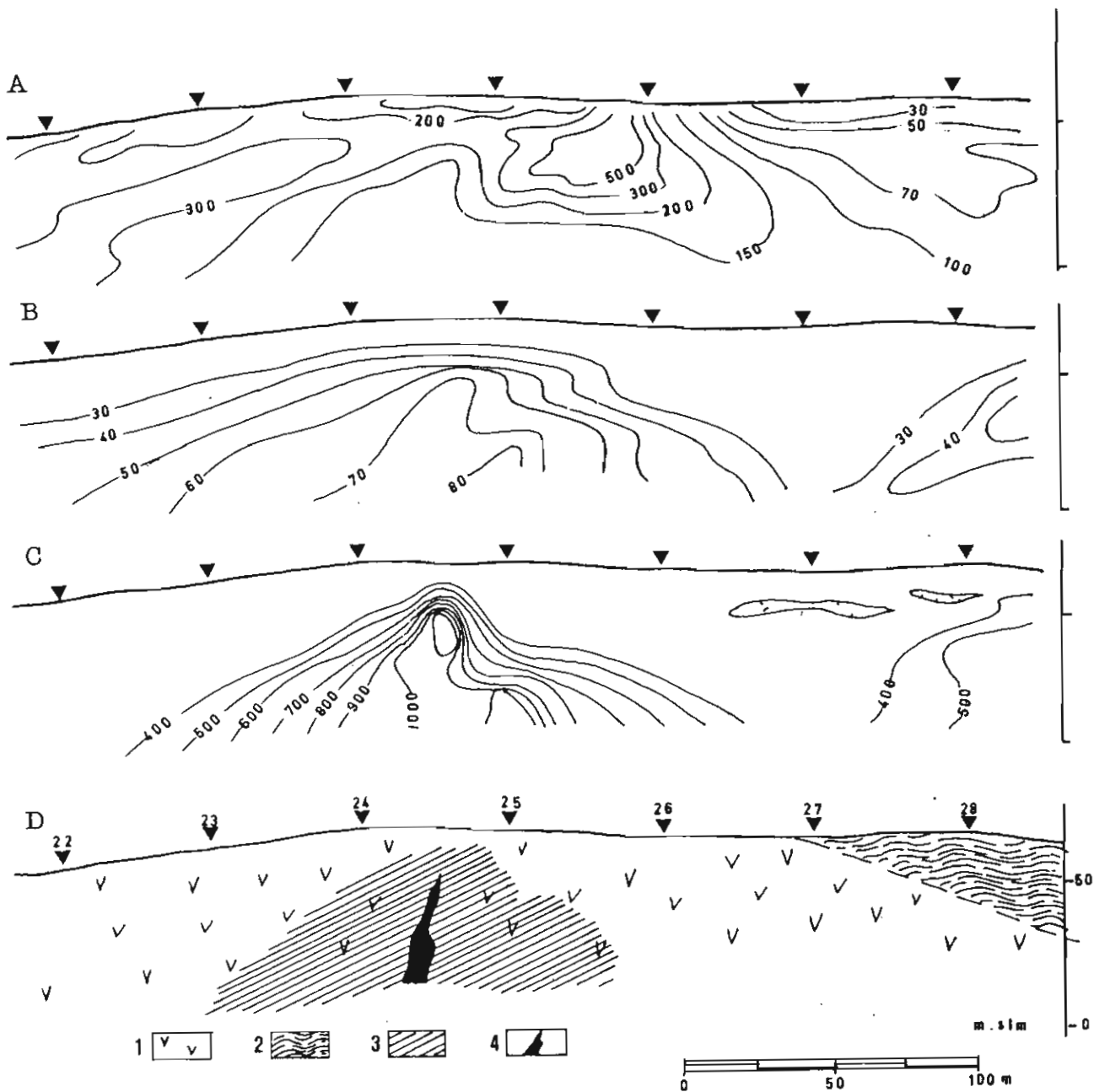


Fig. 5 - A): Pseudosezione di resistività apparente (valori in  $\text{ohm} \cdot \text{m}$ )  
 B): Pseudosezione di caricabilità (valori  $\text{m Sec.}$ )  
 C): Pseudosezione di Metal-Factor ( $\text{m Sec.}/P \cdot 2.000$ )  
 D): Sezione geologico interpretativa: 1) Vulcaniti terziarie ;  
 2) Formazioni paleozoiche; 3) Zone a mineralizzazioni filoniane (?)  
 ( per PROGEMISA S.p.A. - CAGLIARI)



resistività; B=sezione dell'interpretazione quantitativa; C=sezione geologica interpretativa.

Il pozzo che venne perforato nella zona della stazione 44 riscontro' la stratigrafia indicata fino alla profondità' raggiunta (circa 50 m): la sua portata è risultata superiore a 7 l/sec senza che siano state riscontrate variazioni di portata nelle vicine sorgenti.

### 5.3. Ricerche di mineralizzazioni diffuse

La più frequente applicazione del Profilo Dipolo-Dipolo convenzionale è proprio nel settore minerario dove sono di estrema importanza le delimitazioni laterali di zone di interesse economico, che, spesso, sono distinguibili dalle rocce incassanti sulla base di parametri elettrici (resistività e caricabilità).

Nell'esempio seguente il P.D.C. è stato effettuato nella Sardegna meridionale per conto della S.p.A. PROGEMISA di Cagliari. L'obiettivo era la delimitazione di zone caratterizzate da una più elevata concentrazione di solfuri metallici (pirite e calcopirite soprattutto) entro rocce subvulcaniche terziarie ed i rapporti geometrici tra queste ultime e le formazioni paleozoiche entro cui si sono intruse le vulcaniti.

Nella figura 5 sono riportate le pseudosezioni di resistività apparente e di caricabilità e del Metal factor; non è stata riportata la sezione dell'interpretazione quantitativa (le variazioni di resistività sono risultate significative solo nella zona di passaggio tra vulcaniti e paleozoico) ma solo quella geologica interpretativa.

In questo caso il vantaggio che è stato riscontrato nell'impiego del P.D.C. rispetto al Profilo convenzionale è quello relativo alla migliore qualità del segnale per la misura della caricabilità ed alla minore influenza che le anomalie locali (anomalie di elettrodo) hanno nella restituzione della pseudosezione.

Infatti, la variazione logaritmica della dimensione del dipolo AB mantiene più regolare l'intensità del campo elettrico nella zona del dipolo MN minimizzando le variazioni di caricabilità dovute alla non linearità del fenomeno; la minore influenza delle anomalie di elettrodo, invece, è dovuta alla differenza tra la cadenza delle stazioni e le dimensioni dei dipoli AB: in pratica passando da una stazione alla successiva tutti gli elettrodi di corrente (A iesimo e B iesimo) cambiano

posizione, mentre con il Profilo convenzionale con tutti i dipoli di dimensioni uguali ed uguali alla cadenza delle stazioni, un eventuale disturbo su un elettrodo provoca un'anomalia su tutte le misure effettuate con il punto anomalo in una qualunque posizione del dispositivo.

### 6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La metodologia descritta nella presente nota, risultato della applicazione combinata di due metodologie di prospezione geofisica di uso convenzionale (il Sondaggio Elettrico Dipolare ed il Profilo Dipolo-Dipolo), appare di conveniente utilità pratica nella esecuzione di ricerche geologiche in contesti dove siano presenti variazioni bidirezionali delle caratteristiche elettriche del sottosuolo.

I risultati delle applicazioni in tre differenti casi che sono stati riportati nel testo, confermati da sondaggi geognostici, sono indice della validità del metodo.

Recentemente sono state eseguite altre ricerche mediante il P.D.C. e sono state sviluppate più sofisticate tecniche di elaborazione che consentono di incrementare ulteriormente le possibilità risolutive del metodo.

### Bibliografia

- MARCHISIO M., BRACCIALI G., CENSINI G., COSTANTINI P., MAZZESCHI M., TRIPODI G.: "Contributi alla definizione di procedure per l'esplorazione geoelettrica profonda", in SCRITTI PER L. LAZZARINO, PISA, 1986, 767-786.
- MARCHISIO M. & COSTANTINI P.: "Sondaggi Elettrici Dipolari Profondi: algoritmi per la stima di deboli segnali di tensione.", ATTI del 3 Congresso Nazionale del G.N.G.T.S., ROMA, 1984, 341-354.
- KUMAR R. & DAS U.C.: "Transformation of Dipole-Dipole to Schlumberger soundings curves by means of digital linear filters" Geophysical Prospecting, 25, 780-789.
- PATELLA D.: "On the transformation of Dipole-Dipole to Schlumberger curves", Geophysical Prospecting, 22, 315-329.