

GUGLIELMO BERLASSO \*, FRANCO CUCCHI \*\*, FRANCESCO GIORGETTI \*\*,  
WALTER ZIZA \*\*\*

## L'UTILIZZO DELLE MISURE DI RESISTIVITÀ E DI POLARIZZAZIONE INDOTTA NELLO STUDIO DELL'ANISOTROPIA DELLE ROCCE CARBONATICHE<sup>(1)</sup>

### RIASSUNTO

Allo scopo di analizzare l'efficacia delle metodologie geoelettriche nella definizione della carsificazione superficiale, in siti a diversa caratterizzazione geomorfologica, sono stati eseguiti sondaggi elettrici verticali e misure di polarizzazione indotta secondo geometrie dei dispositivi legate alle condizioni geostrukturali.

L'esame dei dati misurati consente di affermare la validità dell'abbinamento sondaggi elettrici — misure di caricabilità nella definizione della direzione delle superfici di maggior incarsimento, che risultano individuate da alti valori della resistività nella direzione e da alti valori di caricabilità nella direzione perpendicolare. L'abbinamento consente altresì di ipotizzare l'entità e la tipologia della carsificazione superficiale, con livelli di risposta molto soddisfacenti in aree a forte incarsimento.

### ABSTRACT

Measurements of resistivity and induced polarization have been performed in 5 different sites of the Trieste Karst in order to analyse the validity of the applied methodologies in defining the superficial geomorphological characteristics of the ground. Vertical electrical soundings have been carried out in every site, with four different azimuthal orientations linked to the main structural conditions. Maximal values of resistivity have been measured in coincidence with the directions of higher degrees of karstification; whilst higher values of induced polarization have been found in coincidence with directions perpendicular to the previous ones.

### Introduzione

Numerose metodologie geofisiche sono state proposte per l'analisi dei caratteri geologico-strutturali, geologico-tecnici ed idrogeologici superficiali di aree carsiche. Fra queste si sono rivelate di particolare efficacia le prospezioni geoelettriche, che risultano atte a porre in evidenza le caratteristiche della carsificazione ipogea superficiale e le cavità. I dispositivi più frequentemente impiegati sono quelli del profilo e del sondaggio elettrico.

Recentemente alcuni Autori (BERLASSO e AL., 1981; MULLER, 1982) hanno proposto l'utilizzo delle misure di polarizzazione indotta, accoppiate a misure di resistività, per lo studio delle anisotropie strutturali in aree carsiche.

\* Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste

\*\* Istituto di Geologia e Paleontologia, Università di Trieste

\*\*\* D.M.U. - Department Technical Cooperation Development

(1) Lavoro eseguito nell'ambito dei programmi M.P.I. 60% "Ricerche sul carsismo epigeo ed ipogeo", tit. 2/12/01, cod. 6D8, resp. F. Ulcigrai e "Acquisizione parametri geofisici superficiali", tit. 2/12/01 cod. 0/84, resp. F. Giorgetti.

Sebbene le metodiche dei sondaggi a polarizzazione indotta siano state elaborate già negli anni '50 e '60, la loro applicazione è rimasta quasi esclusivamente limitata alla ricerca di giacimenti minerali e alle indagini idrogeologiche in formazioni a porosità interstiziale.

Gli studi eseguiti sull'applicazione dei sondaggi multidirezionali a polarizzazione indotta su terreni carbonatici (BERLASSO e AL., 1981) hanno evidenziato la validità del metodo, specie per quanto riguarda la individuazione della presenza nel sottosuolo di materiali di riempimento di fratture o vani carsici e la determinazione di anisotropie strutturali superficiali.

## Tecniche di indagine mediante la polarizzazione indotta

Una delle cause determinanti il fenomeno della caricabilità, e quindi della polarizzazione indotta, è la presenza nel sottosuolo di minerali argillosi che conferiscono al mezzo investigato quell'"effetto membrana" origine di un potenziale elettrico residuo dopo l'interruzione del passaggio di corrente nel terreno (CAMPBELL, 1977; KOEFOED, 1979; MARSHALL e MADDEN, 1959).

La misura integrata nel tempo del potenziale residuo, definita "caricabilità" e misurata in millisecondi, è il parametro che viene considerato agli effetti della definizione delle caratteristiche del sottosuolo (BODMER e AL., 1968; MONGELLI e PATELLA, 1971; OGILVY e KUZMINA, 1972; PATELLA e SCHIAVONE, 1977; SUMI, 1965).

Allo scopo di verificare l'efficacia delle metodologie di polarizzazione indotta nella definizione della carsificazione ipogea, sono stati scelti cinque diversi siti di misura nell'ambito del Carso triestino (Fig. 1). I siti sono caratterizzati da diverse situazioni geologiche e geomorfologiche e

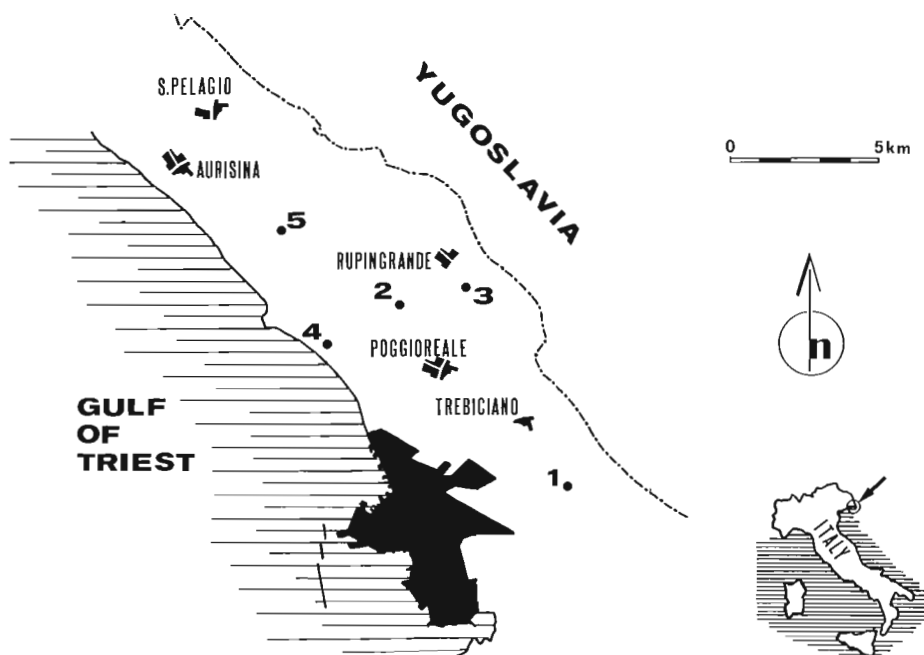


Fig. 1: Ubicazione delle cinque aree investigate: 1 - sito di Padriciano; 2 - sito delle Girandole; 3 - sito di Zola; 4 - sito di Monte Grisa; 5 - sito della Grotta dell'Orso.

quindi da cinque diverse tipologie di carsificazione (FORTI, 1972; FORTI, 1980). La scelta è stata effettuata fra numerose aree, definite inizialmente suscettibili di interesse. In ogni sito, preventivamente analizzato mediante lo studio delle foto aeree, è stato eseguito il rilevamento morfologico e geologico di dettaglio, è stata definita la situazione strutturale mediante stazioni di misura delle discontinuità e si sono analizzate le caratteristiche morfogenetiche delle cavità esistenti e catastate (CUCCHI, 1975). Tali analisi hanno consentito di determinare per ogni zona le diverse condizioni morfologiche, litologiche e strutturali, con particolare riguardo ai fattori condizionanti i valori geofisici, e quindi di individuare cinque aree rappresentative delle "situazioni carsiche" esistenti sul Carso triestino.

In ognuno dei 5 siti sono stati eseguiti 4 sondaggi di resistività e di polarizzazione indotta, rispettivamente in direzione parallela (allineamento n° 1), perpendicolare (allineamento n° 2), a  $+45^\circ$  (allineamento n° 3) e a  $-45^\circ$  (allineamento n° 4) rispetto alla direzione di stratificazione rilevata. Si è mantenuto fisso il centro del dispositivo di misura (quadripolo di Schlumberger campionato con 6 misure per decade fino ad una apertura elettrodica massima di 68.1 metri). Sono state assunte misure di resistività e di caricabilità con 3 tempi crescenti di integrazione (1028, 2056, 4102 msec). In laboratorio si sono misurati anche i valori di resistività propri dei tipi litologici presenti nelle diverse aree.

## **Le aree investigate**

### **Sito di Padriciano**

Lo studio morfologico dell'area, posta circa 1 km a S dell'abitato di Padriciano, ha evidenziato come caratteristica la presenza di numerose doline subcircolari, simmetriche, di profondità limitata, con depositi anche potenti di terra rossa al fondo. Risulta generalmente prevalente la copertura terrosa, interrotta da aree dalla tipica "morfologia a strati", con affioramenti di testate di strato che si elevano di circa mezzo metro dal piano campagna e che sono diffusamente interessate da fenomeni di carsismo epigeo quali fori di dissoluzione, vaschette di corrosione, karren (Fig. 2).



Fig. 2: Sito di Padriciano, panoramica.

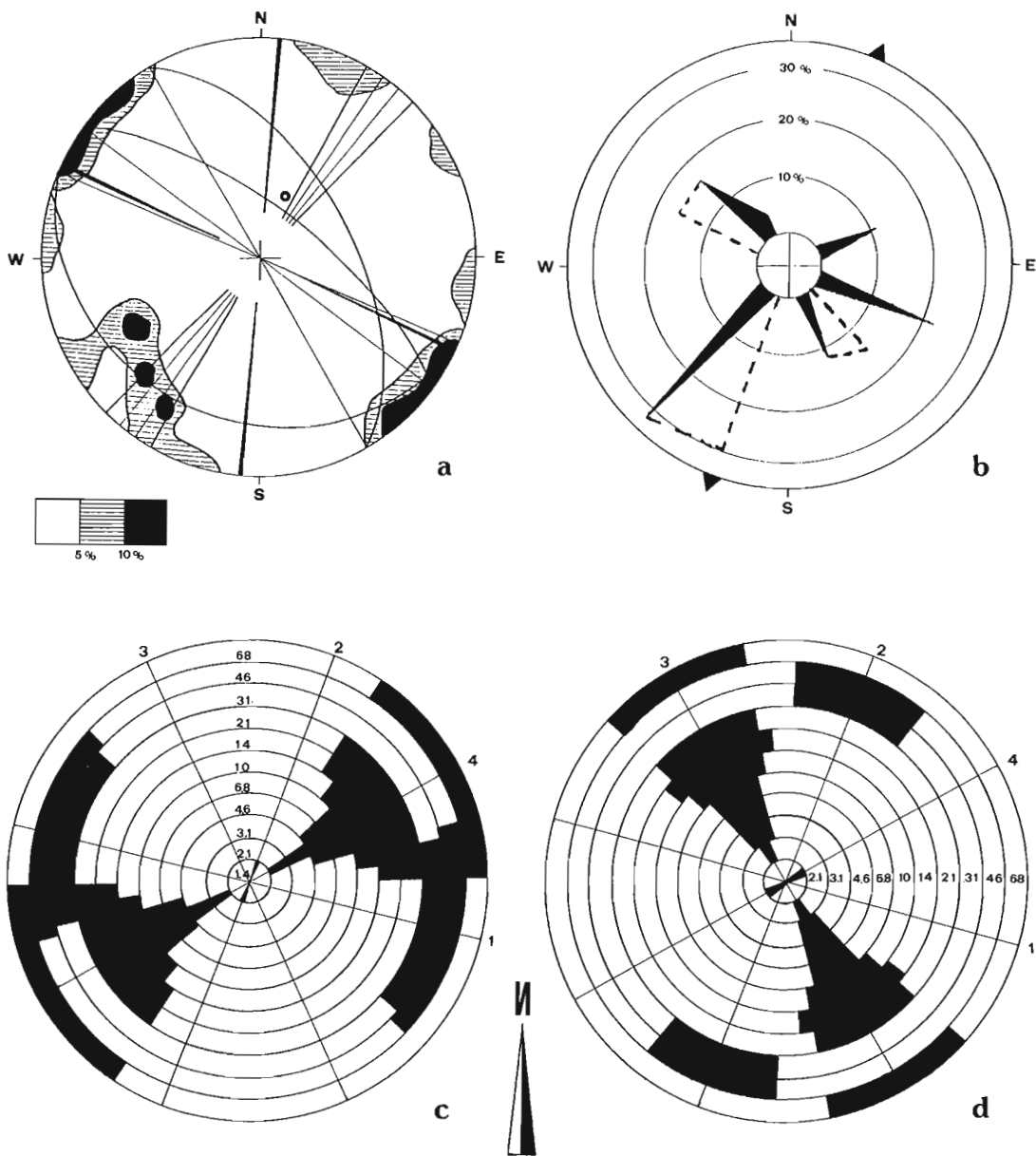


Fig. 3: Sito di Padriciano.

- a: diagramma statistico-strutturale delle discontinuità rilevate (rappresentazione polare su reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); il cerchietto indica il polo della stratificazione, i grandi cerchi i piani rappresentativi delle diverse famiglie.
- b: progressioni di sviluppo delle cavità della zona; i triangoli esterni indicano le direzioni dei piani "strutturanti" le cavità subverticali. Il tratteggio indica le progressioni di sviluppo della Grotta di Padriciano (VG12).
- c: S.E.V., distribuzione dei valori di resistività massimi per le varie semispaziature elettrodeiche e lungo i diversi allineamenti.
- d: Sondaggi a polarizzazione indotta, distribuzione dei valori di caricabilità massimi per le varie semispaziature elettrodeiche e lungo i diversi allineamenti.

Affiorano calcari molto compatti, a stratificazione netta e periodo da decimetrico a centimetrico appartenenti alla "formazione di M. Grisa" (1). La direzione della stratificazione oscilla fra ESE-WNW e SE-NW, l'inclinazione varia da 10° a 25° verso SW.

L'analisi statistica delle discontinuità tettoniche (Fig. 3a) ha evidenziato la presenza di alcune famiglie fra cui le principali sono quelle orientate rispettivamente NE-SW subverticale, con frequenza da 10 a 20 cm, molto carsificata, e NW-SE da subverticale a inclinata di circa 60° verso NE, a frequenza media di 30 cm. Le superfici di discontinuità isolano volumi rocciosi mediamente di una decina di dmc.

Un allineamento evidente osservato nelle foto aeree della zona risulta orientato NE-SW.

Nell'area considerata (2) si aprono una decina di cavità, a sviluppo prevalentemente verticale. L'analisi delle progressioni di sviluppo delle cavità non verticali ha evidenziato uno sviluppo preferenziale in direzione SW, complicato da sviluppi minori (Fig. 3b). In tale quadro rientra anche la Grotta di Padriciano (VG12), ubicata un migliaio di metri a SE, le cui progressioni di sviluppo (CUCCHI e AL., 1975) sono indicate in retino nel diagramma.

Il campione rappresentativo (con dimensioni 6 × 5 × 8 cm) ha fatto registrare una resistività di 8850 ohm × m.

Dall'analisi dei valori di resistività per le varie spazature elettrodiche (Fig. 3c), si riscontrano valori massimi in direzione NE-SW in corrispondenza della famiglia di fratturazione principale. I dati di polarizzazione indotta (Fig. 3d) indicano valori massimi in direzione NW-SE, direzione che è perpendicolare a quella in cui si riscontrano i valori di massima resistività e subparallela a quella della stratificazione e alla famiglia di fratturazione NW-SE.

Alti valori della caricabilità verificano la presenza di depositi argillosi in corrispondenza dei giunti di stratificazione e di superfici di discontinuità scarsamente carsificate. Gli alti valori di resistività indicano la presenza di vuoti areati in corrispondenza della famiglia di fratture decisamente incarsite.

## Sito delle Girandole

L'area è caratterizzata da una morfologia "a blocchi" tipica (Fig. 4), con affioramenti arealmente limitati che si elevano dal piano campagna anche più di un metro e presentano, specie in corrispondenza delle diffuse aree a "campi solcati", numerosi e notevoli fenomeni di carsismo superficiale. Le doline, asimmetriche e profonde in media una ventina di metri, presentano depositi terrosi scarsi e risultano frequentemente allineate secondo NE-SW, direzione quindi di impostazione preferenziale del carsismo epigeo nell'area. La stratificazione dei calcari affioranti nell'area, litotipi appartenenti alla "formazione di Borgo Grotta Gigante", ha direzione media W20°N-E20°S, inclinazione da suborizzontale a 18° verso Sud.

L'analisi statistica dei piani di discontinuità (Fig. 5a) ha evidenziato la presenza di numerose famiglie orientate rispettivamente NE-SW subverticale, prevalente, E-W, ENE-WSW subverticali, subordinate, NW-SE subverticale, subordinata ma spesso francamente beante per incarsimento.

---

(1) Le definizioni formazionali riportate sono quelle informali proposte da Cucchi, Pirini Radrizzani e Pugliese nel recente "International Symposium on the Evolution of the Karstic Carbonate Platform" tenutosi a Trieste i primi di giugno 1987. Si rimanda alla Guida della Escursione sul Carso di Trieste tenuta nell'occasione, per la caratterizzazione dei litotipi afferenti alle diverse formazioni.

(2) In questa e nelle altre aree, dal Catasto Regionale delle Grotte si sono individuate e analizzate le cavità catastate in un'area subcircolare, centrata sul punto di misura ed avente raggio di circa 500 metri.



Fig. 4: Sito delle Girandole, panoramica.



Fig. 6: Sito di Zolla, panoramica.

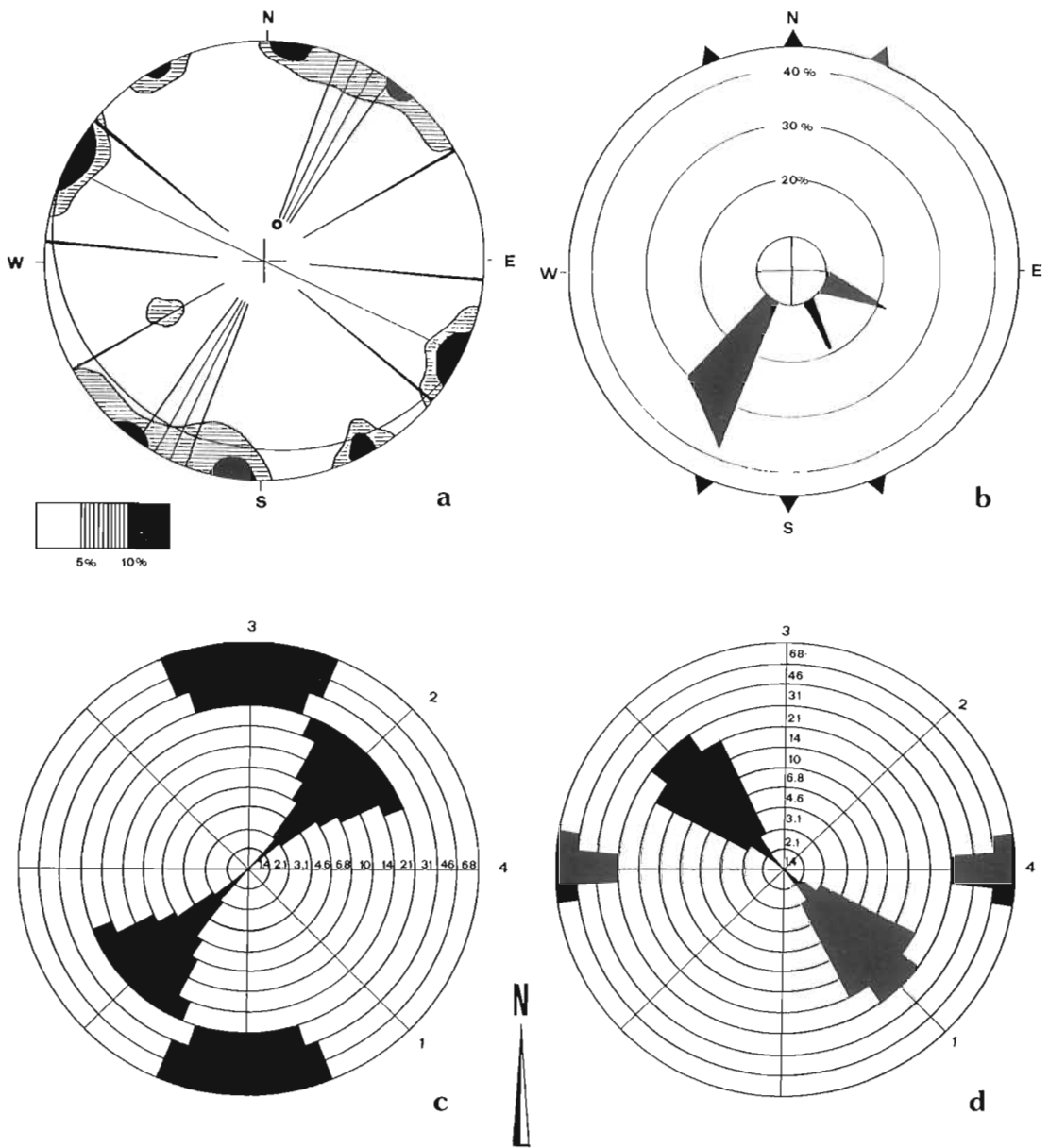


Fig. 5: Sito delle Girandole.

- a: diagramma statistico-strutturale delle discontinuità rilevate (rappresentazione polare su reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); il cerchietto indica il polo della stratificazione, i grandi cerchi i piani rappresentativi delle diverse famiglie.
- b: progressioni di sviluppo, delle cavità della zona; i triangoli esterni indicano le direzioni dei piani "strutturanti" le cavità subverticali.
- c: S.E.V., distribuzione dei valori di resistività massimi per le varie semispaziature elettrodiche e lungo i diversi allineamenti.
- d: Sondaggi a polarizzazione indotta, distribuzione dei valori di caricabilità massimi per le varie semispaziature elettrodiche e lungo i diversi allineamenti.

Il volume unitario medio indicativo è di una ventina di dmc.

La direzione fra SW e SSW è anche quella più frequente nello sviluppo del carsismo ipogeo, come risulta dall'analisi delle progressioni di sviluppo delle 27 cavità presenti nell'area circostante il punto di misura (Fig. 5b).

La prova di resistività condotta su un campione (dimensioni  $6 \times 3 \times 8$  cm) ha fatto registrare un valore di 11800 ohm  $\times$  m.

Il punto di misura è stato ubicato immediatamente a Nord delle villette delle Girandole; i valori di resistività risultano in superficie massimi in direzione NE-SW, coincidente con la direzione della famiglia di fratturazione principale e del massimo sviluppo del carsismo ipogeo. Perpendicolarmente sono stati registrati, sempre superficialmente, i massimi valori di polarizzazione indotta, secondo noi collegabili a depositi di materiali argillosi e all'altra famiglia di fratture incarsite.

Va notato come a profondità superiori, per misure con AB/2 maggiori di 21.5 metri, si rilevano dati geofisici che indicano condizioni di carsificazione e riempimento differenti (Figg. 5c e 5d).

### **Sito di Zolla**

L'area presenta radi affioramenti dei litotipi dolomitici appartenenti alla "formazione di Zolla", con copertura terroso-detritica prevalente (Fig. 6). Il punto di misura è stato ubicato su un versante poco acclive, esposto a SE a meno di un centinaio di metri dall'abitato di Zolla. La roccia è costituita nell'area da dolomie ben stratificate con tasche e lenti calcareo-dolomitiche, talora in eteropia laterale con brecce dolomitiche a stratificazione indistinta e con calcari più o meno dolomitici, fittamente stratificati.

L'assetto della zona è a monoclinale con direzione di stratificazione E-W e inclinazione da 10° a 20° verso Sud.

L'analisi statistica ha evidenziato due famiglie di fratturazione principali a direzione NNE-SSW e E-W entrambe subverticali a frequenza decimetrica; ad esse va associata una famiglia secondaria, a direzione NW-SE subverticale (Fig. 7a).

Mediamente, i volumi unitari separati sono di alcuni dmc.

Date le caratteristiche litologiche, nell'area considerata non sono presenti fenomeni di incarsimento superficiale e risultano assenti cavità catastate, per cui non si è costruito il diagramma delle progressioni di sviluppo. Cavità ubicate nei dintorni sono prevalentemente subverticali, con condizionamento strutturale prevalente a direzione NW-SE.

Un allineamento, evidente alle foto aeree, interessa l'area con andamento NE-SW.

Le prove dirette di resistività, condotte su un campione dolomitico rappresentativo (dimensioni  $6 \times 3 \times 8$  cm) hanno fatto registrare un valore di 5600 ohm  $\times$  m.

I sondaggi elettrici hanno mostrato valori massimi di resistività in direzione NE-SW (Fig. 7b), mentre valori massimi di polarizzazione indotta si sono riscontrati in direzione NW-SE (Fig. 7c). I risultati sono, in questo caso, forse poco validi in quanto le direzioni di misura non coincidono qui con quelle delle famiglie di fratturazione. Tuttavia, a nostro avviso, anche nel sito di Zolla la direzione di resistività massima (NE-SW, per l'allineamento 4) indica le fratture maggiormente incarsite (famiglie NNE-SSW e E-W), mentre si riscontra la polarizzazione massima, come negli altri siti, in direzione perpendicolare.

### **Sito di Monte Grisa**

Il sito, ubicato in prossimità del crinale, 500 metri a NE del santuario di Monte Grisa, è caratterizzato dalla tipica morfologia "a carso coperto" (Fig. 8) con frequenti depositi di pietrisco e terre che coprono un substrato di calcari a stratificazione netta a frequenza centidecimetrica, appartenenti alla "formazione di M. Grisa".



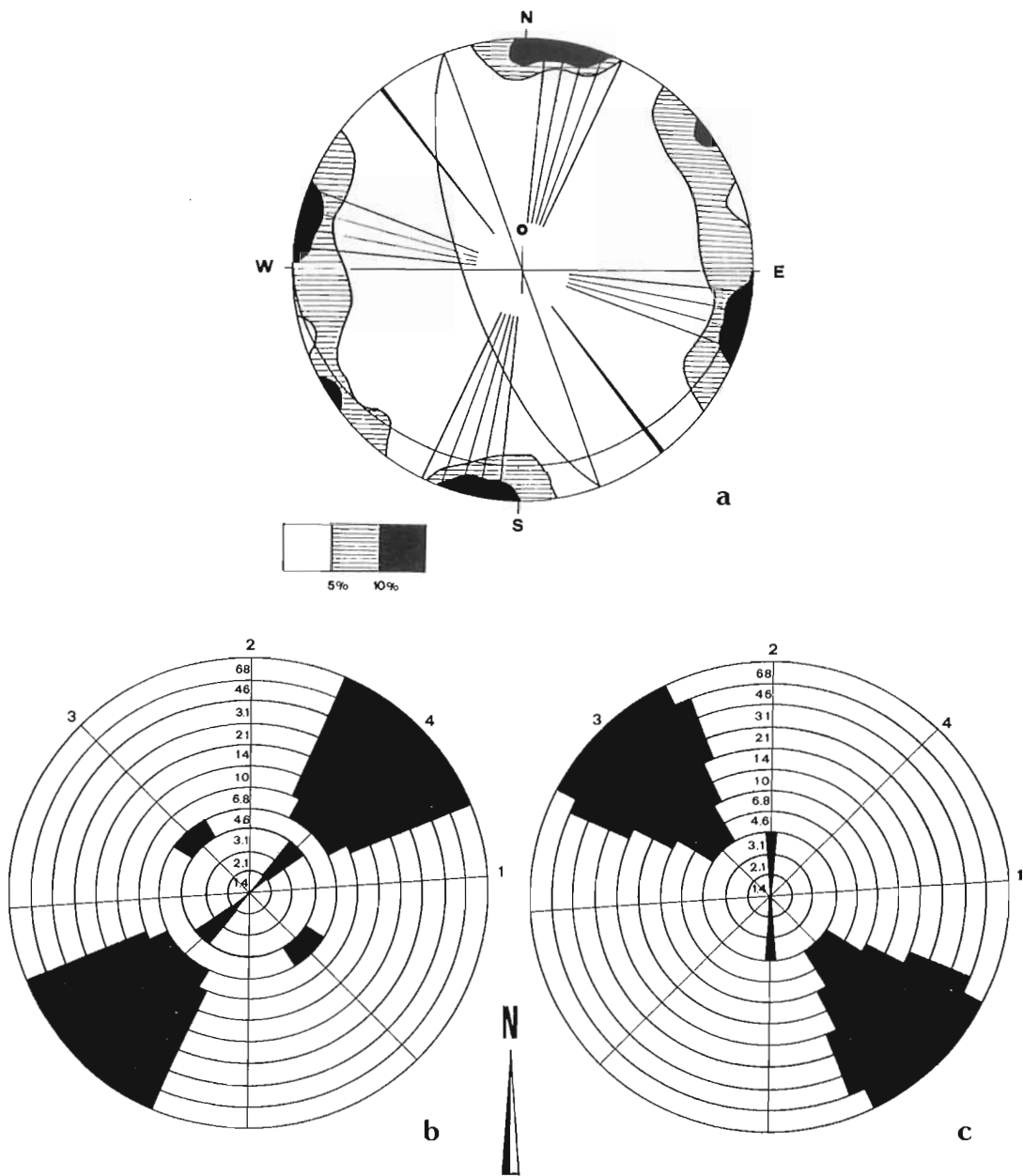


Fig. 7: Sito di Zolla

a: diagramma statistico-strutturale delle discontinuità rilevate (rappresentazione polare su reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); il cerchietto indica il polo della stratificazione, i grandi cerchi i piani rappresentativi delle diverse famiglie.

b: S.E.V., distribuzione dei valori di resistività massimi per le varie semispaziature elettrode e lungo i diversi allineamenti.

c: Sondaggi a polarizzazione indotta, distribuzione dei valori di caricabilità massimi per le varie semispaziature elettrode e lungo i diversi allineamenti.

(mancando cavità nella zona non è stato redatto il diagramma delle progressioni di sviluppo)



Fig. 8: Sito di Monte Grisa, panoramica.



Fig. 11: Sito della Grotta dell'Orso, panoramica.

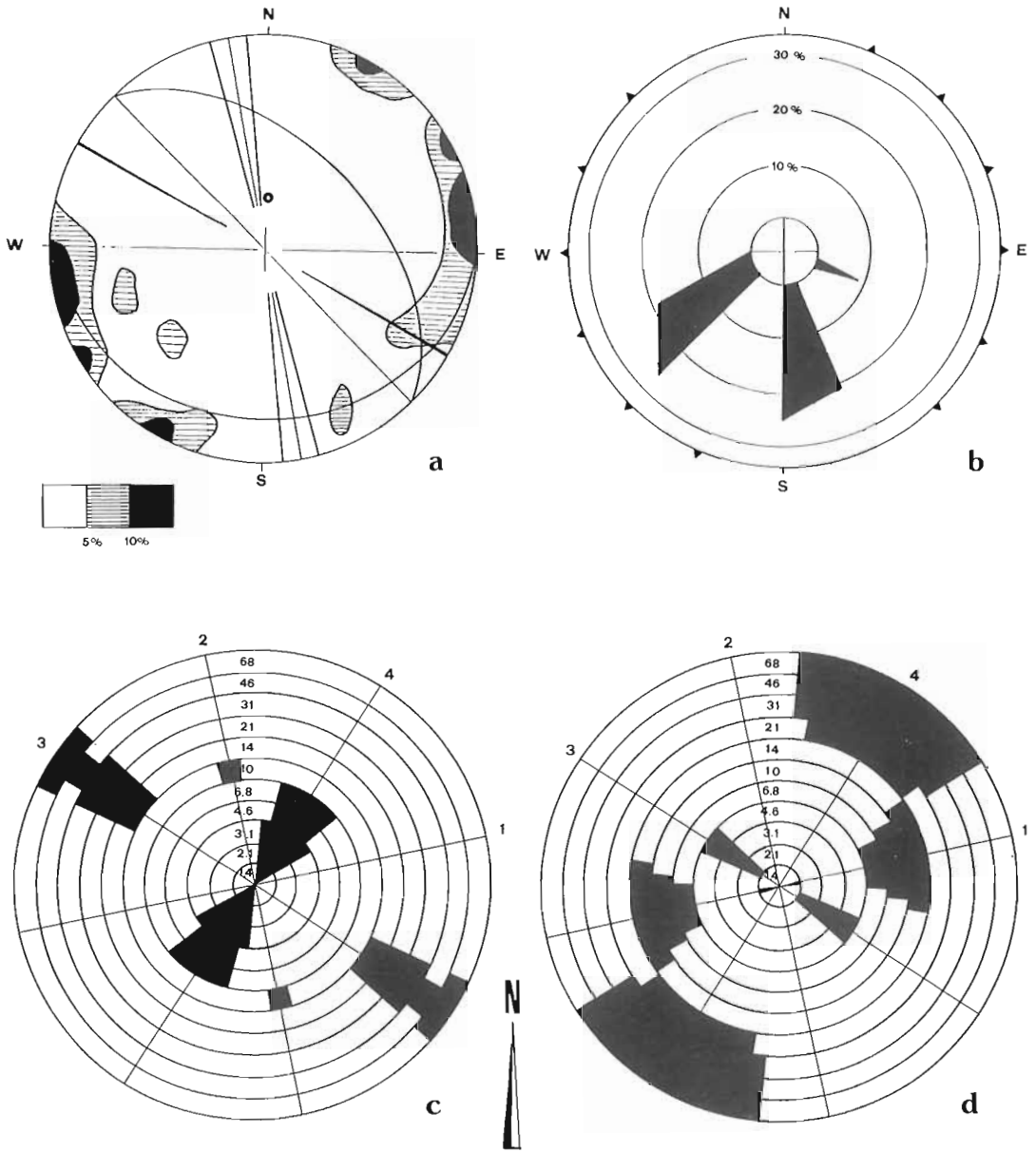


Fig. 9: Sito di Monte Grisa.

- a: diagramma statistico-strutturale delle discontinuità rilevate (rappresentazione polare su reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); il cerchietto indica il polo della stratificazione, i grandi cerchi i piani rappresentativi delle diverse famiglie.
- b: progressioni di sviluppo delle cavità della zona; i triangoli esterni indicano le direzioni dei piani "strutturanti" le cavità subverticali.
- c: S.E.V., distribuzione dei valori di resistività massimi per le varie semispaziature elettrodiche e lungo i diversi allineamenti.
- d: Sondaggi a polarizzazione indotta, distribuzione dei valori di caricabilità massimi per le varie semispaziature elettrodiche e lungo i diversi allineamenti.

La stratificazione ha direzione media E-W, inclinazione prevalente di  $10^\circ$  verso Sud. L'inclinazione aumenta progressivamente verso il margine sud-occidentale.

L'analisi statistica (Fig. 9a) ha posto in evidenza due famiglie di fratturazione principali, sub-verticali aventi direzione da N-S a NNW-SSE e ESE-WNW rispettivamente; entrambe scarsamente incarsite hanno frequenza centi-decimetrica. Il volume unitario medio è indicativamente inferiore al dmc.

Le 5 cavità presenti nei dintorni del punto di misura sono ubicate prevalentemente nella parte settentrionale dell'area e presentano due direzioni preferenziali di sviluppo, verso S (nella direzione di massima pendenza della stratificazione) e verso SW rispettivamente (Fig. 9b).

I sondaggi elettrici evidenziano a poca profondità valori massimi di resistività in direzione NE-SW e valori massimi di polarizzazione indotta in direzione ESE-WNW, parallela quest'ultima ad una delle due famiglie principali di fratturazione. Per semispaziature elettrodeiche maggiori si sono rilevate notevoli anisotropie dei due parametri geofisici. Si verifica tuttavia anche in questo sito che i valori massimi di resistività e di polarizzazione caratterizzano direzioni fra loro perpendicolari (Figg. 9c e 9d). Ne risulterebbe un certo incarsimento, evidenziato solo in profondità, in direzioni (NW-SE) non evidenti in superficie.

### Sito della Grotta dell'Orso

Una serie di misure geofisiche multidirezionali è stata eseguita in corrispondenza della cavità nota come "Grotta dell'Orso" (7 VG), vano di dimensioni notevoli (Fig. 10), a sviluppo suborizzontale in direzione SE (primo tratto) e SW (secondo tratto). Al di sopra di quest'ultimo, con circa 35 metri di spessore di volta, è stato posizionato il centro del dispositivo.

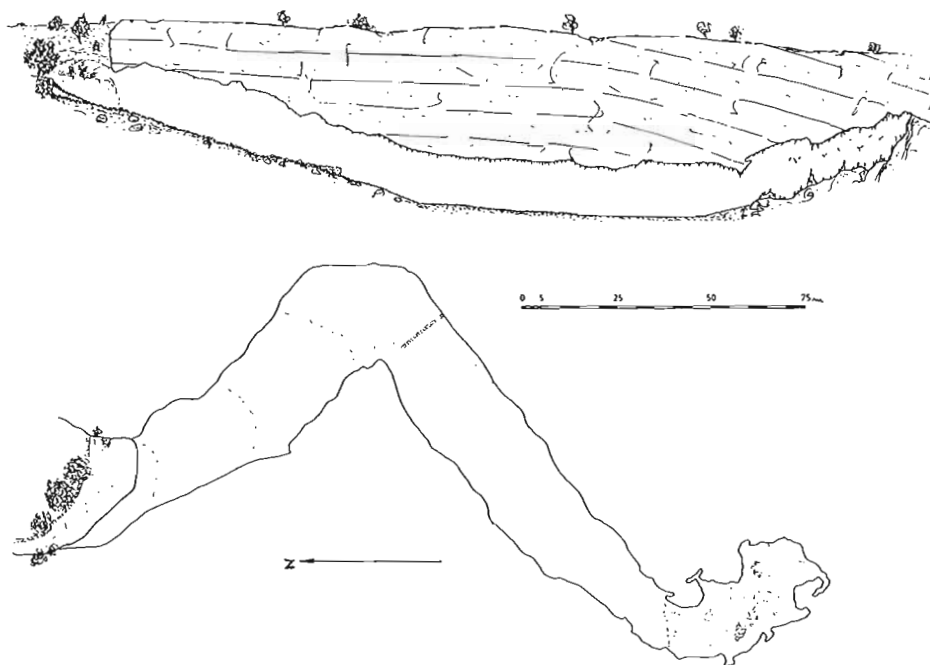


Fig. 10: Pianta e sezione della Grotta dell'Orso, 7VG.

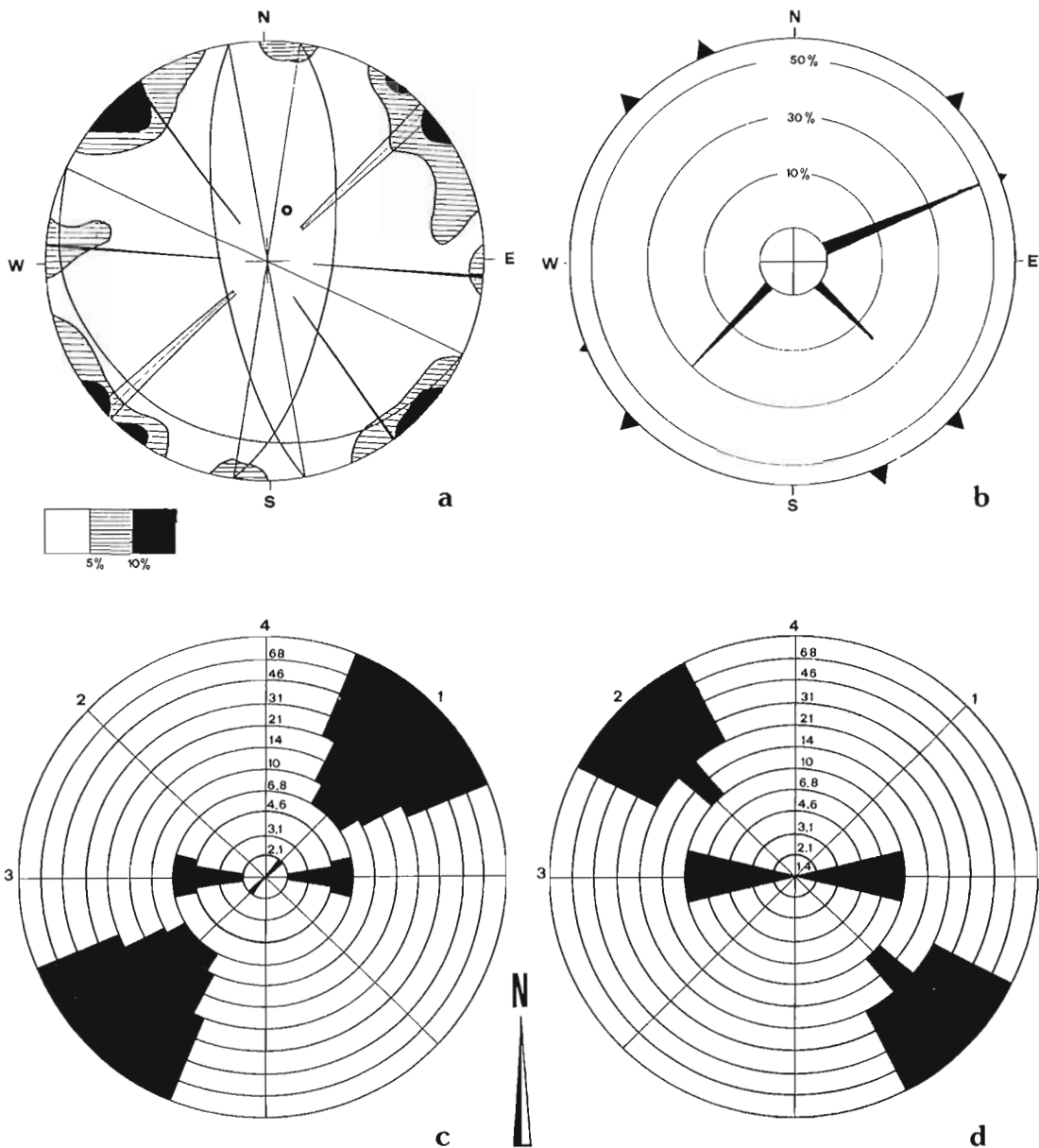


Fig. 12: Sito della Grotta dell'Orso.

- a: diagramma statistico-strutturale delle discontinuità rilevate (rappresentazione polare su reticolo di Schmidt, emisfero inferiore); il cerchietto indica il polo della stratificazione, i grandi cerchi i piani rappresentativi delle diverse famiglie.
- b: progressioni di sviluppo delle cavità della zona; i triangoli esterni indicano le direzioni dei piani "strutturanti" le cavità subverticali.
- c: S.E.V., distribuzione dei valori di resistività massimi per le varie semispaziature elettrodiche e lungo i diversi allineamenti.
- d: Sondaggi a polarizzazione indotta, distribuzione dei valori di caricabilità massimi per le varie semispaziature elettrodiche e lungo i diversi allineamenti.

L'area, che presenta una morfologia "a blocchi", è caratterizzata da affioramenti di calcari appartenenti alla "formazione di Borgo Grotta Gigante", compatti, nettamente stratificati a periodo da decimetrico a metrico, con ben sviluppati e diffusi fenomeni di carsismo epigeo ed ipogeo e si apre fra le numerose ed ampie doline dell'area compresa tra Gabrovizza e Sgonico (Fig. 11).

La stratificazione ha direzione  $W30^{\circ}N-E30^{\circ}S$ , inclinazione media di  $18^{\circ}$  verso Sud. Due famiglie di fratturazione principali risultano dall'analisi statistica: hanno direzioni NE-SW, NW-SE e sono subverticali con frequenza decimetrica. È presente anche una famiglia secondaria subverticale ad orientamento E-W (Fig. 12a).

Il volume unitario medio è di circa 20 dmc.

Un allineamento evidente, localmente individuato dalle foto aeree, ha direzione NE-SW.

Le cavità catastate presenti nei dintorni sono 17, 14 a sviluppo prevalentemente verticale e 3 (fra cui la "Grotta Ercole") a sviluppo prevalentemente suborizzontale. Esse presentano direzione preferenziale di sviluppo ENE, con due direzioni secondarie verso SE e SW rispettivamente (Fig. 12b).

I valori misurati confermano la presenza in profondità di fenomeni di incarsimento lungo direzioni NE-SW con resistività massima nella direzione (allineamento 1) e massima caricabilità in direzione perpendicolare (allineamento 2). Nel caso specifico, lungo la direzione ed al di sotto della stazione di misura è presente un tratto della Grotta dell'Orso: anche se la cavità è a profondità non investigata, l'incarsimento al tetto ad essa legato viene evidenziato nettamente.

## Conclusioni

L'assunzione puntuale, con determinate geometrie dei dispositivi elettrici, dei dati di resistività e di polarizzazione indotta, integrata dall'analisi morfologica, geologico-strutturale e dei fenomeni di incarsimento epigei ed ipogei, ha consentito di definire alcune relazioni intercorrenti fra i parametri geofisici e le diverse situazioni di evoluzione del carsismo ipogeo superficiale.

Si sono riscontrati valori massimi di resistività in direzioni coincidenti con quelle delle famiglie di fratturazioni principali, subverticali, più incarsite e/o con le direzioni di sviluppo preferenziale delle cavità note presenti nei dintorni.

Quasi sempre in direzione perpendicolare a quelle in cui si riscontrano i valori massimi di resistività (e quindi di incarsimento) si sono riscontrati valori massimi di caricabilità. Si può quindi affermare che le condizioni di incarsimento preferenziale lungo una data direzione (o meglio lungo piani aventi una data direzione), siano evidenziate dalla congiunta situazione di massima (anche se relativa) resistività nella direzione e di massima (anche se relativa) polarizzazione indotta in direzione perpendicolare.

Alti valori di polarizzazione indotta sono stati riscontrati anche in direzioni coincidenti con quelle delle famiglie di fratturazione secondaria, variamente inclinate, scarsamente interessate da fenomeni di carsismo superficiale ed ipogeo e dei piani di stratificazione non molto inclinati e quindi sedi di accumulo di materiali terroso-detritici e argillosi.

Nell'ambito del modello interpretativo, confermato dalle misure eseguite presso la Grotta dell'Orso in una situazione di carsificazione ipogea nota, si possono distinguere diversi "livelli di risposta" del terreno alle metodologie geofisiche impiegate.

Alti e soddisfacenti livelli di risposta si sono ottenuti in aree dove, per il tipo litologico affiorante e la situazione strutturale esistente, si verifica una carsificazione più marcata. In presenza di carsismo meno intenso o di forme paracarsiche, il livello di risposta è più basso in quanto la carsificazione non esalta la situazione geologico-strutturale e le relazioni fra i parametri geofisici e la carsificazione risultano meno significative e meno nette.

In questi casi le misure geofisiche, per quanto riguarda la definizione della intensità e del tipo di carsificazione, assumono validità minore e limitata alla parte superficiale dei termini carbonatici.

Là dove la carsificazione è intensa e l'evoluzione del carsismo complessa, la metodologia della polarizzazione indotta, affiancata ai consueti sondaggi elettrici verticali, consente in particolare di ipotizzare modelli geologici sufficientemente affidabili e plausibili.

### Bibliografia

- BERLASSO G., CUCCHI F., GIORGETTI F., ULCIGRAI F., 1981. *Procèdes géophysiques sur terrains karstiques*. Ann. Soc. Géologique de Belgique, T. 108, 1985: 141-146.
- BODMER R., WARD S.H., MORRISON H.F., 1968. *Induced electrical polarization and ground water*. Geophysics, 35, 5.
- CAMPBELL D.L., 1977. *Model for estimating electrical macroanisotropy coefficient of aquifer with horizontal and vertical fractures*. Geophysics, 42, 1.
- CUCCHI F., FORTI F., SEMERARO R., 1975. *Studio geomorfologico della Grotta di Padriciano (VG 12)*. Atti e Mem. Comm. Gr. "E. Boegan", 15.
- CUCCHI F., 1975. *I diagrammi nello studio delle cavità*. Atti e Mem. Comm. Gr. "E. Boegan", 15.
- FORTI F., 1972. *Proposta di una scala di carsificabilità delle carbonatiti calcaree del Carso Triestino*. Atti Mus. Civ. Storia Nat., 1, 28.
- FORTI F., 1980. *Proposta di classificazione pratica delle morfologie carsiche epigee*. Atti e Mem. Comm. Gr. "E. Boegan", 18.
- KOEFOD O., 1979. *Geosounding principles*. Elsevier pubb.
- MARSHALL D.J., MADDEN T.R., 1959. *Induced polarization, a study of its causes*. Geophysics, 24.
- MONGELLI F., PATELLA D., 1971. *About a method of representation of induced polarization values obtained over sedimentary formation*. Geophysical prospecting, 19.
- MULLER I., 1982. *Résultats préliminaires des sondages géophysiques pluridirectionnels dans la région de Baume*. Bull. Soc. Neuchatel Sc. Nat., 105.
- OGILVY A.A., KUZMINA E.N., 1972. *Hydrogeologic and engineering-geologic possibilities for employing the method of induced potentials*. Geophysics, 37.
- PATELLA D., SCHIAVONE D., 1977. *Comparative analysis of time domain and frequency domain in the induced polarization prospecting method*. Geophysical prospecting, 25.
- SUMI F., 1965. *Prospecting for non-metallic minerals by induced polarization*. Geophysical prospecting, 13.