

FRANCO CUCCHI (\*), FRANCESCO GIORGETTI (\*),  
FEDERICO PILLININI(\*\*)

## RISULTATI DI INDAGINI ELETTROMAGNETICHE ESEGUITE SUL CARSO TRIESTINO

### RIASSUNTO

Si è sperimentato il metodo di prospezione elettromagnetica VLF (Very Low Frequency) su una porzione di territorio carsico per evidenziare eventuali anomalie imputabili alle vie di principale deflusso sotterraneo del Fiume Timavo. La zona indagata è situata nel Carso Triestino centro occidentale. Sono stati indagati 11 profili per un totale di 25 chilometri: in ogni punto di misura, effettuato ogni 10 metri, è stata rilevata sia la componente reale che quella immaginaria del vettore rotante risultante. I dati rilevati in campagna sono stati filtrati con un opportuno filtro matematico. Da un centinaio di indicazioni di anomalia rilevate complessivamente se ne sono selezionate circa una ventina sicuramente attribuibili a cause geologiche e non a opere artificiali molto frequenti nell'area esaminata. Le interpretazioni geologiche hanno permesso di identificare una anomalia riferibile ad un ramo del F. Timavo in località San Giovanni al Timavo, alla profondità di 150 metri, 850 metri ad est delle risorgive del fiume. Si è inoltre individuata la presenza di acqua dolce, dispersa a profondità variabili dai 15 ai 60 metri, in prossimità del confine di Stato all' altezza di Ceroglie dell'Ermada - San Pelagio. Le altre anomalie sono state valutate come buoni conduttori costituiti prevalentemente da depositi argillosi.

### SUMMARY

The VLF (Very Low Frequency) electromagnetic surveying method was experimented on a stretch of Karst land to detect possible anomalies due to the main underground waterways of the Timavo River. The survey was conducted on the area situated in the mid-west part of the Carso Triestino region. 11 profiles were examined for a total of 25 km. Measuring stations were located at a distance of 10 m one from the other. At each station both the real and the imaginary components of the resulting rotating vector were measured. Data thereby obtained were filtered through a suitable mathematical filter. Out of the detected anomalies - about one hundred - 20 were selected, namely those which could be attributed with absolute certainty to geological phenomena and not to artificial ones. The latter are frequent in the surveyed area. Geological interpretation enabled the identification of an anomaly concerning a branch of the Timavo River in the vicinity of S. Giovanni al Timavo, located at a depth of 150 m and 850 east of the

(\*) Istituto di Geologia e Paleontologia, Università degli Studi, Trieste.

(\*\*) Via G. Tonello 22, Trieste.

river's springs. Furthermore, fresh water was detected at a depth of 15 to 60 m in the proximity of the Italian-Slovenian border, between Ceroglie dell'Ermada and S. Pelagio. The other anomalies were assessed as good conductors prevalently due to clay deposits.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Die elektromagnetische VLF-Prospektionsmethode (Very Low Frequency) wurde an einem Streifen des Karstplateaus zur Ermittlung eventueller Anomalien am unterirdischen Hauptstrom des Timavus angewandt.

Die untersuchte Gegend befindet sich im mittleren-westlichen Triestiner Karst und umfasst eine Länge von 25 km mit 11 verschiedenen, in 10 m Abständen angelegten Vermessungspunkten, für die sowohl die wirkliche als auch die imaginäre Komponente des Vektors des resultierenden Rotierenden aufgenommen wurde.

Die hiermit gewonnenen Vermessungsdaten wurden mit einem geeigneten mathematischen Filter bereinigt. Von insgesamt ca. 100 festgestellten Anomalien wurden ca. 20 ausgewählt, die mit Sicherheit auf geologische und nicht künstliche Faktoren zurückzuführen sind. Durch geologische Auswertungen war es möglich, eine Anomalie an einem Timavus-Zweig in der Gegend S. Giovanni di Duino bei 150 m Tiefe und 850 m östlich der Timavus-Quellen festzustellen. Ebenso konnte das Vorkommen von Süßwasser bei 15-60 m Tiefe der Nähe der Staatsgrenze bei Ceroglie dell'Ermada-San Pelagio entdeckt werden. Alle weiteren Anomalien wiesen sich als gute Leiter aus hauptsächlich lehmigen Lagern auf.

#### POVZETEK

Metoda VLH (Very Low Frequency) smo preizkusili na delu Kraškega ozemlja z namenom, da bi ugotovili morebitne anomalije v zvezi z glavnim podzemljskim odtokom reke Timav. Raziskano področje se nahaja na sredi Zahodnega Krasa. Skupna vsota merjenih 11 profilov znaša 25 kilometrov. Na vsaki merilni točki, ki je bila od drugih oddaljena 10 metrov, smo ugotovili tako realno, kot imaginarno komponeneto vektorja. Na terenu dobljene rezultate smo predelali s primernim matematičnim rešetom. Iz okoli sto ugotovljenih anomalij smo dobili kakih 20, ki jih lahko z gotovostjo pripišemo geološkim faktorjem in ne umetnim tvorbam, ki so na tem področju zelo številne. Geološka interpretacija je omogočila, da smo eno izmed anomalij pripisali kraku reke Timav pri Štivanu, ki se nahaja na globini 150 metrov, 850 metrov vzhodno glede na izvire reke. Poleg tega smo v bližini državne meje pri Cerovljah in Šempolaju, ugotovili prisotnost sladke vode na različnih globinah od 15 do 60 metrov. Ostale anomalije smo ocenili kot dobre prevodnike, ki jih sestavlja pretežno glina.

#### Premessa

Le esperienze di indagini e di analisi del sottosuolo, basate sul rapporto di causa ed effetto tra campo magnetico e corrente indotta, hanno portato alla messa a punto di specifici metodi di prospezione fra i quali, in particolare, quello elettromagnetico VLF. Si è voluto sperimentare il metodo di prospezione VLF su una porzione di territorio carsico per cercare di evidenziare eventuali anomalie imputabili ai fenomeni carsici collegati alle vie di principale deflusso sotterraneo del F. Timavo con un certo successo dato che si sono ottenute nuove informazioni sullo scorrimento di acque sotterranee in zone, come quella studiata, difficilmente analizzabili con altri metodi di prospezione geofisica.

#### Accenno ai principi teorici del metodo

Il metodo di prospezione VLF utilizza le componenti magnetiche del campo elettromagnetico generato dalle onde radio di stazioni trasmettenti che usano la banda di

frequenza VLF (Very Low Frequency, 15-30 KHZ). Tali frequenze sono per lo più usate per le radio comunicazioni militari a grande distanza (ABEM, 1988).

Quando il campo emesso da una stazione trasmittente in VLF attraversa un corpo avente bassa resistività elettrica e quindi conduttore, nel corpo stesso si creano, per induzione, dei circuiti secondari detti anche correnti elettriche indotte. Queste correnti indotte creano, a loro volta, un campo magnetico secondario opposto al campo magnetico originale. (fig. 1).

L'anomalia creata da un corpo geologico conduttivo è ben rilevabile quando il corpo è posto trasversalmente alle linee equipotenziali del campo elettromagnetico generato dalle onde radio ed ha una conducibilità sufficientemente elevata.

Misurando lungo predeterminati profili la componente reale ed immaginaria del vettore rotante risultante si possono mettere in evidenza, filtrando i dati rilevati, le variazioni di densità di corrente equivalente presenti nel sottosuolo rappresentate sulle "pseudosezioni". Tali variazioni sono dovute alla diversa conducibilità dei vari litotipi individuati durante la prospezione. L'analisi e l'elaborazione dei dati consente di definire con buona approssimazione la presenza, le dimensioni e la profondità dei corpi geologici. Inserendo poi l'anomalia nel contesto geologico è possibile ipotizzare le caratteristiche litologiche e morfologiche del corpo stesso.

### Acquisizione dei dati di campagna

La zona indagata è situata sul Carso Triestino centro occidentale ove, sulla base delle conoscenze pregresse, era possibile ipotizzare con alta probabilità l'intercettazione delle acque sotterranee a profondità non eccessive.

Definita la zona di interesse, estrapolata la traiettoria di massima delle acque del Timavo, si sono definiti i profili lungo i quali effettuare le misure: sono così stati indagati 11 profili orientati grossomodo NE-SW per un totale di circa 25 Km di indagine. Ogni profilo è stato coperto mediamente da 300 punti di misura, con passo di 10 m, come consuetudine per questo tipo di ricerche. La distanza tra i profili, grossomodo disposti ortogonalmente alle possibili anomalie, non è risultata, per motivi legati alla percorribilità, costante ed è comunque compresa fra 1 e 2 km.

In ogni punto di misura è stata rilevata sia la componente reale che quella immaginaria del vettore rotante risultante.

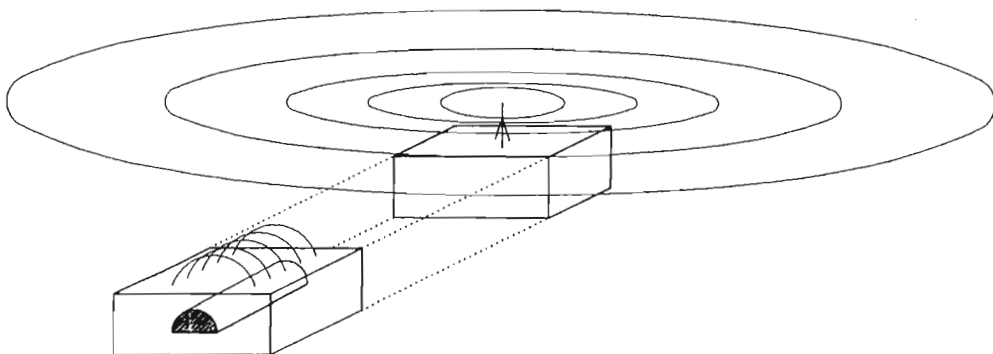


FIGURA 1: Il metodo di prospezione elettromagnetica VLF.

## Interpretazione geologica delle anomalie

L'area studiata è costituita da calcari ed in essa affiorano i litotipi afferenti a quattro unità litologiche: il Membro di Monte Coste a carsificabilità da media a medio alta, il Membro di Rupingrande a carsificabilità molto bassa, quasi nulla, il Membro di Zolla a carsificabilità da media a medio bassa, il Membro di Borgo Grotta Gigante ad altissima carsificabilità. Queste unità affiorano secondo fasce parallele a direzione NW-SE e larghezza variabile, dato che, dal punto di vista strutturale, si è in presenza di una monoclinale con strati che immergono di pochi gradi ( $5^\circ \div 20^\circ$ ) verso SW. Per quanto riguarda i limiti tra le diverse Unità si è fatto riferimento a quanto riportato da CUCCHI & AL., (1989).

La roccia è suddivisa secondo un sistema di fratture conseguenti all'azione alternata di stress dinarici ed alpini da cui è risultato un quadro disgiuntivo complesso con famiglie di fratturazione prevalentemente subverticali e preferenzialmente orientate circa N-S, NE-SW, E-W, SE-NW con ampiezza variabile.

Le discontinuità litologiche e quelle strutturali del Carso Triestino ed, in generale, le osservazioni sui fenomeni carsici in prossimità delle zone di interesse, ricavate sia da analisi fotogrammetriche sia da immagini da satellite (MANDLER R., 1992) sono state utili per la corretta interpretazione dei dati che sono stati filtrati con opportuno filtro matematico (KAROUS & HJELT, 1983) ottenendo grafici di più agevole lettura.

In fase di elaborazione si è resa necessaria la valutazione di alcuni "elementi di disturbo" che, se non considerati, avrebbero falsato l'interpretazione finale delle anomalie. Si è tenuto conto infatti del differente comportamento del metodo di indagine in zone disturbate da fattori antropici e si sono così dovuti eliminare diversi spezzoni di profilo non-utilizzabili-per-il-riconoscimento-delle-anomalie-naturali. Tale operazione ha comportato l'eliminazione di ben 18 dei 25 Km complessivi di profilo rilevato. Questo fatto ribadisce le difficoltà dell'utilizzo della metodologia VLF nelle aree ad intensa urbanizzazione.

Da un centinaio di indicazioni di anomalia rilevate complessivamente se ne sono potute così selezionare circa una ventina sicuramente attribuibili a cause geologiche e non a fenomeni artificiali quali tubi interrati, linee elettriche, ecc. molto frequenti nell'area esaminata.

Nella figura 2 sono stati rappresentati schematicamente i profili eseguiti e le cinque principali anomalie rilevate e collegate a fattori idrologici.

Nella figura 3 si può osservare il grafico ottenuto dai dati filtrati alla profondità di 20 metri che contiene, alla progressiva 970, l'anomalia n° 1 che è stata riferita al Timavo. Il picco positivo della curva della componente reale rappresenta il centro dell'anomalia.

In corrispondenza di tale anomalia, ubicata 850 metri ad est delle risorgive del fiume, in località S. Giovanni al Timavo, è stata considerata la possibilità che un ramo del F. Timavo scorra, alla profondità di circa 150 metri, nei litotipi afferenti al Membro di Zolla.

Le altre anomalie sono dovute alla presenza, più o meno diffusa, di acqua dolce presente a profondità variabili dai 15 ai 60 metri in prossimità del confine di Stato, all'altezza di Ceroglie dell'Ermada - S. Pelagio (anomalie n° 2, 3, 4, 5 di fig. 2). Nella figura 4 si osserva l'anomalia n° 2 e la relativa "pseudosezione".

Le altre anomalie individuate sono state interpretate come depositi argillosi contenuti in cavità carsiche o in volumi diffusamente incarsiti. Un esempio è riportato in figura 5.

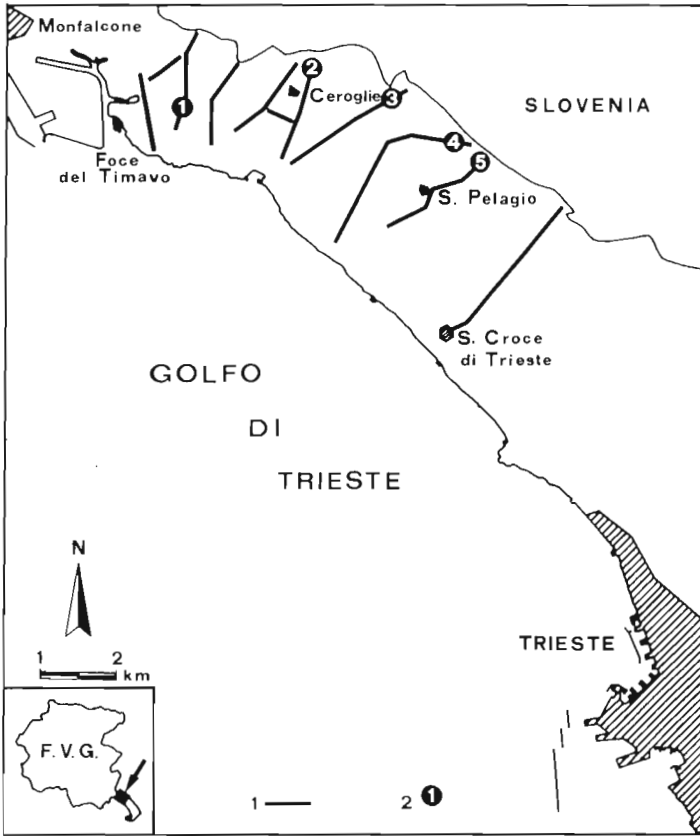


FIGURA 2:  
Pianta di posizione dei profili ed ubicazione delle cinque principali anomalie.

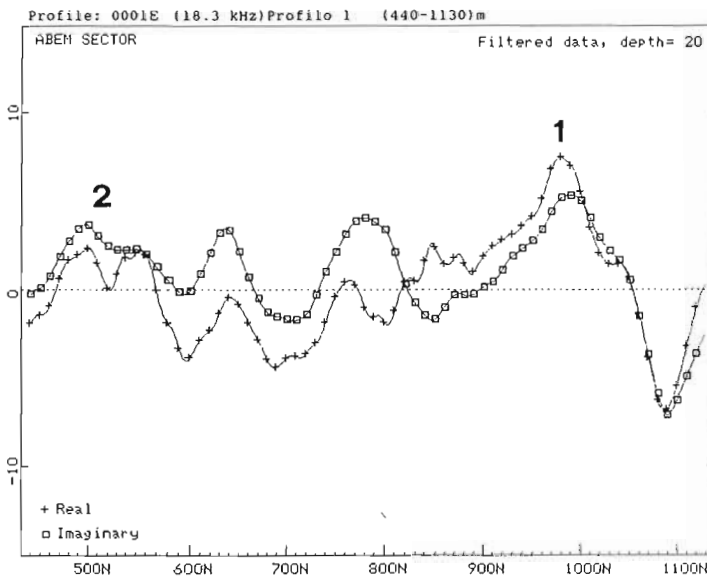


FIGURA 3.  
Rappresentazione del profilo 1 dalla progressiva 440 alla 1130 contenente l'anomalia n° 1 relativa al Fiume Timavo.

Profile: 0002E

Profilo 2 (1970-2530)m

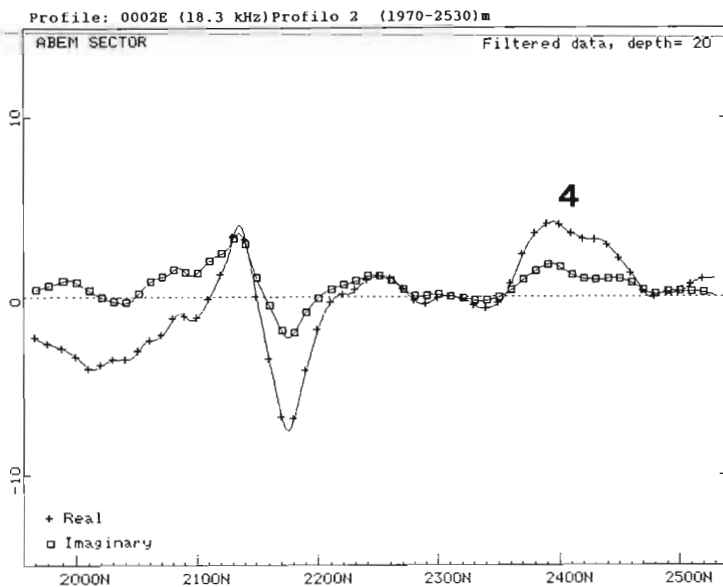
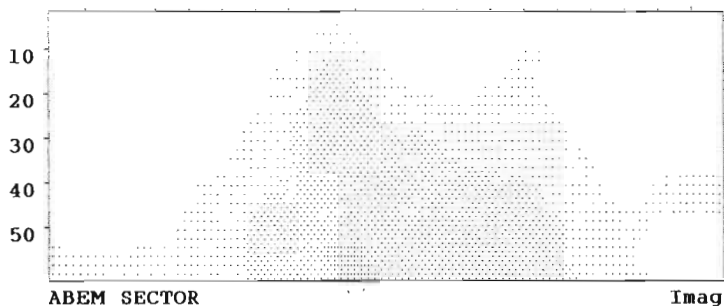
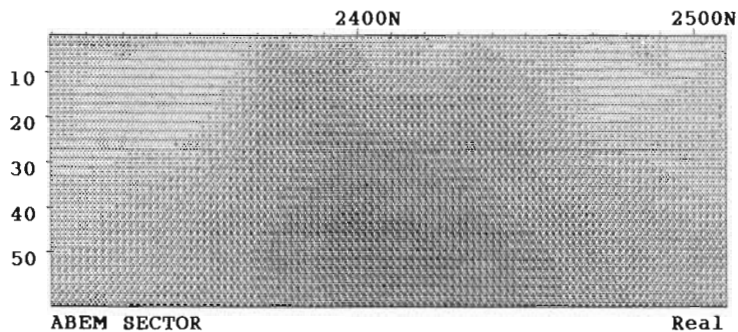


Figura 4. Rappresentazione del profilo 2 dalla progressiva 1970 alla 2530 contenente l'anomalia n° 2 e relative pseudosezioni della componente reale ed immaginaria alla progressiva metrica di interesse. Sulla pseudosezione della parte reale si osserva, nella zona più scura, l'anomalia riferita all'acqua dolce.

Profile: 0403E

Profilo 7 (1330-2040)m

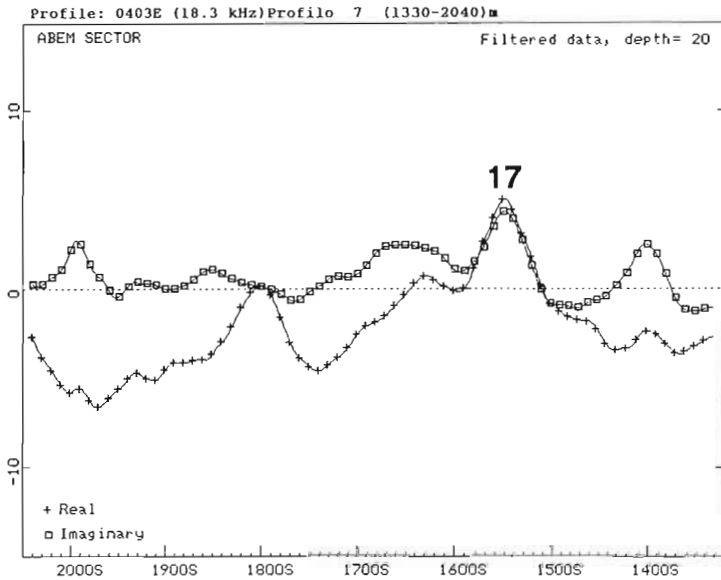
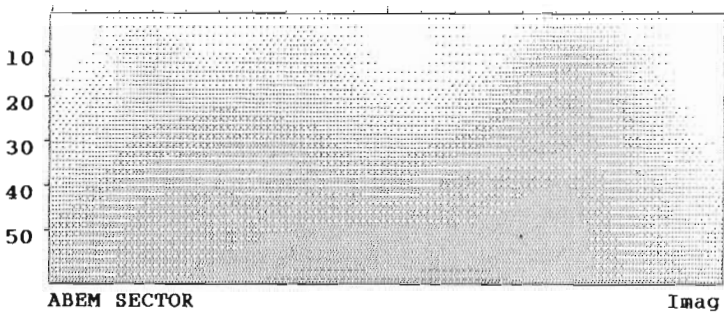
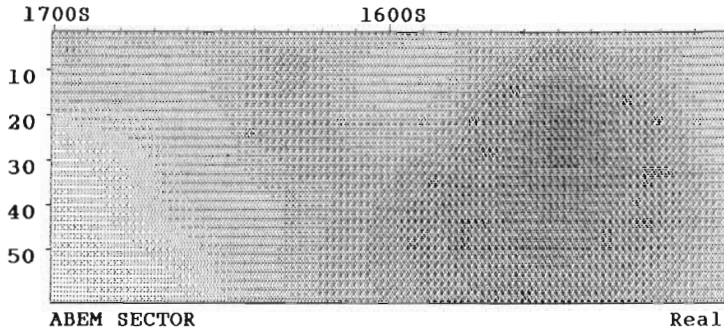


Figura 5. Rappresentazione del profilo 7 dalla progressiva 1330 alla 2040 contenente l'anomalia n° 17 che mette in luce, nella zona più scura della pseudosezione della componente reale, dei riempimenti argillosi umidi in cavità carsiche sotterranee.

## BIBLIOGRAFIA

- ABEM A., 1988 - *WADI VLF instrument; Theory, practice and case stories for WADI operators* - ABEM Interpretation Guide; ABEM Printed Matter 93057; Bromma, Sweden; 1-47.
- CUCCHI F., PUGLIESE N., ULCIGRAI F.; 1989 - *Il Carso Triestino: note geologiche e stratigrafiche* - Int. J. Speleol.; 18 (1-2), 49-64.
- KAROUS M., HJELT S.E.; 1983 - *Linear filtering of VLF dip-angle measurements* - Geophysical Prospecting 31, 782-794.
- MANDLER R.; 1992 - *Aspetti geologico-strutturali del Carso triestino* - Tesi di laurea inedita, Istituto di Geologia e Paleontologia, Università di Trieste, 1-90.