

MARIA TERESA CARROZZO, GIOVANNI LEUCCI,
STEFANO MARGIOTTA, SERGIO NEGRI, LUIGIA NUZZO

Dipartimento di Scienza dei Materiali
Università degli Studi, Via per Arnesano, 73100 LECCE

VALUTAZIONE DEL GRADO DI CARSIFICAZIONE DI UN'AREA A NORD OVEST DI LECCE MEDIANTE INDAGINI INTEGRATE GEOLOGICHE E GEOFISICHE

RIASSUNTO

In un'area posta a NW di Lecce e ad W di Salice Salentino, sono state condotte indagini integrate geologiche e geofisiche finalizzate ad un riconoscimento di primo approccio dell'andamento del reticolo carsico sommerso. La scelta dell'area è scaturita da osservazioni di campagna che evidenziavano la presenza di più forme carsiche quali doline e vore, racchiuse in ristretti ambiti territoriali superficiali intensamente modificati dall'uomo e potenzialmente soggetti ad inquinamento oppure alla captazione di acqua dalla falda.

SUMMARY

In an area located N-W of Lecce, near Salice Salentino, geological and geophysical integrated investigations have been conducted to determine the underground course of the karstic network, whose knowledge would be of fundamental importance both for its protection and for a rational exploitation of the territory. The choice of the area has been (in this sense) favoured by the presence of numerous karstic forms as dolines and sinkholes, and from the evidence of potential sources of pollution, as anthropic settlement, widely cultivated areas, particularly vineyards, as well as wells for water supply.

INTRODUZIONE

L'assetto morfologico del territorio comprendente l'abitato di Salice Salentino è fortemente condizionato dalla presenza di numerose forme carsiche. Il fenomeno carsico ha interessato, in superficie, le calcareniti riferite al Pleistocene. Uno degli obiettivi di questa ricerca è stato quello di tentare, attraverso indagini integrate geologiche e geofisiche, di determinare l'andamento del reticolo carsico esistente nel sottosuolo quale presupposto per l'impostazione di un programma di tutela dei precari equilibri idrogeologici esistenti, per consentire uno sfruttamento più razionale di questo territorio. Le problematiche imposte hanno suggerito di utilizzare indagini geofisiche adottando il metodo GPR (Ground Penetrating Radar) e il metodo Geoelettrico (multielettrodica 2D) preliminarmente procedendo alla esecuzione di alcuni rilievi test in una zona dove i fenomeni di carsismo risultano più evidenti in superficie così da testare la validità delle metodologie scelte ai fini preposti.

Geologia, idrogeologia, geomorfologia dell'area di studio

Le osservazioni derivanti da un rilievo geologico speditivo di campagna, integrate con dati ottenuti dall'acquisizione di successioni stratigrafiche rivenienti dall'esame di carote di perforazioni effettuate nell'area, hanno permesso di ricostruire la locale successione

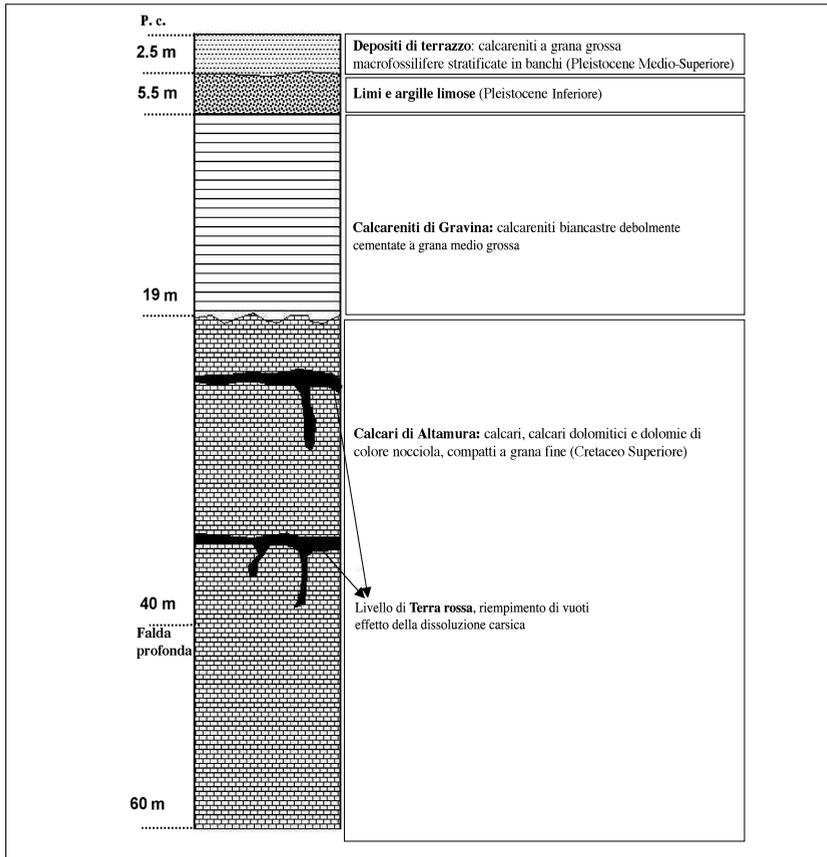


Fig. 1 - Stratigrafia schematica dell'area di indagine.

litostratigrafia (Fig. 1). Al di sotto di una copertura pressoché continua di terreno, limoso argilloso, di spessore decimetrico, sono presenti delle calcareniti a grana grossa, macrofossilifere, stratificate in banchi di spessore variabile. Queste calcareniti, solo a luoghi affioranti, sono riferibili ai Depositi terrazzati del Pleistocene medio–superiore (Fig. 2). Le



Fig. 2 - Discontinuità nelle calcareniti Pleistoceniche (Depositi di Terrazzo) in corrispondenza della quale si è impostato il fenomeno carsico.

osservazioni di superficie hanno permesso di individuare piani di discontinuità nel deposito aventi direzione prevalente WNW–ESE ed E–W. I depositi di terrazzo, aventi modesti spessori, massimi intorno ai 6–7 m, poggiano su limi e argille limose, di potenza non superiore ai 6–7 m, e riferiti in letteratura al Pleistocene medio.

Alla quota intorno ai 15 m rispetto al piano campagna, sono presenti calcareniti biancastre, debolmente cementate, a grana me-

dio-grossa, riferibili all'unità delle Calcareni di Gravina del Pleistocene inferiore. Quindi i depositi Pleistocenici poggiano sul basamento cretaceo, costituito da calcari, calcari dolomitici e dolomie di colore nocciola. Questi ultimi risultano compatti ed a frattura irregolare, nonché interessati da carsismo come testimoniato dalla presenza di diversi livelli di terra rossa, riempimenti di cavità rilevate nel corso di perforazioni per ricerca d'acqua.



Fig. 3 - Veduta di insieme di tre vore allineate lungo una direttrice principale avente direzione circa Est-Ovest.

L'idrogeologia della zona è quindi condizionata dalle successioni litologiche sopra brevemente illustrate ed in particolare dal tipo e grado di permeabilità dei rispettivi litotipi. I depositi del Pleistocene medio-superiore, permeabili per porosità, fessurazione e carsismo, ospitano una falda superficiale a regime stagionale, sostenuta dal livello argilloso impermeabile sottostante. La falda profonda circola a pelo libero nei calcari mesozoici, permeabili per fratturazione e carsismo, e la superficie freatica si attesta a circa 2.5 m sul livello medio marino.

Dal punto di vista morfologico l'area è subpianeggiante con quote che si attestano tra i 45 m ed i 60 m ed è caratterizzata da modeste cadute di quota che danno vita a zone leggermente depresse, probabili doline di contorno, generalmente, subcircolare.

Come detto in precedenza i depositi affioranti in superficie sono fortemente interessati dal processo carsico con produzione sia di microforme quali vaschette di corrosione singole e composite, a contorno prevalentemente lobato e forma irregolare, solchi e crenellature, che di macroforme, in particolare vore (Fig. 3). Nell'area oggetto di studio sono state censite 9 vore. Il contorno di queste forme carsiche è circolare o subcircolare con diametro massimo di una decina di metri e pareti ripide subverticali nella maggior parte dei casi allineate lungo direttrici aventi le stesse direzioni (E-W) delle discontinuità rilevate nei Depositi di Terrazzo.

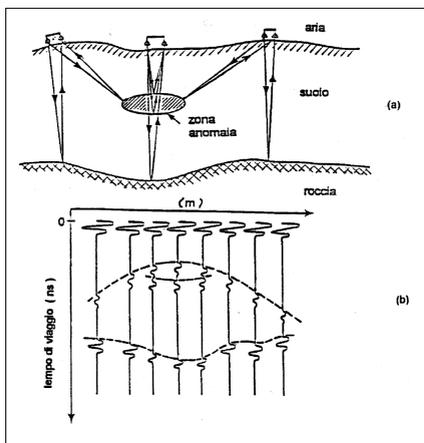


Fig. 4 - a) Illustrazione schematica di un rilievo radar; b) sezione radar ottenuta dal rilievo in a).

METODOLOGIA

Metodo Ground Penetrating Radar (GPR)

Tra i metodi elettromagnetici di investigazione del sottosuolo utilizzabili per piccole profondità il GPR occupa un posto importante per la risoluzione che esso consente di ottenere. Il metodo consiste nell'immettere nel sottosuolo, mediante una antenna trasmittente, impulsi elettromagnetici di assegnata frequenza, e nel ricevere, mediante un'antenna ricevente, gli impulsi elettromagnetici che tornano in superficie dopo essere stati riflessi da corpi con proprietà dielettriche differenti da quelle del mezzo inglobante (DAVIS e ANNAN, 1989) (Fig.4).

Il tempo intercorso tra la immissione dell'impulso elettromagnetico nel terreno e la ricezione di

quello riflesso consente di ricavare la profondità della superficie riflettente, se è nota la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche nel mezzo.

Va sottolineato che le onde elettromagnetiche si propagano molto bene nel vuoto, meno bene nella materia; a volte vengono assorbite anche da strati molto sottili: pertanto il metodo GPR consente di indagare il sottosuolo solo per piccoli spessori (dell'ordine di poche decine di metri).

Il potere risolutivo e la profondità di indagine che si ottengono con il metodo G.P.R. sono influenzati dalle caratteristiche mineralogiche del mezzo attraversato, e principalmente dal suo contenuto in argilla ed in acqua, oltre che dalla vegetazione superficiale e dalla morfologia del terreno.

Le frequenze degli impulsi elettromagnetici utilizzate variano da alcuni MHz ad alcuni GHz. La lunghezza d'onda (λ) la frequenza (f) e la velocità di propagazione (v) dell'impulso elettromagnetico sono legati dalla seguente relazione

$$\lambda = v/f \quad (1)$$

Una volta scelta la frequenza da utilizzare nell'indagine geofisica e conosciuta la velocità di propagazione nel mezzo, la relazione (1) consente di ricavare la lunghezza d'onda e quindi di stimare il potere risolutivo dell'indagine elettromagnetica.

E' evidente che, a parità di v , all'aumentare della frequenza aumenta il potere risolutivo. E' anche noto che all'aumentare della frequenza aumenta il potere di assorbimento del mezzo e diminuisce quindi la profondità di penetrazione.

Metodo Geoelettrico

I metodi di misura della resistività del sottosuolo attraverso l'immissione della corrente continua sono tutti basati sullo stesso principio:

- Una corrente (I) è immessa nel terreno attraverso due elettrodi posizionati sulla superficie del terreno (denotati con A e B).

- La corrente crea una distribuzione equipotenziale che rende possibile la misura di una differenza di potenziale (V) tra due altri elettrodi, posizionati sempre sulla superficie del terreno (denotati M e N).

La resistività apparente è poi definita attraverso la relazione

$$\rho = K * (V/I) \quad (2)$$

dove K (fattore geometrico) dipende solo dalla disposizione geometrica degli elettrodi ed è, in generale, espresso dalla relazione:

$$K = 2\pi / (AM^{-1} - AN^{-1} - BM^{-1} + BN^{-1}) \quad (3)$$

ed assume specifiche espressioni al variare disposizioni elettrodeiche (dipolo-dipolo, wengerschlumberger, ecc...) adoperate nel rilievo geoelettrico. Le varie configurazioni differiscono solo per la posizione degli elettrodi (LOKE, 2000) (Fig. 5).

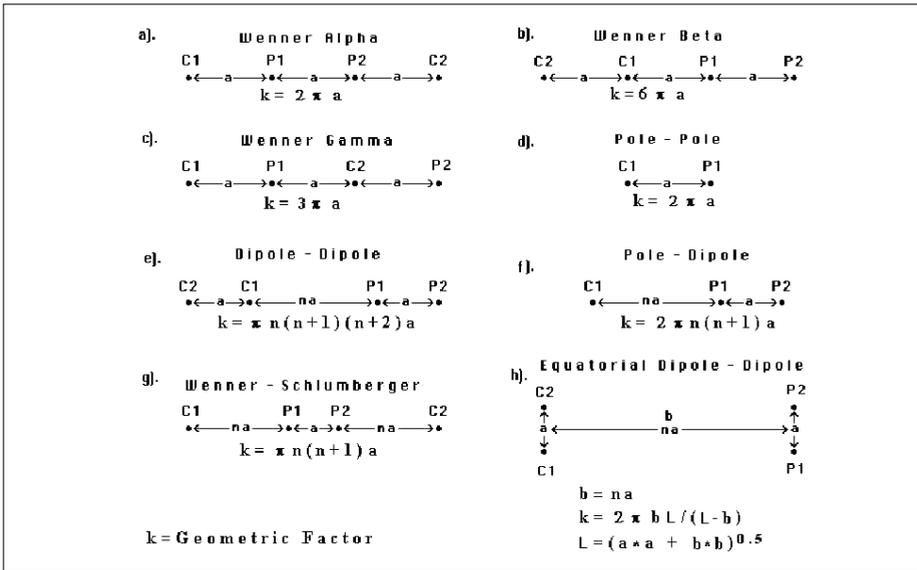


Fig. 5 - Fattore geometrico K associato alle varie disposizioni elettroniche.

Acquisizione, elaborazione ed interpretazione dei dati

Come è noto, molto importante per la buona riuscita di un rilievo geofisico è un'adeguata acquisizione dei dati.

I parametri di acquisizione, infatti, influenzano direttamente la qualità dei dati e di conseguenza la complessità delle successive elaborazioni; la loro scelta pertanto deve essere molto oculata ed effettuata tenendo ben presente gli obiettivi dell'indagine (LEUCCI *et al.*, 2000).

Sono stati effettuati alcuni profili test in un area campione, dove era evidente la presenza di fenomeni carsici in superficie, utilizzando sia il metodo geoelettrico che il metodo GPR. Per avere modo di confrontare e integrare i dati ottenuti con l'utilizzo delle due metodologie geofisiche i profili georadar e geoelettrici sono stati posizionati negli stessi punti in modo da ottenere una sovrapposizione (Fig. 6).

RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Rilievo GPR

Sono stati eseguiti tre profili radar

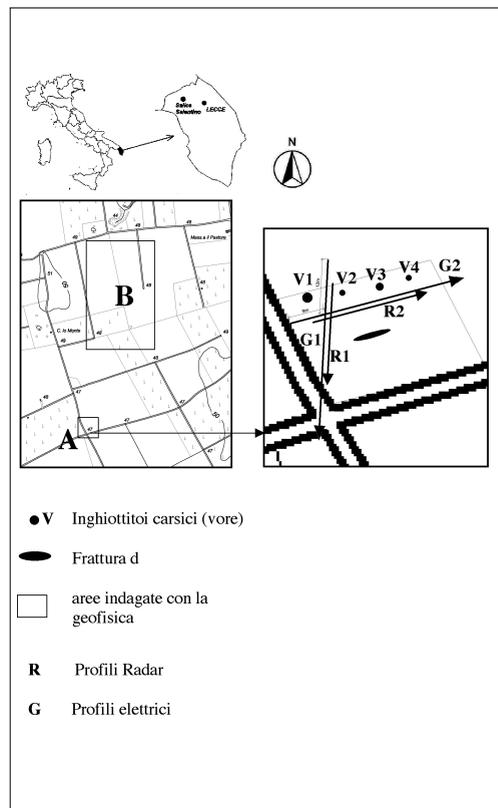


Fig. 6 - Aree indagate con ubicazione dei profili radar elettrici.

utilizzando l'antenna con frequenza di centro banda pari a 200 MHz e fondo scala dei tempi variabile da 130 ns a 150 ns. La qualità dei dati di campagna è risultata discreta per tutta una serie di accorgimenti adottati nella fase di acquisizione e ciò ha consentito una prima interpretazione dei dati senza effettuare alcun tipo di elaborazione eccezione fatta per la normalizzazione delle distanze orizzontali.

Un'analisi preliminare dei dati relativi a tali profili ha messo in evidenza:

1. Per il profilo eseguito trasversalmente all'allineamento delle vore (Fig. 7a), si nota la presenza per quasi tutta la lunghezza del profilo di due e a volte anche tre riflettori con andamento quasi orizzontale che potrebbero corrispondere a superfici di stratificazione pressoché parallele con profondità di 30 ns, 70 ns e 105 ns rispettivamente. Tali riflettori sono spesso interrotti dalla presenza di anomalie di forma iperbolica di dimensioni variabili. In particolare le anomalie indicate con A in Fig. 7a sono posizionate nel punto del profilo che attraversa due vore poste ai lati dello stesso. Le dimensioni di tale anomalia (in Fig. 7a si vedono chiaramente delle iperboli interrompere le tre superfici di riflessione poste a 30 ns, 70 ns e 105 ns) fanno pensare che la base di queste cavità si estenda perlomeno sino ai quattro metri dal piano campagna.

2. Per il profilo eseguito parallelamente all'allineamento delle vore (Fig. 7b) viene confermata la presenza di almeno due (profondità 50 ns e 90 ns) dei tre riflettori messi in evidenza dalla sezione radar relativa al profilo R1. Anche qui notiamo la presenza di anomalie di forma iperbolica e in particolare quelle indicate con B che corrispondono alla posizione delle vore;

3. Per il profilo eseguito lungo la direzione della discontinuità denominata "d" in figura 2 (Fig. 7c) visibile in superficie, parallela alla direzione di allineamento delle vore e distante da queste ultime circa 10 m, viene confermata la presenza dei tre riflettori.

Rilievo geoelettrico

Sono stati realizzati due profili con disposizioni elettrodiche Dipolo-Dipolo e Wenner-Schlumberger. A causa del poco spazio disponibile, per la realizzazione dei due profili sono stati impiegati solo 24 elettrodi con distanza interelettrodica pari a 2 m.

Trattandosi di un rilievo test sono state utilizzate tutte e due le disposizioni elettrodiche. I dati di campagna sono stati poi elaborati utilizzando il software RES2DINV (LOKE, 2000) che ha consentito di operare l'inversione tipo "last squares" (LOKE, 2000). L'analisi dei dati ha messo in evidenza:

1. per il profilo G1 (Dipolo-Dipolo), eseguito trasversalmente all'allineamento delle vore (Fig. 8), la presenza di tre anomalie, indicate con V, di alta resistività posizionate lungo la

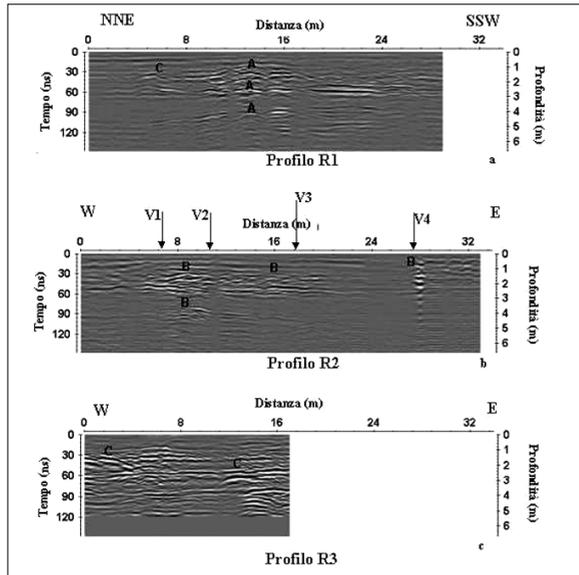


Fig. 7 - Sezioni radar elaborate: a) Profilo R1, con A viene indicata l'anomalia di forma iperbolica che è posizionata esattamente nel punto dove il profilo attraversa le due vore; b) profilo R2, le anomalie indicate con B corrispondono alla posizione delle vore; c) profilo R3.

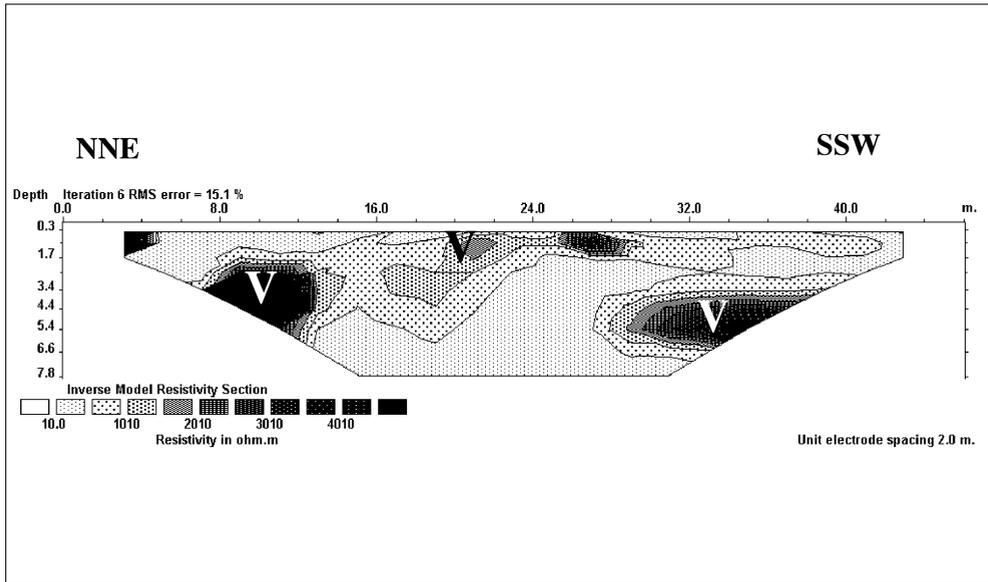


Fig. 8 - Sezione elettrica relativa al profilo G1 (Dipolo - dipolo), con V è stata indicata la presenza di anomalie di alta resistività.

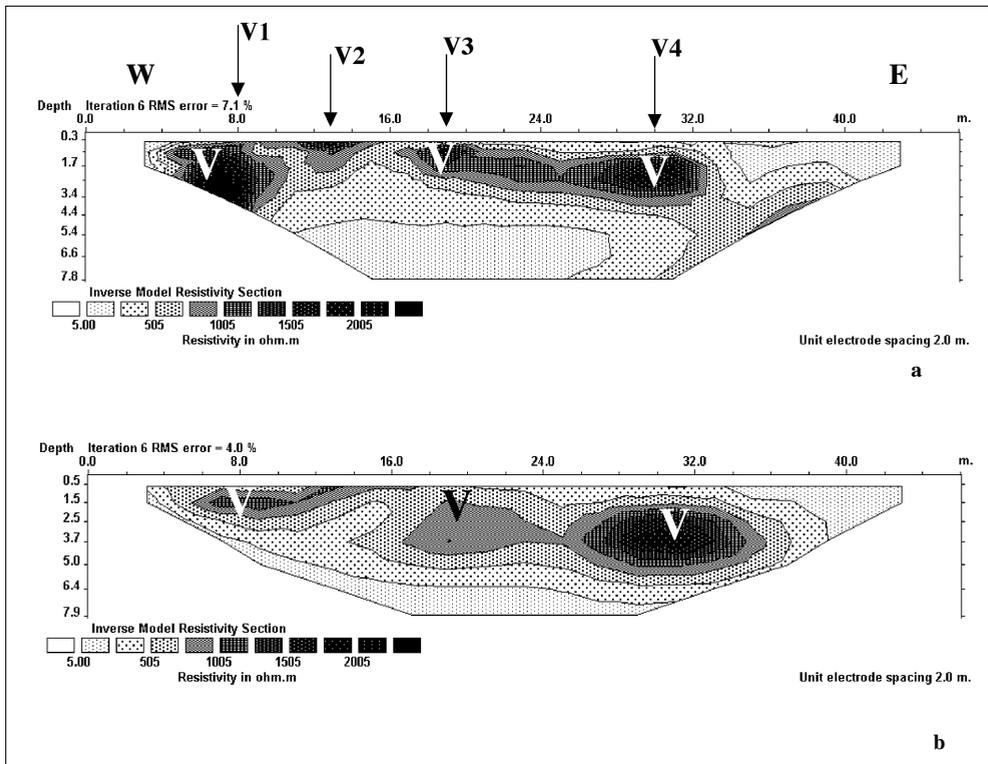


Fig. 9 - Sezione elettrica relativa al profilo G2: a) disposizione elettrodica Dipolo - dipolo, b) disposizione elettrodica Wenner-Schlumberger. Con V è stata indicata la presenza di anomalie di alta resistività.

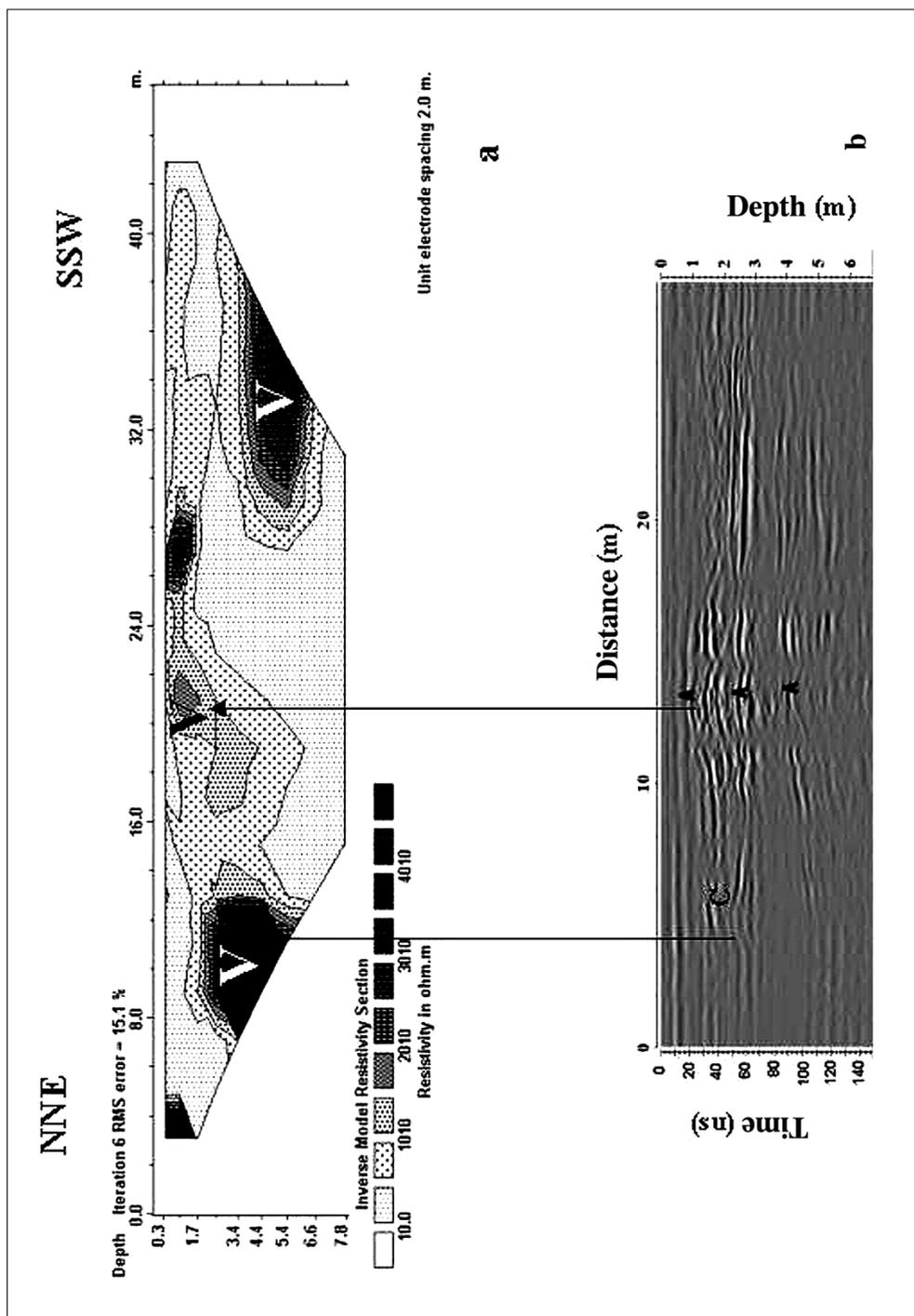


Fig. 10 - Confronto tra le sezioni radar a) ed elettrica b) relativi ai profili R1 e G1 rispettivamente. Notiamo la corrispondenza sia nella forma che nella posizione di alcune delle anomalie più importanti.

direzione orizzontale a 8-10 m, 20-26 m e 32-38 m rispettivamente e a profondità di circa 1 m, 0.3 m e 4 m rispettivamente. Le prime due anomalie si trovano in corrispondenza delle vore: la prima potrebbe rappresentare un condotto che collega le due vore; la seconda potrebbe rappresentare un altro condotto carsico posizionato al di sotto della discontinuità (d di Fig. 2) e visibile anche dalla superficie. La terza anomalia non ha evidenze in superficie e potrebbe essere associata a una cavità;

2. per il profilo G2a (Dipolo-Dipolo), eseguito parallelamente all'allineamento delle vore (Fig. 9a), la presenza di anomalie ad alta resistività indicate con C lungo tutto il profilo e a profondità di circa 2 m. Questo dato potrebbe indicare l'esistenza di un collegamento tra le quattro vore;

3. per il profilo G2b (Wenner-Schlumberger) (Fig. 9b) viene confermata la presenza delle anomalie di alta resistività individuate nel profilo G2a. Notiamo inoltre la presenza di un cambio netto dei valori di resistività (da 500 ohm m a 350 ohm m) ad una profondità compresa tra 0.5 m e 5.5 m circa.

La scelta dei due tipi di disposizione elettrodica è stata dettata dall'esigenza di confrontare i due tipi di acquisizione in quanto, come già noto in letteratura, si ha che:

- Il dipolo-dipolo è più sensibile a cambi orizzontali di resistività e questo significa che è adatto nei rilievi in cui si vogliono mettere in evidenza strutture verticali come cavità e meno adatto quando si vuole mettere in evidenza la stratigrafia del sottosuolo;

- Il Wenner-Schlumberger è invece sensibile a entrambi i cambi orizzontali e verticali di resistività e quindi potrebbe essere utilizzato per mettere in evidenza sia strutture verticali che strutture orizzontali.

CONCLUSIONI

I risultati dei profili radar ed elettrici sovrapposti sono in buon accordo e la loro integrazione aiuta a comprendere meglio la complessità del sottosuolo nella zona rilevata. Ad es. la presenza delle anomalie di forma iperbolica (tipiche di cavità), nelle sezioni radar, associata alla presenza, nello stesso punto, di anomalie ad alta resistività, nelle sezioni elettriche (Fig. 10) aiuta ad interpretare le anomalie stesse come dovute a cavità. Inoltre si evidenzia come, in accordo con i dati geologici rilevati in superficie, le cavità riscontrate con le metodologie geofisiche risultano allineate lungo una direzione preferenziale E-W. Questo dato, ancora da verificare con altre indagini sia di tipo geologico che geofisico, permette comunque di ipotizzare, in prima analisi che le cavità in oggetto traggono verosimilmente origine dal crollo della sottile volta di condotti sotterranei percorsi dalle acque di falda cosicché risultano allineate lungo direttrici che corrispondono ai piani di discontinuità osservati in superficie e che costituiscono le linee di deflusso principale delle acque della falda superficiale stessa dall'entroterra verso il mare.

Infine si evidenzia l'efficacia e la necessità dell'impiego di più metodologie geofisiche nella modellizzazione del sottosuolo nonchè l'importanza della integrazione tra diverse competenze e figure come quella del Geologo e quella del Geofisico. Infatti le indagini geologiche sull'area costituiscono un importante vincolo che può essere imposto alla soluzione del problema inverso legato alla geoelettrica, al georadar ed alle altre metodologie geofisiche (sismica e gravimetria) che si intende utilizzare nella zona per il proseguo delle indagini.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Chiara D'Agostino e Stella Corigliano del Gruppo Speleologico Leccese 'NDRONICO per il valido supporto e le preziose informazioni fornite. Si ringraziano inoltre Massimo Luggeri e Giandomenico Fortuzzi per il supporto tecnico.

BIBLIOGRAFIA

- DAVIS, J.L., ANNAN, P., 1989 – Ground-Penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37 : 531-551.
- LEUCCI G., MARGIOTTA S., NEGRI S., 2000 – Un contributo per la definizione dei rapporti geometrici tra due unità oligo-mioceniche del Salento Leccese (Puglia, Italia) mediante indagini geofisiche con georadar. *Boll. Soc. Geol. It.*, 119: 703-714.
- LOKE M.H., 2000 – Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Manuale Res 2 dinv IRIS Instruments [ww.iris-instruments.com](http://www.iris-instruments.com).