

IORELLA MAZZONE¹, SERGIO NEGRI¹, STEFANO MARGIOTTA¹,
GIOVANNI LEUCCI¹

¹ Dipartimento di Scienza dei Materiali, Osservatorio di Chimica, Fisica e Geologia Ambientali
– Università degli Studi di Lecce, Via per Arnesano, 73100 LECCE

INDAGINI GEOFISICHE E RILIEVI GEOLOGICI PER SCOPI IDROGEOLOGICI IN UN'AREA AD EST DI LECCE

RIASSUNTO

È stato condotto uno studio geofisico di dettaglio, integrato da preliminari indagini geologiche, in un'area campione ubicata immediatamente ad est dell'abitato di Lecce, allo scopo di ricostruirne il sottosuolo. In particolare, le indagini sono state condotte in una porzione di territorio fortemente antropizzata, laddove peraltro è ubicato il depuratore della città di Lecce, per verificare le potenzialità dell'integrazione dei metodi elettrici e sismici nella risoluzione di problemi idrogeologici. I risultati ottenuti hanno permesso di evidenziare l'efficacia dei metodi geofisici utilizzati per la descrizione di dettaglio degli acquiferi ed hanno consentito di porre in risalto l'eterogeneità degli stessi e quindi l'inadeguatezza di studi a scala regionale per la pianificazione del territorio. Inoltre la efficacia della visualizzazione dei modelli geofisici consente una immediata lettura anche ai non addetti ai lavori.

SUMMARY

In Italy the water resource are represented in the almost totality by the underground waters. Analogous situation finds in Apulia region and particularly in the Salento peninsula, whose the karstik nature of the subsoil causes the absence of superficial water resources.

From the sixties years to today is assisted to a notable economic and social growth, to loss of a non sustainable use of the resources, particularly soil and water. They are two the concomitant aspects that have regulated this meaningful decrement of the availability of sweet water: on the one side the demographic growth to which always follows one greater application of water, and from the other side the man action that polluting and therefore reduces quality and/or quantity of the water resources. Fortunately, the trail general tendency to consider the water as a boundless resource, has recently been replaced by a progressive taking of conscience of its real availability.

The correct management and protection of the Apulia underground water patrimony, particularly in the Salento peninsula, represents the priority objective to perform in short-time; to obtain it can be used a double approach, realized to different scale: first one, in the regional scale a continuous control of the evolution phenomenons is performed; this control interest the availability and the quality of the underground water resources; in the local scale, therefore with greater detail, the protection initiatives of the best underground waters (used to the human consumption) are studied, to delimit the areas to safeguard.

The control of the underground water resources necessarily passes from one detailed knowledge of the particular hydrogeological structures. For this purpose the geophysical methods, which allow to investigate the subsoil to elevated depths, assume increasing importance.

In this paper a limited area in the salento peninsula has been considered for the above purpose. The choice of the area, over that for the facility of access, has been effected for the presence of both stratigraphical and hydrogeological data, to which to make reference, and for the existence of important anthropic structures.

The applied methodology is developed therefore, previous a geologic phase of study, in the execution and interpretation of geophysical cross-sections.

The geological study has consisted in a detail survey (scale 1:5000) of the considered area with particular attention to the reconstruction of the structural order.

Through the use of the subsoil stratigraphical data (cores data), with the integration of the surface data, the 2D subsoil sections of the territory has been carried out.

Hence geophysical survey was carried out using both the electrical resistivity tomography (ERT) and seismic (refraction and reflection) methods.

The results pointed out the contribution of the effectiveness of the non-destructive geophysical methods for the knowledge of the subsoil with great detail.

Integrating the electric and seismic data has been possible to point out different several characteristics of the ground water; particularly the ERT images result more effective in to underline the different degree of saturation of the formations that lodge the ground water; seismic images result instead more profits to point out the stratigraphy of the subsoil and the surfaces of discontinuity present between the different formations.

The integrated use of the two geophysical methods is essential for a correct interpretation of the geophysical images.

The results have shown as a integrated approach, geological and geophysical, to study the ground water can show some aspect that an investigation to regional scale cannot shows.

INTRODUZIONE

A livello mondiale, il 90% del totale d'acqua dolce facilmente utilizzabile è fornito dalle acque sotterranee. In Italia, ad esempio, le acque sotterranee costituiscono la

quasi totalità delle acque destinate ad usi civili e potabili (CIVITA, 1987). Analoga situazione si riscontra anche in Puglia e in particolare nel Salento, la cui natura prevalentemente carsica ci mostra un territorio praticamente privo di risorse idriche superficiali, ma dotato di una circolazione idrica sotterranea di entità tale da consentire, per vaste aree, lo sviluppo delle attività produttive (COTECCHIA *et al.*, 1998).

Dagli anni sessanta ad oggi si è assistito ad un notevole sviluppo economico e sociale, a scapito di un uso non sostenibile delle risorse, in particolare suolo e acqua. Sono due gli aspetti concomitanti che hanno regolato questo significativo decremento della disponibilità d'acqua dolce: da una parte la crescita demografica a cui segue una sempre maggiore richiesta d'acqua, e dall'altra l'azione dell'uomo che inquinando riduce qualità e/o quantità delle fonti idriche. La passata tendenza generale a considerare l'acqua come una risorsa illimitata, ha lasciato fortunatamente il posto ad una progressiva presa di coscienza delle reali disponibilità dell'acqua stessa.

MATERIALI E METODI

La corretta gestione e tutela del patrimonio idrico sotterraneo pugliese ed in particolare salentino, rappresenta un obiettivo prioritario da perseguire a breve termine; a tal fine si può ricorrere a un duplice approccio, attuato a diversa scala: a scala regionale si opera un controllo continuo dei fenomeni evolutivi che interessano la disponibilità e la qualità delle risorse idriche sotterranee; a scala locale, quindi con maggiore dettaglio, si studiano le iniziative di tutela delle acque sotterranee di maggior pregio, destinate al consumo umano attraverso la delimitazione delle aree di salvaguardia.

Il presente lavoro si colloca proprio in quest'ottica: la tutela delle risorse idriche sotterranee passa necessariamente attraverso una dettagliata conoscenza, a scala locale, delle particolari strutture idrogeologiche ed in questo campo assumono importanza sempre crescente i metodi geofisici i quali permettono di investigare il sottosuolo anche ad elevate profondità.

La scelta dell'area, oltre che per la facilità di accesso, è stata effettuata per la presenza di dati stratigrafici ed idrogeologici ai quali fare riferimento e per l'esistenza di importanti strutture antropiche.

La metodologia di studio consiste nell'esecuzione ed interpretazione di profili geofisici dopo una accurata e dettagliata indagine geologica.

Lo studio geologico è consistito in un rilievo di dettaglio (scala 1:5000) con particolare attenzione alla ricostruzione dell'assetto strutturale. I dati stratigrafici del sottosuolo rivenienti dall'esame di carote, integrati con dati di superficie, hanno consentito di elaborare sezioni geologiche bidimensionali del territorio.

L'esecuzione di indagini geofisiche di tipo elettrico e sismico tomografico hanno consentito di restituire, in corrispondenza delle sezioni geologiche, modelli geofisici del sottosuolo descritti attraverso i parametri resistività elettrica e velocità di propagazione delle onde sismiche.

GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA DELL'AREA AD EST DI LECCE

L'area presa in esame è compresa nel Foglio IGM n° 204, in particolare nelle due tavolette denominate "Acaia", II S.O. e "Lecce", III S.E.. Tale area (Fig. 1) è delimitata, per grandi linee, ad est dal mare Adriatico e ad ovest dalle ultime propaggini della Serra di Martignano, rilievo collinare costituito dai sedimenti più antichi affioranti nel Salento (Calcarea di Altamura, Cretaceo).

Inquadramento geologico ed idrogeologico

Nell'area in esame esiste ormai una vasta letteratura geologica (BOSSIO *et al.*, 1999; MARGIOTTA, 1999; MARGIOTTA, 2000; MARGIOTTA and RICCHETTI, 2002; MARGIOTTA and NEGRI, 2004; MARGIOTTA and NEGRI, 2005) mediante la quale è possibile ricostruirne i caratteri geologici generali. In particolare, dalla più recente alla più antica, sono state riconosciute le seguenti unità litostratigrafiche:

- √ Calcareniti di Gravina (Quaternario)
- √ Formazione di Uggiano la Chiesa (Pliocene inferiore - superiore)
- √ Formazione di Leuca (Pliocene inferiore)
- √ Calcareniti di Andrano (Miocene superiore)
- √ Pietra leccese (Miocene inferiore - Miocene superiore)
- √ formazione di Lecce (Oligocene superiore - Miocene inferiore)
- √ Formazione di Galatone (Oligocene superiore)
- √ Calcarea di Altamura (Cretaceo Superiore)

L'unità litostratigrafica della Calcarenite di Gravina affiora a sud-est dell'abitato di Lecce ed è caratterizzata da calcareniti a grana grossa di colore giallastro, con frequenti macro e microfossili (foraminiferi bentonici, briozoi, lamellibranchi, gasteropodi, echinodermi, alghe calcaree e serpulidi).

Nell'area vicina alla costa, come pure accade lungo buona parte della fascia prossima al mare Adriatico orientata in direzione NW-SE, affiorano i sedimenti pliocenici della Formazione di Uggiano la Chiesa e a luoghi anche della Formazione di Leuca.

La Formazione di Uggiano la Chiesa è costituita da biomicriti ricche in foraminiferi, ostracodi, echinidi, molluschi e frequenti briozoi e alghe rosse, in genere ben stratificate, di colore giallastro più o meno chiaro e con compattezza variabile.

La Formazione di Leuca è costituita da sedimenti rappresentati da biomicriti glauconitiche verdastre, con frequenti esemplari di *Ostrea navicularis*, poggianti su brecce e conglomerati.

Nell'area di studio le unità mioceniche delle Calcareniti di Andrano e della Pietra leccese sono ampiamente affioranti e quindi per la loro descrizione si rimanda al successivo paragrafo.

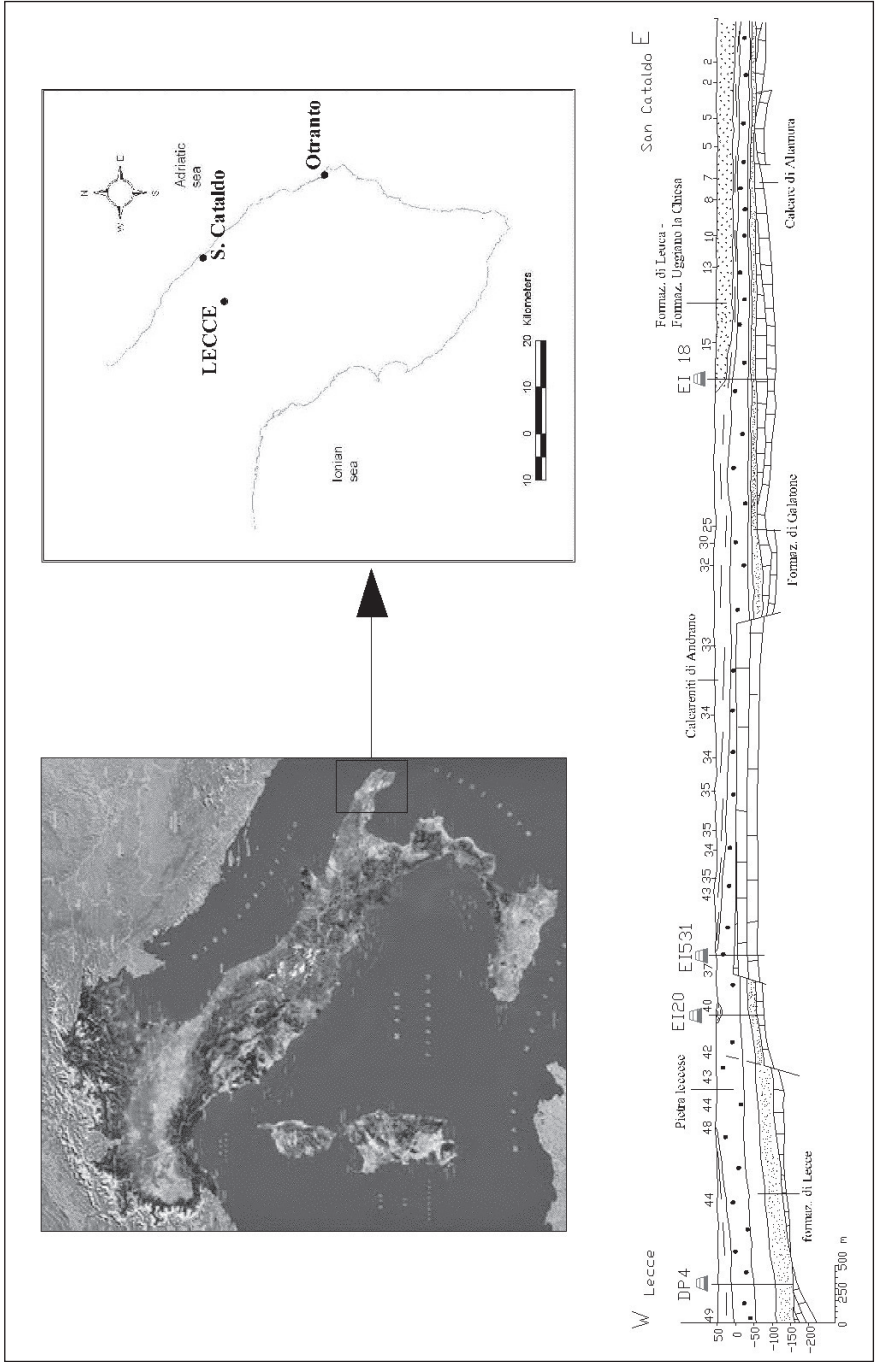


Fig. 1 - Inquadramento geografico dell'area oggetto di studio (sopra). Sezione geologica (sotto).

Le restanti unità litostratigrafiche precedentemente elencate, pur non affiorando nell'area di studio ne costituiscono il sottosuolo e per questo risulta di grande interesse una loro veloce caratterizzazione.

Il tetto della formazione di Lecce si attesta, nell'area limitrofa, tra 25 e 50 m sotto il livello marino, mentre affiora a S-W dell'abitato di Lecce. Dal punto di vista litologico questa unità è caratterizzata da calcareniti massive litificate, a luoghi marnose di colore variabile dal biancastro all'avana con accennata stratificazione in banchi di spessore variabile.

Nell'area in esame il tetto della Formazione di Galatone si attesta intorno a profondità comprese tra 50 e 75 m al di sotto del livello del mare, mentre affiora a S-W dell'abitato di Lecce. La Formazione di Galatone è caratterizzata da una irregolare alternanza di calcari micritici compatti grigio – biancastri, di calcari sottilmente stratificati di colore variabile dall'avana al bianco e di marne laminitiche di colore giallastro.

Il Calcare di Altamura il cui tetto si attesta, nell'area di studio, tra pochi metri sul livello del mare e anche 200 m al di sotto dello stesso, risulta invece estesamente affiorante nell'area a N di Lecce (Surbo, Trepuzzi,...) e in un'area compresa tra Caprarica di Lecce a nord e Zollino e Martano rispettivamente a S-W e S-E, costituendo la Serra di Martignano. Questa unità è caratterizzata da un'alternanza tra calcari dolomitici, micritici, compatti e tenaci di colore biancastro, grigio chiaro o nocciola in strati di spessore variabile da qualche centimetro a circa un metro, a luoghi laminitici.

La complessità del quadro geologico sopra delineato si traduce in un assetto idrogeologico delle strutture altrettanto complicato.

Il Salento, per la sua prevalente natura carsica è privo di risorse idriche superficiali e allo stesso tempo è dotato di una circolazione idrica sotterranea notevole. Questa risorsa idrica sotterranea è caratterizzata da due tipi di acquiferi: il primo, noto come “falda profonda”, è rappresentato dalla falda circolante nel basamento carbonatico mesozoico; il secondo è costituito da una serie di falde dette “superficiali”, che si possono rinvenire anche a profondità ridotte dal piano campagna.

Dalla letteratura è noto che l'acquifero mesozoico è caratterizzato da un diffuso carsismo, in più luoghi sviluppatosi in corrispondenza di numerose fratture e faglie che caratterizzano gli ammassi rocciosi; di conseguenza l'acquifero profondo, ha un'elevata permeabilità. In ragione di ciò, la falda in esso contenuta circola in condizioni freatiche ed è inoltre caratterizzata da bassi carichi idraulici (al massimo 4 o 5 m sul livello del mare, POLEMIO and DRAGONE, 1999), e da cadenti piezometriche basse (dell'ordine dello 0,1%–0,4%, TADOLINI and FERRARI, 1990).

La falda profonda viene alimentata dagli acquiferi della vicina piana di Brindisi – Taranto e delle Murge, nonché dalle precipitazioni direttamente influenti sul territorio; lo spartiacque sotterraneo è situato nella parte centrale della penisola e risulta di poco spostato verso il Mare Adriatico.

La caratteristica più rilevante della falda carsica salentina è che “galleggia”,

per tutta la sua estensione, sull'acqua di invasione continentale, con collegamento idraulico sotterraneo tra le acque del Mare Ionio e le quelle del Mare Adriatico. Essendo quindi ovunque sostenuta alla base dalle acque di invasione continentale, e in ragione della differenza di densità, assume una ben precisa forma a lente biconcava. Gli spessori della falda dolce in genere non superano i 150-200 m e si realizzano in corrispondenza dei maggiori carichi idraulici (TADOLINI and FERRARI, 1990). Anche la zona di transizione tra acqua dolce e acqua salata, costituita da acqua salmastra, assume una tipica forma lenticolare e gli spessori sono dell'ordine di un centinaio di metri nelle zone più interne e di pochi metri nelle zone costiere. La falda profonda circola generalmente a pelo libero ma risulta in pressione laddove i terreni miocenici, scarsamente permeabili, della Pietra leccese e della Calcareniti di Andrano, si spingono sotto il livello del mare.

Rilievo geologico ed idrogeologico

Nell'ambito della porzione di territorio compresa grossomodo tra Lecce e S. Cataldo–Otranto, della quale sono stati in precedenza delineati i caratteri generali geologici e idrogeologici, è stata individuata un'area, molto più piccola, all'interno della quale si è svolto uno studio dettagliato. Tale area è delimitata a N dalla S.S. Lecce – S. Cataldo (N. 543), a S dall'edificio del Consorzio di Bonifica “Ugento li Foggi” e si estende per una superficie di circa 0,5km². La scelta dell'area è stata condizionata dalla presenza di un alto strutturale (*Horst*) delimitato da due faglie normali (Fig. 1), dati stratigrafici ed idrogeologici ai quali fare riferimento, provenienti da pozzi perforati in precedenza nella zona, affioramenti di rocce piuttosto continui, importanti strutture antropiche quali l'impianto di depurazione delle acque reflue del comune di Lecce e quello di affinamento di proprietà del Consorzio di Bonifica “Ugento li Foggi” (in realtà quest'ultimo non attivo).

Nell'area, parzialmente coperta da terreno vegetale, affiorano in più punti la Pietra leccese e le Calcareniti di Andrano.

Nella Fig. 2 gli affioramenti più significativi, in corrispondenza dei quali sono state condotte le misure geologiche, sono indicati con delle lettere in maiuscolo (A,B,...,N). In corrispondenza di questi si è svolto un dettagliato studio stratigrafico e strutturale, base indispensabile per una corretta interpretazione delle sezioni geofisiche.

La Pietra leccese, che affiora con deboli spessori (massimo 2m) solo in una zona posta a S-E dell'area e delimitata dalla strada di servizio che conduce all'edificio del Consorzio di Bonifica, si presenta come una calcarenite giallo-verdastro, glauconitica e con noduli fosfatici, blandamente piegata con direzione assiale N110°.

Le Calcareniti di Andrano, presenti nel resto dell'area, cioè ad W della strada di servizio citata precedentemente, si mostrano nel loro aspetto tipico di calcareniti più o meno marnose, di colore biancastro e ben stratificate; lo spessore degli strati

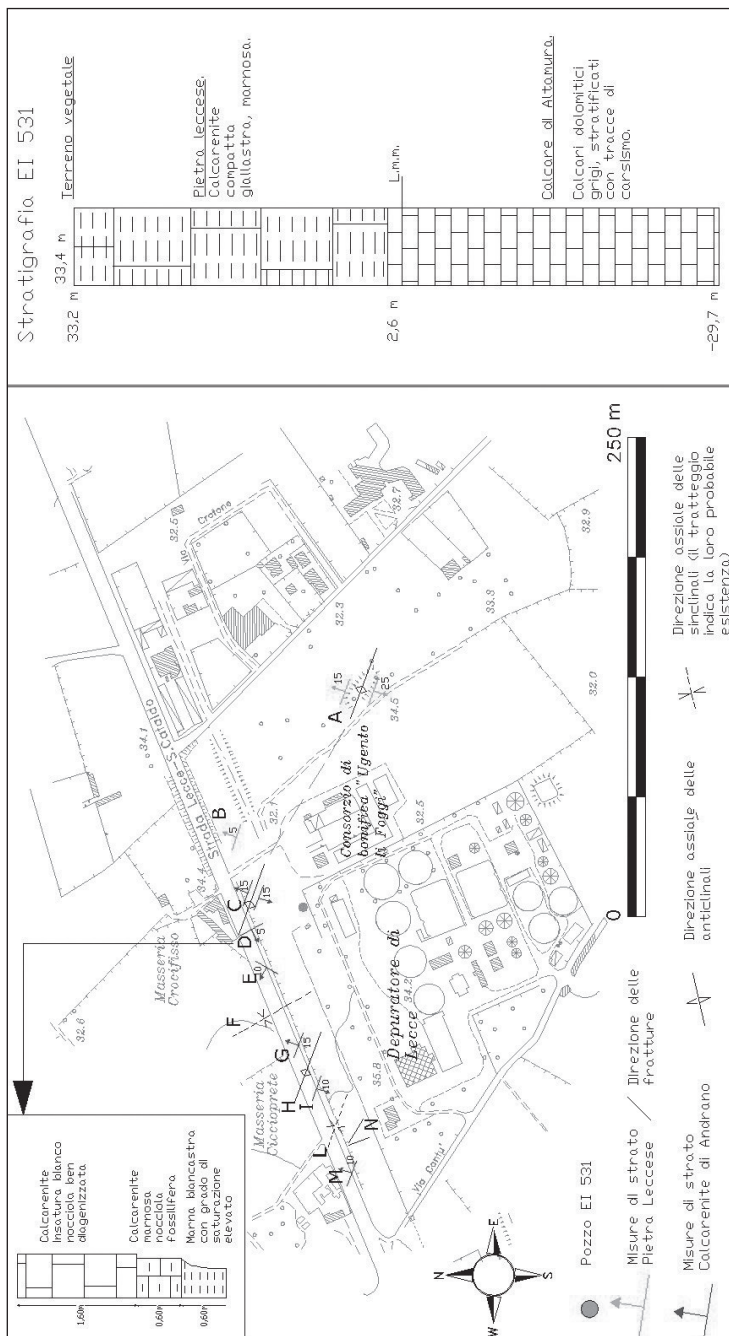


Fig. 2 - Quadro riassuntivo delle principali caratteristiche geologico-strutturali dell'area presa in esame e stratigrafia del pozzo EI 531.

varia da 5cm a 50cm e a luoghi sono presenti banchi anche metrici. All'interno dei banchi sono presenti pieghe di scivolamento gravitativo (*slump*).

Nell'esposizione migliore, indicata in figura con la lettera D, la più recente delle unità mioceniche si presenta, dalla base, per 60cm come una marna biancastra con elevato grado di saturazione; su questa poggia, per oltre 60 cm, una calcarenite marnosa, fossilifera, di colore nocciola e quindi un grosso banco di 1,60 m di calcarenite insatura ben diagenizzata bianco – nocciola.

In corrispondenza dell'affioramento posto nel campo prospiciente la S.S. N. 543 le Calcarenite di Andrano, sono interessate da due piccole faglie (N) con apertura non superiore a 10 cm, orientate entrambe verso N, ma la prima con angolo di 160° mentre la seconda con angolo di 120°.

Le numerose informazioni raccolte sul campo hanno consentito di delineare in dettaglio l'assetto strutturale delle unità e di metterne in risalto l'eterogeneità litologica, fattore quest'ultimo che favorisce all'interno della stessa unità, la formazione di modesti corpi idrici. In particolare si individuano, oltre le piccole dislocazioni precedentemente descritte, almeno cinque principali assi di piega; quattro di questi seguono l'orientazione N 110° e sono indicati in figura con A, C, H e L, mentre solo uno è orientato in direzione N 150° (F). I fianchi delle pieghe, sia le anticlinali che le sinclinali e gli strati dei vari affioramenti individuati, presentano un'inclinazione compresa tra 5° e 25°.

Le informazioni provenienti dalle perforazioni effettuate nell'area, ci permettono inoltre di avere importanti notizie non solo sulla stratigrafia dell'area, ma anche sulla circolazione idrica sotterranea. La falda profonda risulta in pressione in quanto il letto della formazione miocenica della Pietra leccese (EI 20 e EI 18), la quale mostra di avere una considerevole potenza (anche oltre i 50m), si spinge per diversi metri (anche 75m) sotto il livello del mare. In questi casi la Pietra leccese non poggia direttamente in trasgressione sul Calcare di Altamura ma tra le due formazioni si rinvengono i sedimenti oligocenici della Formazione di Galatone e della formazione di Lecce. Nel complesso queste due formazioni hanno una potenza considerevole (circa 50m) e il tetto si spinge anche 70 m sotto il livello del mare.

Allo stesso tempo però dalla stratigrafia del pozzo EI 531, si evince che in corrispondenza di questo pozzo, la falda profonda, pur essendo sovrastata da uno strato abbastanza potente di Pietra leccese (circa 30m), risulta circolante a pelo libero in quanto il tetto del Calcare di Altamura si attesta al di sopra del livello mare per circa 3m. Si sottolinea che il pozzo sopra citato ricade proprio nell'area dove sono state condotte le indagini di dettaglio geologiche e geofisiche.

Il sottosuolo dell'area di studio ospita un sistema di falde secondarie multistrato, le quali risultano, se pur significativamente estese, comunque di ridotta potenzialità e contrariamente a quella profonda, che ha sede nei calcari mesozoici, si rinvengono a più livelli nei sedimenti mio-plio-pleistocenici. Questi ultimi sufficientemente porosi e fessurati, sono in grado di ospitare una o più falde idriche, sostenute alla base da terreni calcarenitici marnosi.

In riferimento al sistema di falde secondarie si è messa in evidenza la peculiari-

tà della zona presa in esame. In particolare si è potuto notare, dalle stratigrafie dei pozzi EI 20 e EI 18, l'esistenza di quattro tipi di falde superficiali.

Le prime tre vengono ospitate in sedimenti calcarei e calcarenitici a luoghi marnosi e compatti, che in base a queste caratteristiche risultano avere un carattere prevalentemente poco permeabile. L'ultimo tipo di falda invece è ospitata in sedimenti di tipo sabbioso complessivamente permeabili, per fessurazione e porosità.

La prima falda rinvenuta durante la perforazione del pozzo EI 20 è ospitata nei sedimenti oligocenici della Formazione di Galatone e della formazione di Lecce. Questa falda è anche la più potente scoperta nella zona infatti si rinviene a partire dai 25m sotto il livello del mare e fino a 60m sotto lo stesso.

La seconda rinvenuta sempre durante la perforazione del pozzo EI 20, risulta ospitata nei sedimenti della Pietra leccese ed ha una potenza leggermente più ridotta della precedente. Questa falda è stata infatti rinvenuta a partire da una profondità di 6m sopra il livello del mare fino a 6m sotto il livello del mare, per una potenza complessiva quindi di circa 12m.

La terza falda ospitata nei sedimenti miocenici della Calcarenite di Andrano, pur essendo stata rinvenuta nei due pozzi (EI 20 e EI 18), si presenta scarsamente potente: 6m in entrambi i pozzi. La particolarità di questa falda risiede nel fatto che, pur avendo le stesse caratteristiche nei due pozzi, si attesta però a profondità differenti: in EI 20 a pochi metri dal piano campagna; in EI 18 a circa 30m sotto il livello del mare.

L'ultima falda è ospitata nei sedimenti plio-pleistocenici della Formazione di Uggiano la Chiesa e della Formazione di Leuca. Questa falda rinvenuta esclusivamente nel pozzo EI 18, è di modeste dimensioni: ha una potenza di circa 5m ed è collocata del tutto al di sopra del livello del mare.

È opportuno comunque precisare che i dati sopra presentati si riferiscono a perforazioni e indagini idrogeologiche condotte nel 1954. Proprio la possibilità di verificare eventuali cambiamenti tra la situazione di allora e quella attuale è stato uno dei motivi che ha determinato la scelta dell'area per le indagini.

INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche sono consistite in rilievi elettrici e sismici con l'intento di valutare l'efficacia della loro integrazione per scopi idrogeologici.

Indagini elettriche

Le indagini di tipo elettrico sono state condotte utilizzando i dispositivi Wenner, dipolo-dipolo e Wenner-Schlumberger. Ciascun dispositivo ha una sua peculiare risoluzione, profondità di investigazione e sensibilità ai rumori esterni. Molti autori (LOKE, 2001; SEATON and BURBEY, 2002; SHARMA, 1997; WARD, 2004) concordano sul fatto che la configurazione di Wenner ha una buona capacità di

individuare cambiamenti verticali di resistività (es. strutture orizzontali) ma una limitata abilità ad individuare cambiamenti orizzontali di resistività (es. strutture verticali). Confrontato con altri dispositivi ha una relativamente bassa profondità di indagine.

Il dispositivo dipolo–dipolo, a differenza del Wenner, è capace di distinguere bene i cambiamenti orizzontali di resistività (es. faglie), meno bene quelli verticali (es. strati). Il dipolo-dipolo consente una maggiore profondità di investigazione rispetto al Wenner ma, a causa della bassa potenza del segnale, risente più di ogni altro dispositivo, del rumore di fondo.

Infine il dispositivo Wenner–Schlumberger ha una discreta capacità di risolvere sia strutture orizzontali che verticali: in un'area in cui ci si aspetta di trovare entrambe le strutture geologiche, questo dispositivo rappresenta il giusto compromesso. Il Wenner-Schlumberger è caratterizzato da una maggiore profondità di indagine rispetto al dispositivo Wenner.

Le indagini elettriche sono consistite nella realizzazione di 3 profili con 48 elettrodi ciascuno (P1, P2 e P3) ed uno con 96 elettrodi (P4), tutti caratterizzati da una distanza interelettrodo pari a 5m (Fig. 3). A causa dell'orientazione ap-

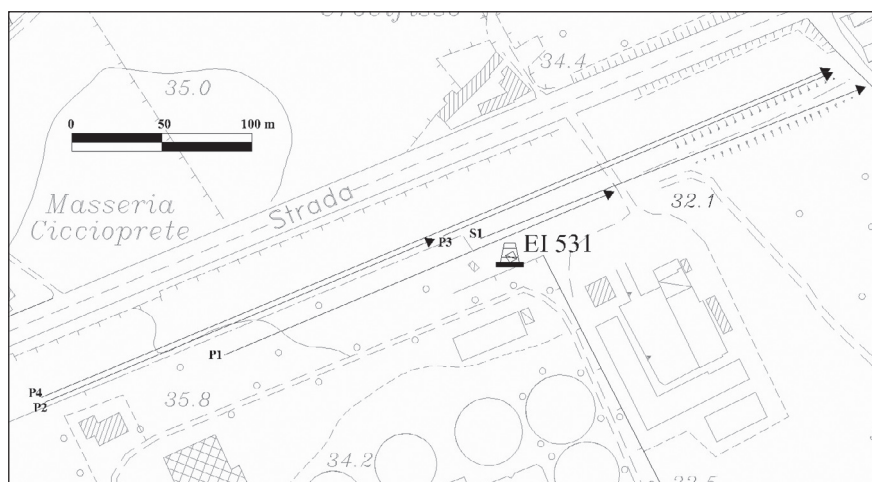


Fig. 3 - Ubicazione dei profili di geofisica.

prossimativa NW-SE degli assi di piega degli affioramenti, si è ritenuto opportuno eseguire i profili geofisici trasversalmente ad essi quindi parallelamente alla strada che collega Lecce a S. Cataldo che ha orientazione SW-NE.

I modelli di resistività ottenuti sono stati interpretati tenendo in considerazione le conoscenze geologiche ed idrogeologiche dell'area indagata, derivanti sia dal rilevamento geologico, sia dalla stratigrafia del pozzo EI 531.

Il profilo P1 si estende per una lunghezza di 235 m (48 elettrodi distanziati tra loro 5 m), al centro dell'area di studio. I risultati sono riportati in Fig. 4. Tutti i dispositivi utilizzati mettono in evidenza, dall'alto verso il basso:

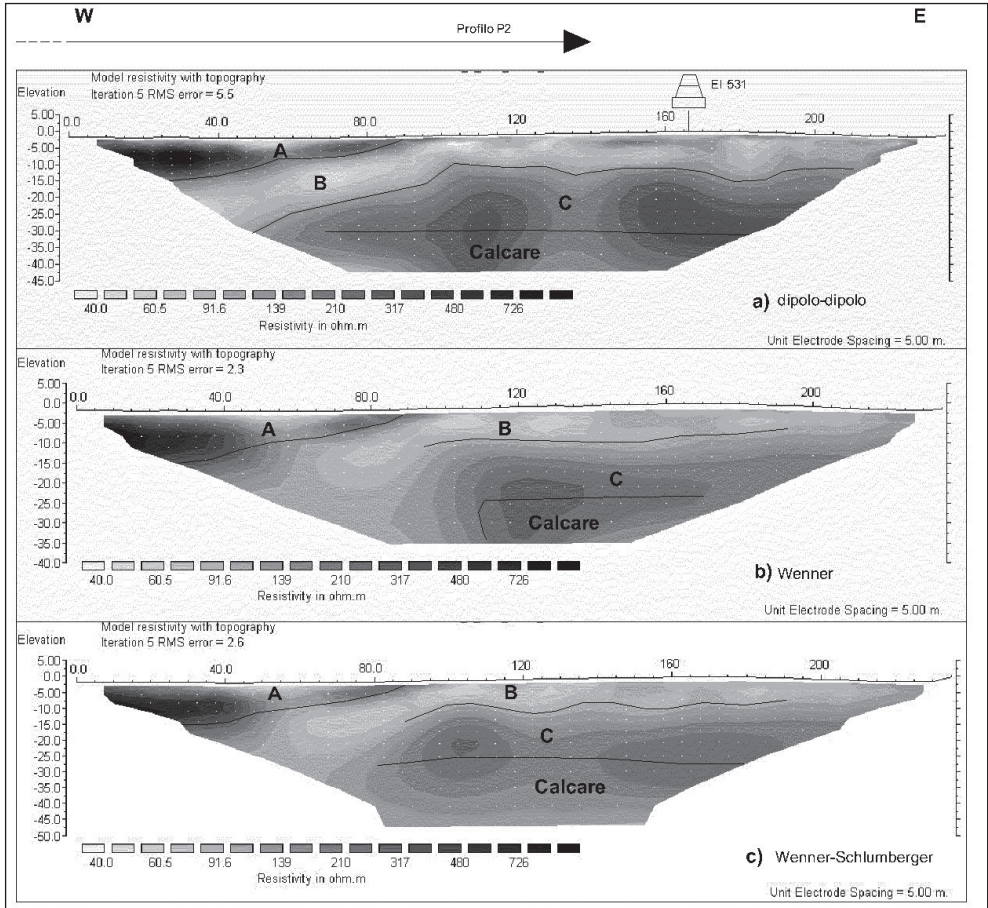


Fig. 4 - Modelli di resistività relativi al profilo P1 ottenuti con dispositivo a) dipolo-dipolo, b) Wenner e c) Wenner-Schlumberger.

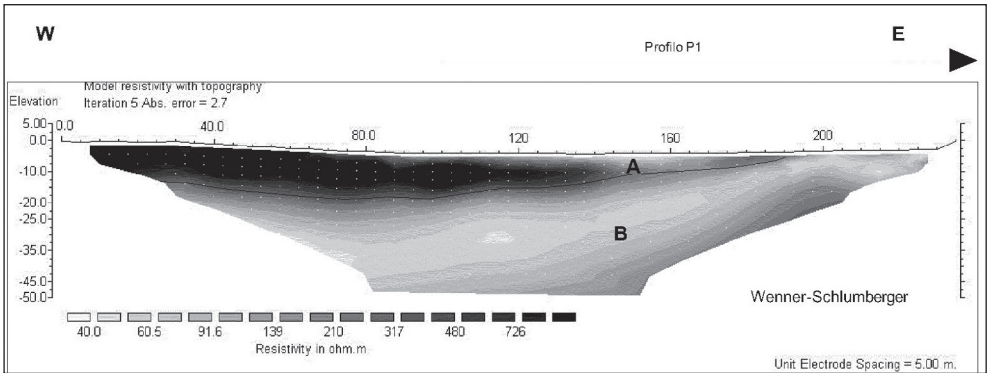


Fig.5 - Modello di resistività relativo al profilo P2 ottenuto con il dispositivo Wenner-Schlumberger.

- ✓ un'anomalia (A) con valori di resistività relativamente alti (700-1000 Ωm), collocata ad W nella parte più superficiale (massimo 15m di spessore);
- ✓ un elettrostrato (B) che caratterizza la sezione per tutta la sua lunghezza (con uno spessore di circa 10m sia in affioramento nella parte centrale ed orientale del profilo sia sotto l'anomalia A nella parte occidentale), con valori di resistività compresi tra 40 Ωm e 80 Ωm ;
- ✓ un elettrostrato (C) con valori di resistività più alti rispetto a quelli dell'elettrostrato B (250-500 Ωm);
- ✓ un ulteriore elettrostrato in cui la resistività raggiunge valori fino ai 450 Ωm .

Concordemente ai rilievi geologici, l'anomalia ad alta resistività (A) corrisponde alle Calcareniti di Andrano con grado di saturazione basso, mentre l'elettrostrato B riflette non solo un cambio formazionale (Calcareniti di Andrano/Pietra leccese) e quindi litologico, ma sicuramente anche un significativo aumento del contenuto d'acqua. Nella parte più profonda del modello (dai 20m in poi) si individua una regione (C) con valori di resistività alti, associabile sempre alla Pietra leccese ma più compatta e quindi con minore contenuto d'acqua. Nell'ambito di questa regione nei modelli di Fig. 4a e 4c sono individuabili due "noduli" con valori di resistività più elevata, attribuibili probabilmente ad una maggiore diagenesi della Pietra leccese stessa. In Fig. 4b è presente un solo "nodulo" centrale; a riprova di quanto precedentemente detto, il dispositivo Wenner è meno efficace dei dispositivi dipolo-dipolo e Wenner-Schlumberger nell'individuare variazioni orizzontali di resistività.

La stratigrafia del pozzo EI 531 indica alla profondità di 30m il passaggio tra la Pietra leccese e il Calcare di Altamura. In alcune parti del modello elettrico si nota un aumento localizzato della resistività con la profondità, correlabile con il suddetto passaggio, che non può essere evidenziato dalla geoelettrica in modo netto poiché, per quanto già detto, i calcari ospitano la falda profonda che ne abbassa notevolmente la resistività.

Anche il Profilo P2 è lungo 235m e si estende parallelamente al P1 rispetto a cui è traslato di circa 100m in direzione W. I dispositivi impiegati sono stati il dipolo-dipolo e il Wenner-Schlumberger di cui è riportata la sezione in Fig. 5. Tale modello ben si accorda con quanto riscontrato in P1, sia per quanto riguarda le risposte dei due dispositivi che per i valori di resistività, lunghezza e profondità degli elettrostrati A e B. La differenza tra le sezioni P1 e P2 risiede nel fatto che in quest'ultimo, alla profondità di 30m non si riscontra nessuna variazione di resistività legata al passaggio tra la Pietra leccese e il Calcare di Altamura. Questo potrebbe essere legato alla presenza di una faglia che fa approfondire i calcari del Cretaceo ad una profondità non indagabile con la lunghezza del profilo o, più probabilmente, al grado di saturazione della Pietra leccese e del calcare sottostante che non consente di distinguere le due formazioni dal punto di vista elettrico.

Sullo stesso asse di P2 e a 5m ad E rispetto alle fine di questo, è stato realizzato il profilo P3 lungo 235m (Fig. 6). Le sezioni mostrano una distribuzione di resistività del tutto nuova rispetto a quella riscontrata nei precedenti profili. I dispositivi dipolo-dipolo e Wenner-Schlumberger mostrano, entrambi, nella parte centrale

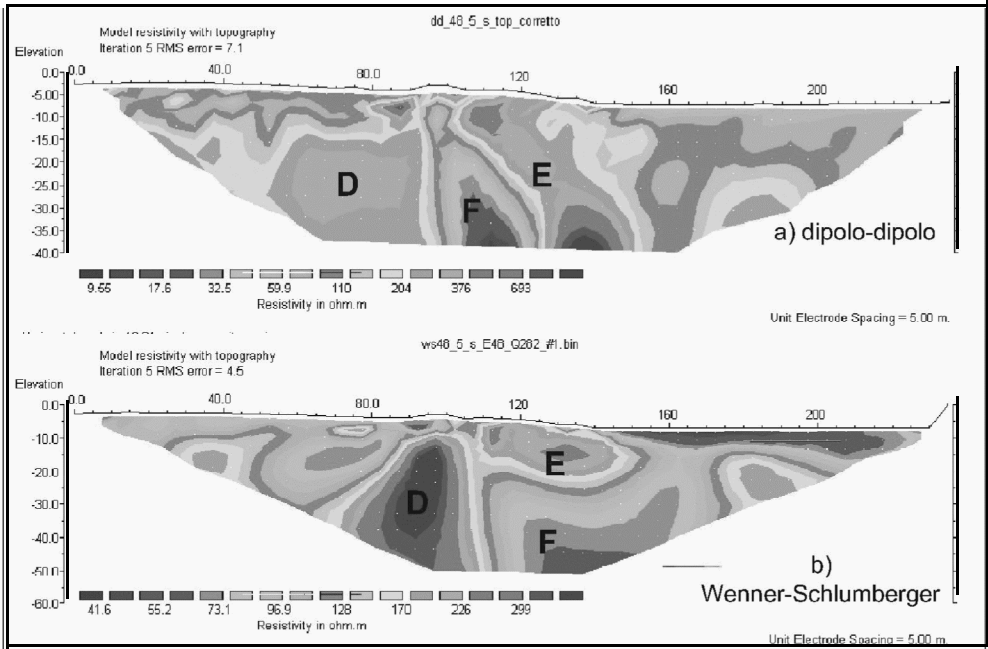


Fig. 6 -Modelli di resistività relativi al profilo P3 ottenuti con dispositivo a) dipolo-dipolo, b) Wenner-Schlumberger.

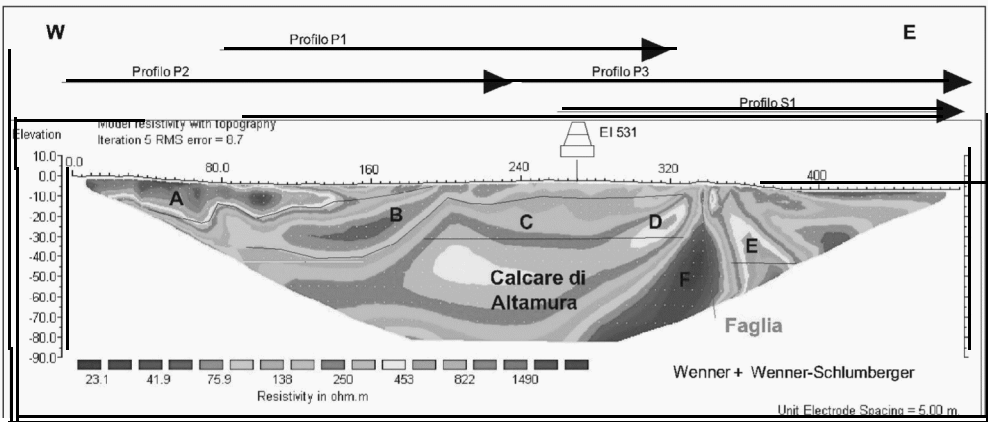


Fig. 7 - Modello di resistività relativo al profilo P4 ottenuto sommando i dati dei dispositivi Wenner e Wenner-Schlumberger.

due zone D ed E ad elevata resistività (200-400 Ω m) che delimitano, al loro interno, una zona F a bassa resistività (10-40 Ω m). I due dispositivi elettrodi, a causa della diversa penetrazione in profondità, non individuano per il conduttivo F lo stesso spessore. I due resistivi laterali D ed E con al centro il conduttivo F, suggeriscono la presenza di una faglia.

Il profilo P4 è stato realizzato posizionando nel terreno 96 elettrodi alla distanza interelettrodica di 5m comprendo quindi una lunghezza di 475m. Tale dispositivo ha permesso di investigare profondità dell'ordine di 80-90m. Al fine di ottenere più informazioni dai sondaggi eseguiti lungo questo profilo, è stata effettuata l'unione dei set di dati ottenuti con i singoli dispositivi. Il profilo P4 (Fig. 7) riassume quello che in P1, P2 e P3 è riportato in dettaglio: all'estremità W del profilo si ritrova infatti l'elettrostrato A ad alta resistività associabile alle Calcareniti di Andrano, l'elettrostrato B corrispondente alla Pietra leccese con maggiore contenuto d'acqua e l'elettrostrato C che corrisponde alla Pietra leccese più compatta con minor contenuto d'acqua. Nella parte centrale del modello si nota un localizzato aumento della resistività con la profondità correlabile, come già detto, con il passaggio Pietra leccese–Calcere di Altamura. Nella parte ad E di quest'area si notano due zone D ed E ad elevata resistività (400-600 Ω m) che racchiudono una zona F a bassa resistività (20-30 Ω m). Questa situazione suggerisce la probabile presenza di una faglia nei calcari attraverso cui l'acqua di superficie defluisce in profondità; questa ipotesi è avvalorata dalla differenza tra la profondità di 30m, in cui il pozzo EI 531 consente di trovare il calcare (centro del profilo), e la profondità di circa 50m in cui l'elettrica individua una formazione con resistività associabile a quella del calcare (parte E del profilo).

A riprova di quanto detto relativamente ai profili P1 e P2, che consentivano di indagare fino alla profondità di circa 40m, si ritrova nel profilo P4 al di sotto di questa quota, una progressiva diminuzione di resistività con la profondità, fino al valore di 20 Ω m, attribuibile all'effetto della falda profonda ospitata nel Calcere di Altamura.

Indagini sismiche

Sono state eseguite indagini sismiche al fine di caratterizzare l'acquifero anche mediante il parametro velocità di propagazione delle onde sismiche nel mezzo e integrare i risultati ottenuti con i due metodi per descrivere un modello geofisico del sottosuolo più ricco di informazioni e maggiormente attendibile.

Le indagini sismiche a rifrazione e riflessione (BURGER, 1992) sono state eseguite con un sismografo Geometrics Strataview (modello Ninbus 1220) con 24 canali attivi. Si sono usati geofoni verticali con frequenza propria 100Hz. L'energizzazione è stata effettuata mediante un martello da 5 Kg.

Le indagini sono state condotte lungo un profilo S1 parzialmente sovrapposto al profilo elettrico P4 (Fig. 3); esso è lungo 230m, distanza intergeofonica 10 m. Le misure sono state effettuate realizzando una energizzazione per ogni posizione geofonica.

L'elaborazione dei dati di sismica a riflessione (BURGER, 1992) ha consentito di ottenere il modello di distribuzione della velocità nel sottosuolo riportato in Fig. 8. In esso è osservabile un generale, sebbene non regolare, aumento della velocità con la profondità. Le velocità passano dai 400m/s (tipico delle calcareniti molto fratturate) ai 2100m/s (attribuibili al calcare). Inoltre, in prossimità dell'ascissa 100m, si osserva una risalita generale degli strati veloci con valori dell'ordine di 2400m/s in prossimità della superficie. Questo suggerisce la presenza di una faglia o di una zona interessata da fenomeni tettonici.

Lungo lo stesso allineamento è stato eseguito anche un profilo di sismica a rifrazione con energizzazioni coniugate (NORINELLI, 1982).

L'analisi dei primi arrivi delle onde dirette e rifratte (NORINELLI, 1982) ha consentito di ottenere il modello di sottosuolo riportato in Fig. 9. Da esso si evince la presenza di:

- ✓ un primo strato con spessore variabile da 12m nella parte W a 5m nella parte E; esso è caratterizzato da una velocità di 400m/s, valore attribuibile a calcareniti molto fratturate che costituiscono prevalentemente il terreno di copertura;
- ✓ un secondo strato la cui base è a profondità variabile tra 35-40m nella parte W del profilo e 55m nella parte E; esso è caratterizzato dalla velocità di 1000m/s, valore attribuibile a calcareniti (Pietra leccese) più compatte o comunque fratturate ma con maggiore contenuto d'acqua;
- ✓ al di sotto del secondo strato le velocità sono comprese tra 2300 e 2500m/s, valori tipici dei calcari.

La geometria dell'interfaccia Pietra Leccese-Calcare di Altamura lascia supporre, in prossimità dell'ascissa 100m, la presenza, nei calcari, di una faglia o di una zona interessata da fenomeni tettonici. Le caratteristiche di questa tecnica di indagine e le modalità di esecuzione del profilo, non consente di seguire fino in superficie la faglia stessa.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato sviluppato uno studio integrato di rilievi geologici e indagini geofisiche per la descrizione in dettaglio dell'acquifero.

Dal punto di vista strettamente geologico le indagini condotte hanno messo in evidenza la forte eterogeneità del territorio sottolineando l'inadeguatezza di studi a scala regionale per la pianificazione del territorio stesso. Nell'area di studio, infatti, in appena 0.5Km² sono state individuate strutture tettoniche che influenzano notevolmente la circolazione idrica, non rilevabili se non con uno studio di dettaglio.

Ai fini dell'obiettivo di questo lavoro, è emerso il contributo essenziale offerto dai metodi geofisici: essi forniscono, infatti, un modello di dettaglio del sottosuolo, diversamente non ottenibile.

Integrando le indagini elettriche e sismiche è stato possibile mettere in risalto

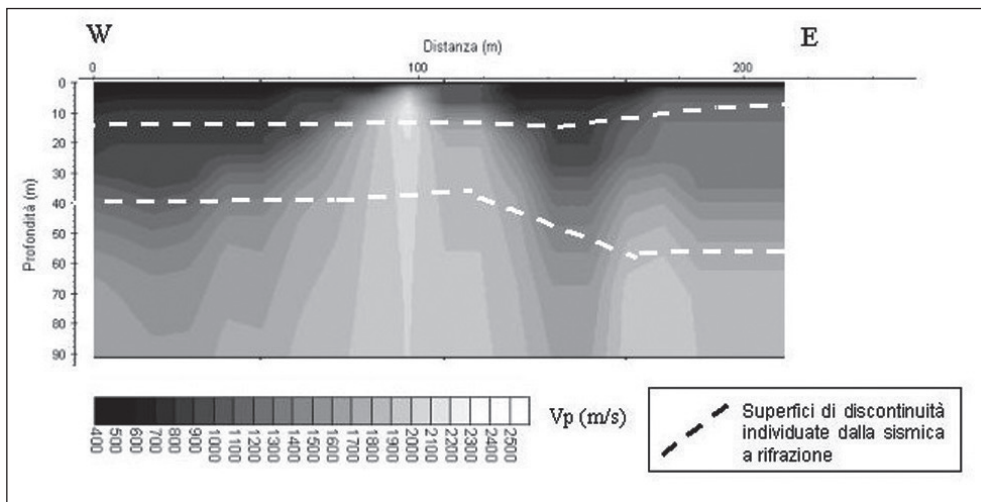


Fig. 8 - Profilo S1-sismica a riflessione: modello di distribuzione della velocità.

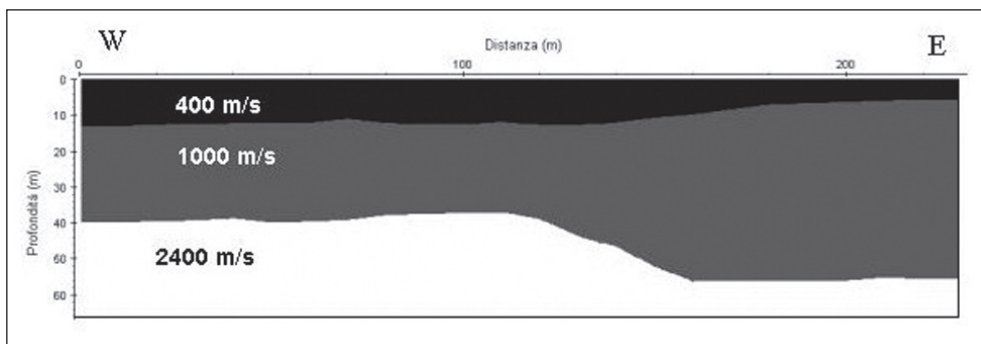


Fig. 9 - Profilo S1-sismica a rifrazione: modello di distribuzione della velocità.

le diverse proprietà dell'acquifero: in particolare le indagini elettriche sono risultate più efficaci nell'evidenziare il diverso grado di saturazione delle formazioni ospitanti l'acquifero, le indagini sismiche sono invece risultate più utili per mettere in risalto la stratigrafia del sottosuolo e le superfici di discontinuità presenti tra le diverse formazioni. In questo caso, l'utilizzo integrato dei due metodi geofisici è stato molto utile per una corretta interpretazione dei modelli geofisici e geologici.

Nello specifico caso di studio, confrontando i risultati relativi ai tre dispositivi elettrici, è stato confermato che il dispositivo Wenner è meno efficace dei dispositivi dipolo-dipolo e Wenner-Schlumberger nell'individuare variazioni orizzontali di resistività. Inoltre si è riscontrato che mettendo insieme i dati ottenuti con il Wenner e il Wenner-Schlumberger si migliora il rapporto segnale rumore.

Il metodo elettrico ed il metodo sismico insieme suggeriscono la presenza di una verosimile faglia nel Calcere di Altamura, localizzata in corrispondenza della ascissa 330m nel profilo elettrico P4 e dell'ascissa 100m nel profilo sismico S1. Inoltre le indagini sismiche a rifrazione individuano l'interfaccia tra Pietra leccese compatta e Calcere di Altamura alla profondità di circa 35m, valore confrontabile con quello emerso nella perforazione EI 531. A causa della abbondante presenza d'acqua la elettrica non riesce altrettanto bene a discriminare tra Pietra leccese e calcare.

In conclusione le metodologie impiegate e le scale di lavoro adottate hanno consentito di ottenere una descrizione molto dettagliata del sottosuolo: le informazioni che ne conseguono possono essere rilevanti dal punto di vista socio-economico.

BIBLIOGRAFIA

- BOSSIO A., FORESI L., MARGIOTTA S., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G., 1999 - Carta geologica del settore nord orientale della Provincia di Lecce; scala 1:25000; settore 7,8,10 scala 1:10000. Università degli Studi di Siena.
- BURGER H. R., 1992 - Exploration Geophysics of the shallow subsurface. Prentice-Hall, Inc.: pagine 57-240.
- CIVITA M., 1987 - La previsione e la prevenzione del rischio d'inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le Carte di Vulnerabilità. In Atti Convegno "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova: 9-18.
- COTECCHIA V., DAURÙ M., LIMONI P.P., POLEMIO M., SPIZZICO M., TADOLINI T., 1998 - Il controllo idro-chimico-fisico della falda idrica carbonatica Murgiano - Salentina (Puglia). In Atti della seconda giornata mondiale dell'acqua "Acque sotterranee: risorsa invisibile": 43-49.
- LOKE M.H., 2001 - Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Scaricabile dal sito www.geotomo.com.
- MARGIOTTA S., 1999 - Il contatto Formazione di Galatone - Formazione di Lecce: evidenze stratigrafico-sedimentologiche. In Atti Soc. Tosc. Di Scienze Naturali, Mem., Serie A, 106: 73-77.Pisa
- MARGIOTTA S., 2000 - Studio geologico bio e cronostatigrafico dell'Oligocene Superiore - Miocene della Penisola Salentina: evoluzione paleoambientale e paleogeografia. Tesi

di Dottorato in Scienze della Terra: Dip. Geologia e Geofisica. Università degli Studi di Bari.

- MARGIOTTA S., RICCHETTI G., 2002 - Stratigrafia dei depositi oligomiocenici del Salento (Puglia). *Boll. Soc. Geol. It.*, 121: 243-252.
- MARGIOTTA S., NEGRI S., 2004 - Alla ricerca dell'acqua perduta. Nuove conoscenze del sottosuolo nel Salento leccese. Congedo editore, Lecce: 191 pp.
- MARGIOTTA S. NEGRI S., 2005 - Geophysical and stratigraphical research into deep groundwater and intruding seawater in the Mediterranean area (the Salento Peninsula, Italy). *Natural Hazards and earth system Sciences*, 5: 127-136.
- NORINELLI A., 1982 - Elementi di Geofisica Applicata. Patron editore: pagine 161-190.
- POLEMIO M., DRAGONE V., 1999 - Serie storiche piezometriche delle unità idrogeologiche pugliesi: regime piezometrico, effetti climatici ed antropici. *Quaderni di geologia applicata*, Pitagora editrice, Bologna: 1154-1162.
- SEATON W. J., BURBEY T. J., 2002 - Evaluation of two – dimensional resistivity methods in a fractured crystalline – rock terrane. *Journal of Applied Geophysics*, 51: 21-41.
- SHARMA P.V., 1997 – Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- TADOLINI T., FERRARI G., 1990 - Analisi sullo stato di inquinamento delle acque sotterranee salentine (Puglia meridionale). In I convegno nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecniche e obiettivi, 2: 399-424.
- WARD S. H., 2004 - Resistivity and induced polarization methods. *Geophysical Engineer*, 147-189.