

## Risultati delle indagini geognostiche effettuate mediante un Sistema Georadar per prospezioni geologiche ed idrogeologiche di superficie

Nicola Lopez, Michele Spizzico, Donato Sciannamblo

Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale – Politecnico di Bari  
m.spizzico@poliba.it, d.sciannamblo@poliba.it, nicola.lopez@fastwebnet.it

*Results of geognostic researches carried out by a georadar system builded for geologic and hydrogeologic surface investigations.*

**ABSTRACT:** A georadar system with a new prototype of low frequency antenna has been used in some test-site near Brindisi (Italy), where geological and hydrogeological features are well known from previous studies. A first processing of field data and following analysis of radargrams allowed to recognise some significant discontinuities as stratigraphic boundaries and water tables. The most crucial aspect of this work regarded the accuracy in determination of depths of discontinuities. Therefore, a calibration of propagation velocities has been produced by all information coming from data of boreholes and measurements of water table, performed during field survey. The most interesting results concern geometric reconstruction of: 1) Mesozoic calcareous bedrock ; 2) some arenaceous aquifer bodies and main contacts between facies within Pleistocenic formations. In this last case, the calibration of radarmaps produced a reduction of velocity ranging from 25 to 40% of reference value for homogeneous and dry terrains.

*Key terms:* Georadar, Surface aquifer, Calibration tests

*Termini chiave:* Georadar, Acquifero superficiale, Prove di calibrazione

### Riassunto

Un sistema Georadar con un nuovo prototipo di antenna a bassa frequenza è stato sperimentato in alcuni siti di prova nei pressi degli abitati di S.Vito dei Normanni e di Tuturano, in provincia di Brindisi (Italia), un territorio le cui caratteristiche geologiche ed idrogeologiche sono ben note. La più antica formazione geologica affiorante è costituita dai calcari e calcari dolomitici della Piattaforma Apula (Cretaceo superiore); su di essa si rinvengono le calcareniti trasgressive del Calabriano che verso l'alto e lateralmente passano a sabbie limoso-argillose e sabbie calcaree di età Pleistocene medio-superiore. Due distinti ambienti idrogeologici sono rinvenibili nell'area di studio: il primo è rappresentato dalla falda profonda, con sede nell'acquifero carbonatico, il secondo è costituito da un sistema di piccole falde superficiali con sede nei depositi sabbioso-calcarenitici pleistocenici. Quest'ultimo sistema idrogeologico è stato recentemente oggetto di studi, in occasione dei quali sono stati effettuati rilievi diretti in pozzi "a scavo" che hanno consentito la ricostruzione sia delle isopache sia delle isopieze dell'acquifero.

L'antenna impiegata è di tipo "non schermato", per cui si è verificata la possibilità che il segnale radar sia stato disturbato da elementi esterni al sottosuolo come, ad esempio, le linee elettriche più o meno parallele alle linee di scansione. Pertanto, si è analizzato il segnale radar

acquisito alla luce delle potenziali sorgenti di interferenza accuratamente rilevate utilizzando strumentazione GPS.

L'elaborazione dei dati acquisiti in campagna e la successiva analisi dei radargrammi ha evidenziato marcate superfici di discontinuità, ad andamento suborizzontale o inclinato, che indicherebbero superfici di contatto tra materiali con proprietà elettriche molto diverse. L'aspetto più critico del presente lavoro ha riguardato l'esatta stima delle profondità di rinvenimento di tali discontinuità, ottenuta mediante la calibrazione delle velocità di propagazione. Tale calibrazione è stata eseguita correlando, in base alle profondità misurate dal piano campagna, le riflessioni del segnale radar, ottenute da test preliminari ubicati presso i sondaggi a carotaggio continuo e i pozzi a scavo, ed i livelli stratigrafici ed idrologici ricavati dalle stratigrafie e dai rilievi piezometrici eseguiti nel corso delle indagini.

La sperimentazione ha consentito la ricostruzione geometrica del substrato calcareo mesozoico e di alcuni corpi acquiferi arenacei nonché l'individuazione dei principali passaggi di facies all'interno delle formazioni pleistoceniche. In quest'ultimo caso, la calibrazione delle radarmappe ha evidenziato un decremento delle velocità di propagazione variabile dal 25% al 40% del valore standard per terreni omogenei ed asciutti.

In particolare, le principali discontinuità sono state riconosciute a due intervalli di profondità, rispettivamente tra 1 e 2 metri e tra 2 e 8 metri, e individuerebbero sia

delle zone superficiali da ricondurre a facies litologiche prevalentemente limoso-argillose sia delle superfici riconducibili a limiti stratigrafici di corpi litologici, all'interno della successione medio-supra pleistocenica, ospitanti acque di falda superficiali che causerebbero la perdita del segnale radar riflesso.

## Introduzione

Il *Ground Penetrating Radar* (GPR), noto anche come Georadar, è un metodo di indagine geognostica superficiale, non invasivo, speditivo ed economico che consente di rivelare discontinuità o bersagli sepolti anche con notevole dettaglio, in relazione alle caratteristiche operative delle attrezzature di campo e alle proprietà del sottosuolo. Quale metodologia ormai consolidata e diffusa soprattutto negli ultimi 10-15 anni e date le sue peculiarità, il Georadar ha trovato ampio utilizzo nell'ingegneria delle infrastrutture, in archeologia, in alcune discipline della geologia applicata, in studi d'inquinamento ambientale ecc.

La tecnica si basa sull'emissione nel sottosuolo di singoli impulsi elettromagnetici a radiofrequenza e sulla registrazione delle onde riflesse dalle superfici di discontinuità che separano mezzi caratterizzati da forte contrasto dielettrico (Daniels, 1996). Nel campo delle indagini idrogeologiche le superfici di discontinuità che assumono interesse possono essere rappresentate sia da contatti stratigrafici e/o tettonici sia da superfici piezometriche individuabili all'interno di corpi acquiferi poco profondi. I risultati migliori, a parità di altre condizioni, si hanno quando i materiali attraversati dal segnale radar sono omogenei e distinti, fra loro, da proprietà elettriche molto diverse che si manifestano con una brusca variazione della costante dielettrica, come nel caso di un passaggio litologico tra sabbie medio-grossolane ed argille, ovvero quanto più rapidamente avviene il passaggio dalla zona insatura a quella satura, come nel caso di una frangia capillare sottile all'interno di terreni a grana grossa.

Nel presente lavoro si analizzano i risultati conseguiti con un prototipo di antenna georadar operante a 40 MHz sperimentato in alcuni siti in provincia di Brindisi, dalle caratteristiche geologiche ben note e per i quali erano disponibili informazioni da altri metodi d'indagine tradizionali (sondaggi stratigrafici e geoelettrica). Lo scopo è stato quello di verificare l'applicabilità della metodica in studi geologico applicativi.

Gli studi sono stati condotti in due fasi distinte nel tempo:

1. La prima fase si è sviluppata con una prima campagna geognostica effettuata nel giugno 2004 ed una prima serie di elaborazioni dei dati radar raccolti, commentati in un precedente lavoro (Magaldi *et alii*, 2006), aveva consentito di aggiungere nuove informazioni sulla geometria dei principali contatti stratigrafici tra

calcicare e calcarenite e delle intercalazioni calcarenitiche nei depositi medio-supra pleistocenici delle zone indagate.

2. La seconda fase, discussa nel presente lavoro, si è articolata nelle seguenti modalità:

a. Esecuzione di una nuova campagna georadar di verifica per alcuni dei siti indagati precedentemente, alla luce di nuovi e più numerosi dati stratigrafici ed idrogeologici acquisiti nel corso degli ultimi due anni.

b. Elaborazione preliminare dei dati radar grezzi ottenuta impostando un valore di velocità medio (10 cm/nsec), valido per terreni asciutti e omogenei; ciò ha consentito di evidenziare le principali discontinuità associabili a contatti litologici e superfici piezometriche.

c. Calibrazione a posteriori della velocità di propagazione, modificando le profondità di rinvenimento delle discontinuità più evidenti: a tal scopo si sono presi a riferimento sia gli spessori litologici ricavati dalle stratigrafie sia le profondità del livello statico rilevate durante i rilievi piezometrici.

## Caratteri geologici ed idrogeologici dell'area di sperimentazione

L'area studiata è compresa tra le città di San Vito dei Normanni, Tutarano e Brindisi ed è costituita da un territorio subpianeggiante che ingloba il margine sudorientale dell'Altopiano delle Murge e la porzione orientale della Piana di Brindisi, che si affaccia sul Mare Adriatico.

La geologia del territorio studiato (Figura 1) riflette i peculiari aspetti geotettonici regionali (Ciaranfi *et alii*, 1992). La formazione geologica più antica, affiorante nel settore nordoccidentale, è costituita dai calcari e calcari-dolomitici di piattaforma risalenti al Cretaceo superiore; tale formazione, come è noto, costituisce il basamento regionale ove ha sede la più importante risorsa idrica sotterranea pugliese, la cosiddetta "falda profonda". Per quanto concerne le caratteristiche dell'aquifero carbonatico, fessurato, carsico e di tipo costiero, si rimanda alla letteratura (Grassi & Tadolini, 1985; Sciannamblo *et alii*, 1992; Tadolini *et alii*, 1994; Spizzico & Sciannamblo, 2003).

La formazione carbonatica mesozoica, che attorno a Brindisi digrada sino a quote di circa -40 metri, risulta coperta trasgressivamente da depositi biocalcarentici di età calabriana, affioranti nella porzione centrale dell'area di studio: si tratta di sedimenti con grado di cementazione variabile, lateralmente e verticalmente che raggiungono spessori non superiori a 20-30 metri.

Tali depositi passano lateralmente ed in alto ad argille grigio-azzurre del Calabriano, disposte in banchi non stratificati e caratterizzate da intercalazioni di marne e sabbie calcaree.

Nell'area di studio la formazione argillosa affiora in piccoli lembi isolati a S ed a SO di Mesagne e si rinviene

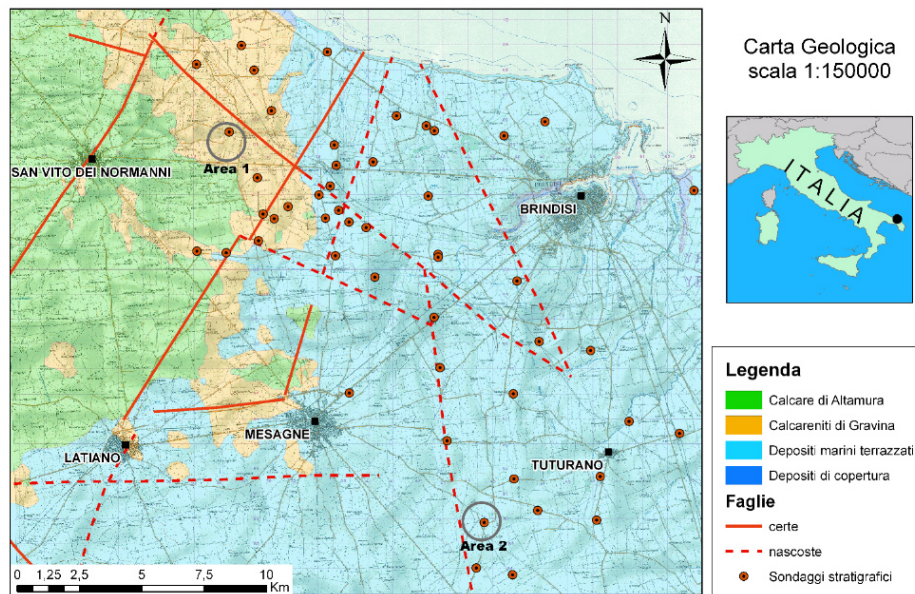


Figura 1: Carta geologica ed ubicazione delle aree di acquisizione dei dati radar.  
 Figure 1: Geological map and location of radar data acquisition areas.

prevalentemente in profondità, al di sotto dei depositi sabbioso-calcarenitico-argillosi del Pleistocene medio-superiore, riuniti nella formazione dei *Depositi marini terrazzati*. Questi depositi di spiaggia sono caratterizzati da spessori non superiori ai 20÷25 metri (Figura 2), da giaciture sub-orizzontali e trasgressive su distinte superfici di abrasione poste a quote differenti ed incise, a seconda dei luoghi, nelle formazioni del Ciclo Bradanico e negli stessi “Depositi marini” medio-supra pleistocenici. Nell’area i depositi terrazzati presentano due facies principali: la prima, affiorante tra Francavilla Fontana e

Mesagne e a Sud di Brindisi, è costituita da sabbie calcaree, debolmente cementate, con intercalazioni di calcare tipo “panchina”; talora le sabbie sono argillose e verso il basso passano ad argille grigio-azzurrognole. La seconda facies, affiorante diffusamente nella piana attorno alla città di Brindisi, è costituita da sabbie argillose e argille grigio-azzurre, con intercalazioni di banchi calcarenitico-arenacei bioclastici.

In questi depositi circola la “falda superficiale”, separata e distinta dalla “falda profonda” per mezzo del livello argilloso basale praticamente impermeabile che si estende, senza soluzione di continuità, al di sotto dei terreni permeabili. Il tetto del livello impermeabile digrada dolcemente verso il mare, passando da 130 m s.l.m. nelle zone più interne a -15 m rispetto al l.m. nelle penisole vicino Brindisi (Lopez *et alii*, 2005).

Negli ultimi anni, la falda superficiale è stata oggetto di diverse indagini finalizzate alla sua caratterizzazione fisico-chimica (Spizzico *et alii*, 2006; Castrignanò *et alii*, 2006). Inoltre, in occasione dei periodi significativi dell’anno idrologico sono state condotte serie cicliche di misure del livello statico che hanno permesso di ricostruire l’andamento delle isofreatiche (Figura 3); queste ultime evidenziano la presenza di una falda superficiale che si estende fin nei lembi più interni della Piana di Brindisi, assumendo via via, in conformità con la morfologia del terreno, carichi sempre maggiori pur mantenendo sempre portate modeste.

Anche nei caratteri strutturali, l’area ben rappresenta l’assetto riscontrato su scala regionale (Ciaranfi *et alii*, 1983). Nella zona il basamento carbonatico è dislocato tra due sistemi di faglie: quello che, in letteratura, è definito “principale”, con orientazioni NW-SE ed E-W e l’altro,

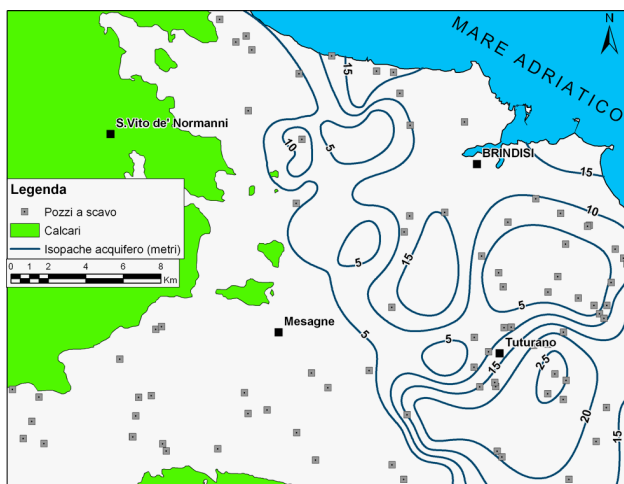


Figura 2: Spessori della formazione sabbioso-calcarenitico-argillosa (Pleistocene medio-superiore), affiorante nella Piana di Brindisi.  
 Figure 2: Thickness of sandy-calcarenitic-clay formation (Middle-Upper Pleistocene), outcropping in the Plane of Brindisi.

secondario, con direzione SW-NE. Si tratta di faglie dirette, che configurano il basamento carbonatico a “gradini” con blocchi digradanti verso il mare.

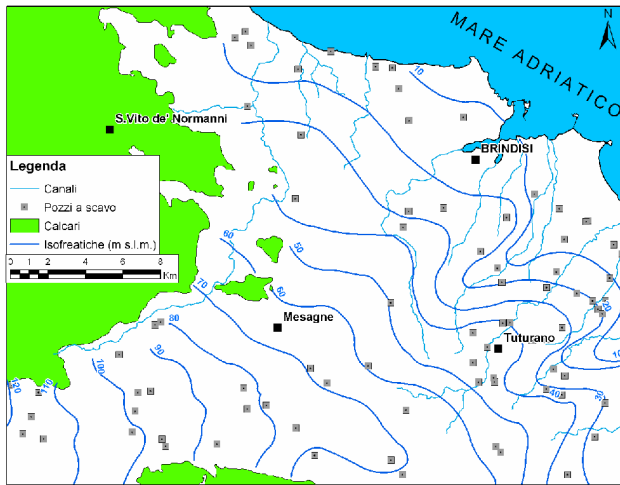


Figura 3: Isofreatiche della falda superficiale.  
Figure 3: *Isopreathic of surface groundwater.*

### Materiali e metodi

Nel corso delle indagini condotte in campo è stato adoperato un sistema georadar sperimentale, realizzato dalla I.D.S. S.p.a. di Pisa, che comprende un prototipo di antenne non schermate, in configurazione bistatica ed operanti alla frequenza centrale di 40 MHz. L'intero sistema GPR ha una lunghezza di ingombro complessiva superiore ai 2 m ed una larghezza di circa 1 m, ed è costituito da due antenne, una trasmittente ed una ricevente, unite da una struttura portante a telaio (Figura 4); completano il sistema una unità di controllo e un notebook per l'elaborazione in campo dei dati.

Il sistema ha la particolarità di essere “non schermato” e quindi di risentire dell'influenza di elementi esterni al sottosuolo sul segnale radar. Questa evenienza è stata largamente riscontrata anche nel presente lavoro; appaiono evidenti nelle radarmappe, anomalie probabilmente legate alla presenza di linee elettriche più o meno parallele alle strade sulle quali è stata condotta l'indagine.

Un accurato rilievo topografico di tali fonti, eseguito utilizzando strumentazione GPS, ha consentito di individuare ed eliminare, parzialmente, tali disturbi esterni dal segnale radar acquisito.

L'elaborazione dei dati radar grezzi è stata effettuata tramite il software *IdsGred* della IDS S.p.A., con il quale è stato possibile applicare a tutti i radargrammi una serie standardizzata di filtri: 1) *soil sample*, per eliminare l'effetto di distorsione dovuto all'interfaccia aria-terreno tra strumento e piano campagna, e tarare correttamente lo zero delle profondità; 2) *passabanda verticale*, per eliminare il rumore al di fuori della banda utile del

segnale; 3) *guadagno lineare e smoothed* per comprimere la dinamica utile del segnale e codificarla in una scala di colori facilmente distinguibili dall'occhio umano, al fine di facilitare la lettura e l'interpretazione delle mappe radar.

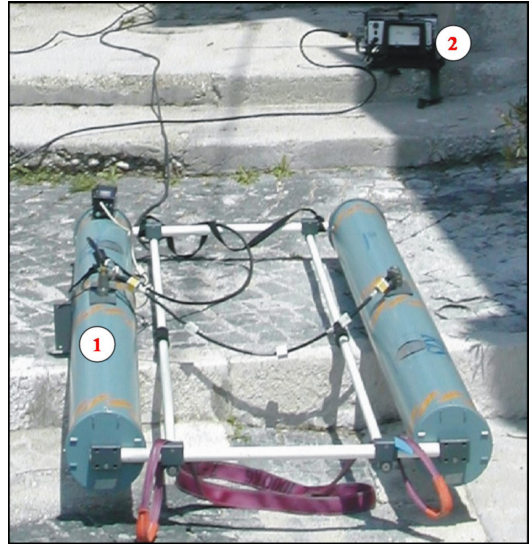


Figura 4: Sistema georadar per indagini idrogeologiche: 1) antenna non schermata da 40 MHz; 2) sistema di acquisizione e memorizzazione dei dati radar.

*Figure 4: Georadar system for hydrogeologic studies: 1) not shielded antenna, operating at frequency of 40 MHz; 2) system for radar data acquisition and storage.*

Inoltre, sempre tramite il software, è stato possibile modificare opportunamente il valore della velocità di propagazione del segnale in funzione delle caratteristiche del mezzo, partendo dalla nota relazione che lega le velocità ( $v$ ) alle profondità ( $z$ ):

$$v = \frac{2z}{t} \quad [1]$$

Il valore  $t$  risulta dai tempi di acquisizione lungo ciascuna verticale e risulta direttamente dalla lettura sull'asse verticale delle mappe radar mentre i valori di  $z$  delle discontinuità, a seconda della loro origine, sono stati ricavati:

1. assumendo a riferimento gli spessori litologici desunti dai sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (Figura 1);
2. utilizzando le indicazioni rivenienti dai rilievi piezometrici effettuati presso i pozzi a scavo (Figura 3).

A titolo di esempio, in tabella 1 si riportano i valori delle profondità delle principali anomalie riscontrate, per mezzo dell'interpretazione delle mappe radar, durante alcuni test preliminari effettuati presso i sondaggi stratigrafici e i pozzi a scavo. Sono riportati anche i valori di profondità corrispondenti ai principali contatti litologici o idrogeologici desunti dalle stratigrafie e dai

livelli idrici misurati nel corso delle indagini. Si evince che il rapporto tra le due profondità, quella derivata dalla lettura delle radar mappe dei test di calibrazione e quella reale misurata, varia da 0,8 a 1,1 e ha un valore medio di circa 0,8 in corrispondenza dei terreni pleistocenici ospitanti la falda superficiale. Questi valori sono stati utilizzati per ridurre la profondità  $z$  della formula [1] così da avere un valore di velocità calibrato da utilizzare come input nelle elaborazioni eseguite successivamente per le tracce di scansione definitive.

Tabella 1: Esempi di calibrazione delle velocità di propagazione. Legenda tipo di contatto litologico: 1) calcareniti/calcarei; 2a) sabbie (sabbie argillose)/arenarie; 2b) arenarie/argille.  
 Table 1: Examples of calibration of propagation velocity. Legend of lithological contacts: 1) calcarenite/limestone; 2a) sand (clayey sand)/sandstone; 2b) sandstone/clay.

Tipo di contatto	Profondità Anomalia - z1 (mappa radar)	Profondità misurata - z2 (sondaggio/rilievo piezometrico)	Fattore correttivo velocità (z2/z1)	Nota
1	17	14	0,8	Falda acquifera
1	8,5	9,5	1,1	
2a	2,5	2,0	0,8	
2a	2,3	3	0,8	Falda acquifera
2b	11	10	0,9	Falda acquifera
2b	10	8,7	0,87	

## Risultati delle indagini

Sulla base delle risposte ottenute dal segnale georadar in funzione delle caratteristiche geologiche dei siti e delle varie possibili fonti di interferenza, qui di seguito vengono riportati i risultati più interessanti, ottenuti dopo la fase di calibrazione delle velocità.

### Area 1

Il sito, in località Computista presso S. Vito dei Normanni, è caratterizzato dall'affioramento dei calcari mesozoici nel settore meridionale e delle calcareniti nel settore settentrionale, con il limite formazionale passante all'incirca sul lato S della S.S. 16 che collega S. Vito dei Normanni a Brindisi. Nella zona non ci sono segni evidenti di tettonica recente né tantomeno di dislocazioni attive in età più antica. La stratigrafia della zona è stata ricostruita attraverso due sondaggi (Figura 5) ubicati a monte e a valle delle scansioni radar considerate. Come si evince dalla sezione geologica di Figura 6, procedendo da SSE a NNW si ha un incremento dello spessore della formazione calcarenitica calabriana che da circa 10 m (sondaggio I) passa a 14 m (sondaggio II), con conseguente approfondimento del tetto della formazione calcarea. Inoltre, la formazione calabriana è caratterizzata

da un graduale passaggio da litotipi più cementati e compatti a terreni meno coerenti e compatti, rappresentati da sabbioni calcarei fossiliferi affioranti nel settore settentrionale (sondaggio II).

Si riportano (Figura 7) i risultati di due scansioni georadar effettuate nell'area e prossime ai sondaggi stratigrafici sopra citati. Nel primo caso la mappa radar (Figura 7a), relativa ad una scansione orientata all'incirca N-S, evidenzia una discontinuità individuata per quasi l'intera lunghezza della scansione e collocata a profondità variabile tra un minimo di 2,0 ed un massimo di 5,0 m; tale discontinuità potrebbe associarsi ad una geometria ondulata tipica del substrato calcareo murgiano, caratterizzato dall'alternanza di blande anticlinali e sinclinali quando non è interessato da faglie distensive.



Figura 5: Area d'indagine presso S.Vito dei Normanni (Br): ubicazione delle linee di scansione (la direzione delle frecce indica il verso di avanzamento del Georadar).

Figure 5: Investigation area near S. Vito of Normans (Br): location of scanning lines (the arrows show the direction of georadar advance).

Ovviamente gli spessori calcarenitici maggiori si rinvennero in corrispondenza delle depressioni sinclinali. Nel secondo caso la mappa radar (Figura 7b), riferita al tratto terminale di una scansione orientata NW-SE, mostra una discontinuità debolmente ondulata compresa tra 2 e 5 metri di profondità. All'interno della zona compresa tra il piano campagna e le discontinuità individuate non si hanno evidenze di altre discontinuità che potrebbero indicare passaggi laterali di facies della formazione calcarenitica calabriana.

### Area 2

Il sito, ubicato presso la Masseria Uggio (Figura 8), a circa 15 km a S di Brindisi, è caratterizzato dall'affioramento dei depositi marini terrazzati, quivi rappresentati da sabbie calcaree e argille sabbiose con intercalazioni di banchi arenacei e calcarenitici.

In particolare, nei sondaggi III e IV di cui si riportano le stratigrafie (Figura 9) sono state rinvenute calcareniti con spessore variabile tra 1,5 m e 7,9 m con al tetto sabbie e al letto sabbie e argille sabbiose.

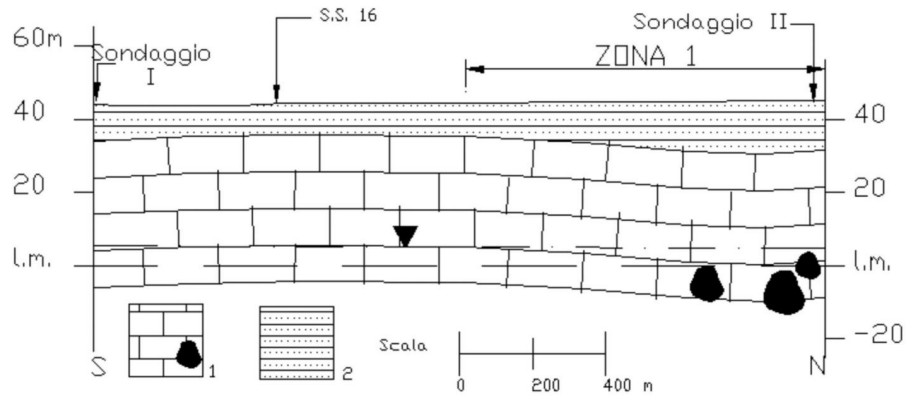


Figura 6: Area d'indagine presso S.Vito dei Normanni (Br): sezione geologica ricostruita sulla base dei sondaggi stratigrafici.  
 Figure 6: Investigation area near S. Vito of Normans (Br): geological cross-section based on local stratigraphic boreholes.

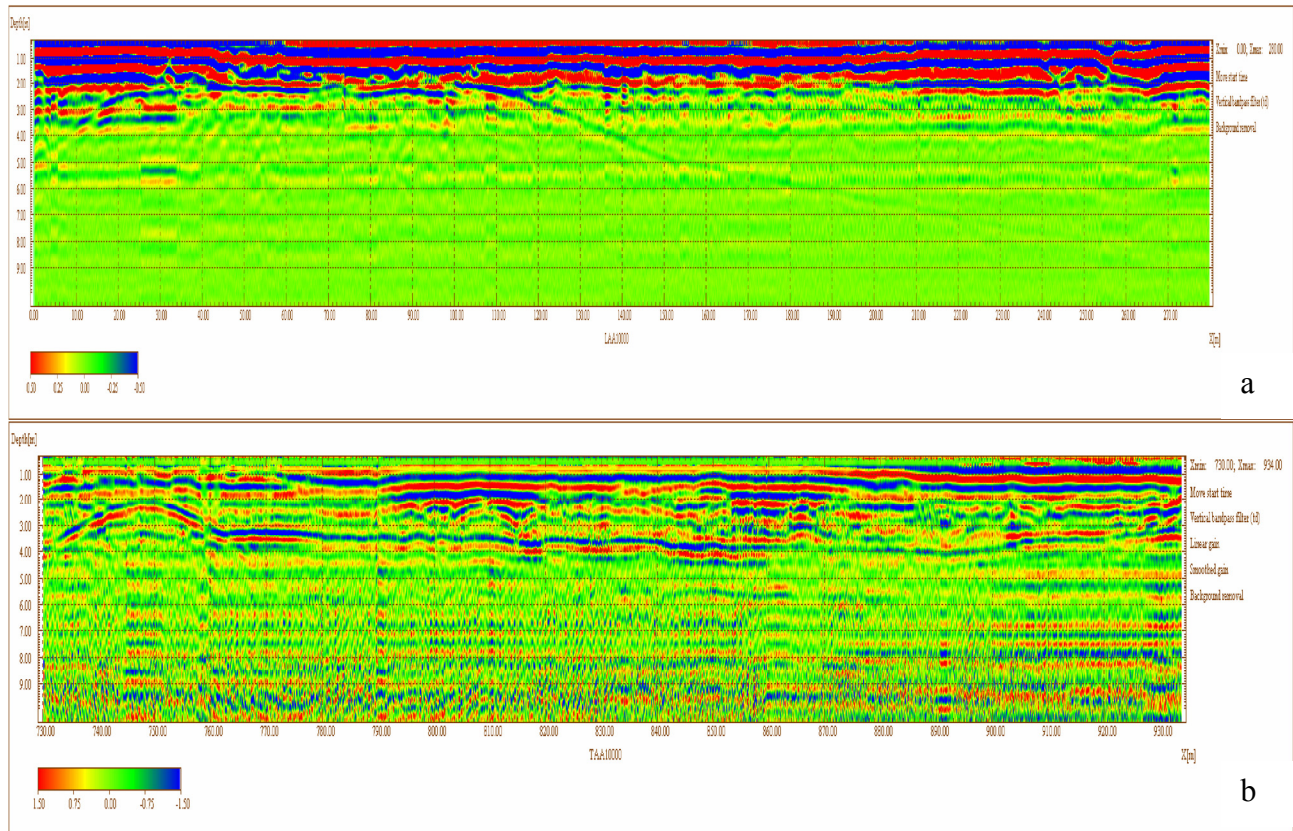


Figura 7: Interpretazione di mappe radar relative ad alcune scansioni effettuate presso S. Vito de' Normanni (BR): a) scansione orientata N-S; b) scansione orientata NW-SE.

Figure 7: Interpretation of radarmaps relative to some scanning lines carried out near S. Vito of Normans (Br): a) scanning line N-S oriented; b) scanning line NW-SE oriented.

Sulla base delle stratigrafie è stata ricostruita la sezione geologica di Figura 10, nella quale si evidenzia la presenza nel settore nordorientale di un banco calcarenitico che tende ad assottigliarsi procedendo da NNE verso SSW, fino a scomparire del tutto e ad essere sostituito da sabbie calcaree argillose.

Nel sito sono state effettuate due linee di scansione, le

cui mappe radar (Figure 11 e 12) hanno evidenziato chiaramente la presenza di due principali discontinuità collocate a profondità diverse.

Nella prima scansione, orientata SSE-NNW (Figura 11), si può osservare una discontinuità superiore posta a profondità variabile tra 1 e 2 metri e visibile per quasi tutta la lunghezza di battuta, ed una discontinuità

inferiore, più evidente in due tratti distinti ( $50 \leq x \leq 150$  e  $280 \leq x \leq 430$ ) e posta a profondità variabile tra un minimo di 2 metri e un massimo di 8 metri. Questa seconda discontinuità ha un andamento ondulato e sembra approfondirsi nel tratto centrale, ove non risulta molto marcata, mentre nel tratto iniziale e finale di scansione si congiunge con la discontinuità più superficiale, definendo la geometria di un corpo lentiforme.

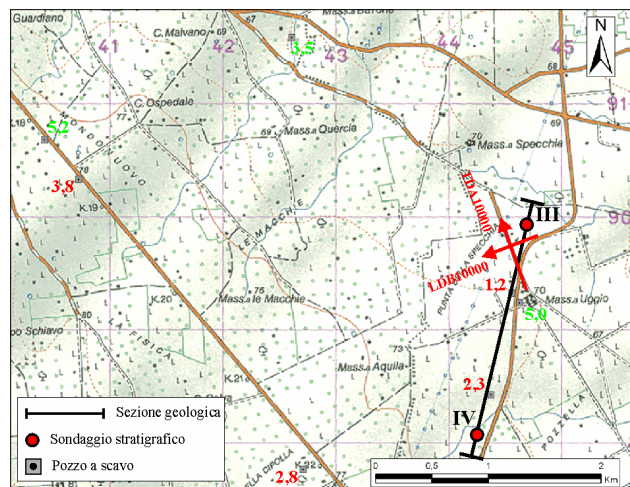


Figura 8: Area d'indagine presso Masseria Uggio, Tuterano (Br): ubicazione delle linee di scansione (la direzione delle frecce indica il verso di avanzamento del Georadar) e dei pozzi a scavo con indicazione della profondità del livello statico (a fine esaurimento falda, in verde, e a fine ricarica, in rosso).

Figure 8: Investigation area near Uggio Farm, Tuterano (Br): location of scanning lines (the arrows show the direction of georadar advance) and dug-wells showing the depth of water table (maximum value in green and minimum value in red).

La profondità di tali discontinuità e lo spessore di sottosuolo compreso fra di esse, farebbe associare il corpo geometrico evidenziato al banco calcarenitico che quasi in corrispondenza del punto di intersezione delle due scansioni potrebbe assumere la potenza maggiore, così come si evince dai dati stratigrafici.

Nella seconda scansione, orientata ENE-WSW, le discontinuità che risultano più evidenti sono (Figura 12): una discontinuità superiore collocata a profondità variabile tra 1 e 1,5 m, nel tratto di ascissa compreso tra  $x=0$  e  $x=180$ , ed una discontinuità inferiore compresa tra 1 e 3,5 m di profondità, visibile chiaramente nel tratto di scansione tra  $x=145$  e  $x=195$ . Questa seconda discontinuità, individuata da una curva concava verso l'alto, potrebbe definire, da un punto di vista geometrico, il letto del banco calcarenitico nella direzione circa trasversale a quella della precedente scansione. Infine, dalla mappa radar di Figura 12 risulterebbe una terza discontinuità che però è assai meno marcata delle precedenti, perché il segnale radar è risultato disturbato da fonti di interferenze esterne non del tutto eliminabili in fase elaborativa; tale discontinuità, collocata a profondità

compresa tra 3,0 e 5,0 metri in corrispondenza nel tratto di ascissa compreso tra  $x=150$  e  $x=180$ , potrebbe individuare il letto di una facies sabbiosa in eteropia con le arenarie.

## Conclusioni e prospettive future

Le indagini effettuate e le successive elaborazioni, affiancate dalle informazioni ottenute dai metodi geognostici tradizionali, hanno fornito dei riscontri positivi ed hanno consentito di aggiungere nuove informazioni sulla geometria sia dei principali contatti stratigrafici tra le formazioni geologiche del territorio esaminato sia dei principali corpi acquiferi superficiali.

In fase di elaborazione dei dati radar grezzi, le profondità delle discontinuità rilevate sono state corrette in funzione delle reali profondità di rinvenimento di contatti stratigrafici e superfici piezometriche: ciò ha permesso di calibrare la velocità di propagazione che è risultata variabile, a seconda dei casi, tra il 60 e il 75% del valore medio di riferimento per terreni omogenei e asciutti.

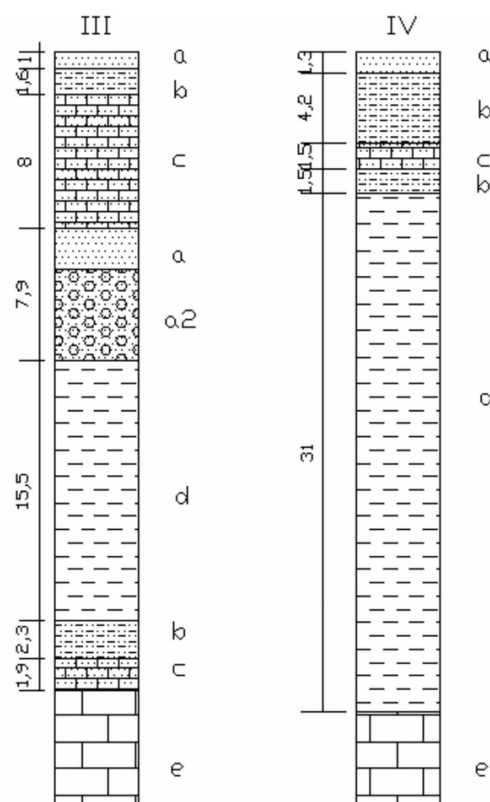


Figura 9: Stratigrafie presso i sondaggi III e IV, presso Masseria Uggio, Tuterano (Br). Legenda: a) sabbia calcarea a2) con bioclasti; b) argilla sabbiosa; c) calcarenite; d) argilla marnosa; e) calcare fratturato.

Figure 9: Stratigraphies of boreholes III and IV, near Uggio Farm, Tuterano (Br). Legend: a) calcareous sand with a2) organogenous fragments; b) sandy clay; c) calcarenites; d) marly clay; e) fractured limestone.

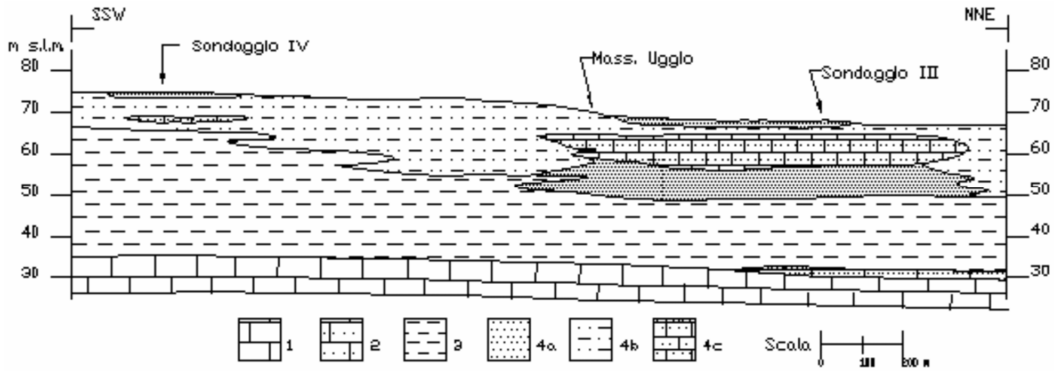


Figura 10: Sezione geologica presso Masseria Uggio, Tuterano (Br). Legenda: 1) Calcari (Cretaceo); 2) Calcareniti (Calabriano); 3) Argille marnose (Calabriano); 4a) Sabbie calcaree (Pleistocene medio-sup.); 4b) Argille sabbiose (Pleistocene medio-superiore); 4c) Calcareniti e arenarie (Pleistocene medio-superiore).

Figure 10: Geological cross-sections near Uggio Farm, Tuterano (Br): 1) Limestones (Cretaceous); 2) Calcarenites (Calabrian); 3) Marly clays (Calabrian); 4a) Calcareous sands (Middle-Upper Pleistocene); 4b) Sandy clays (Middle-Upper Pleistocene); 4c) Calcarenites and sandstones (Middle-Upper Pleistocene).

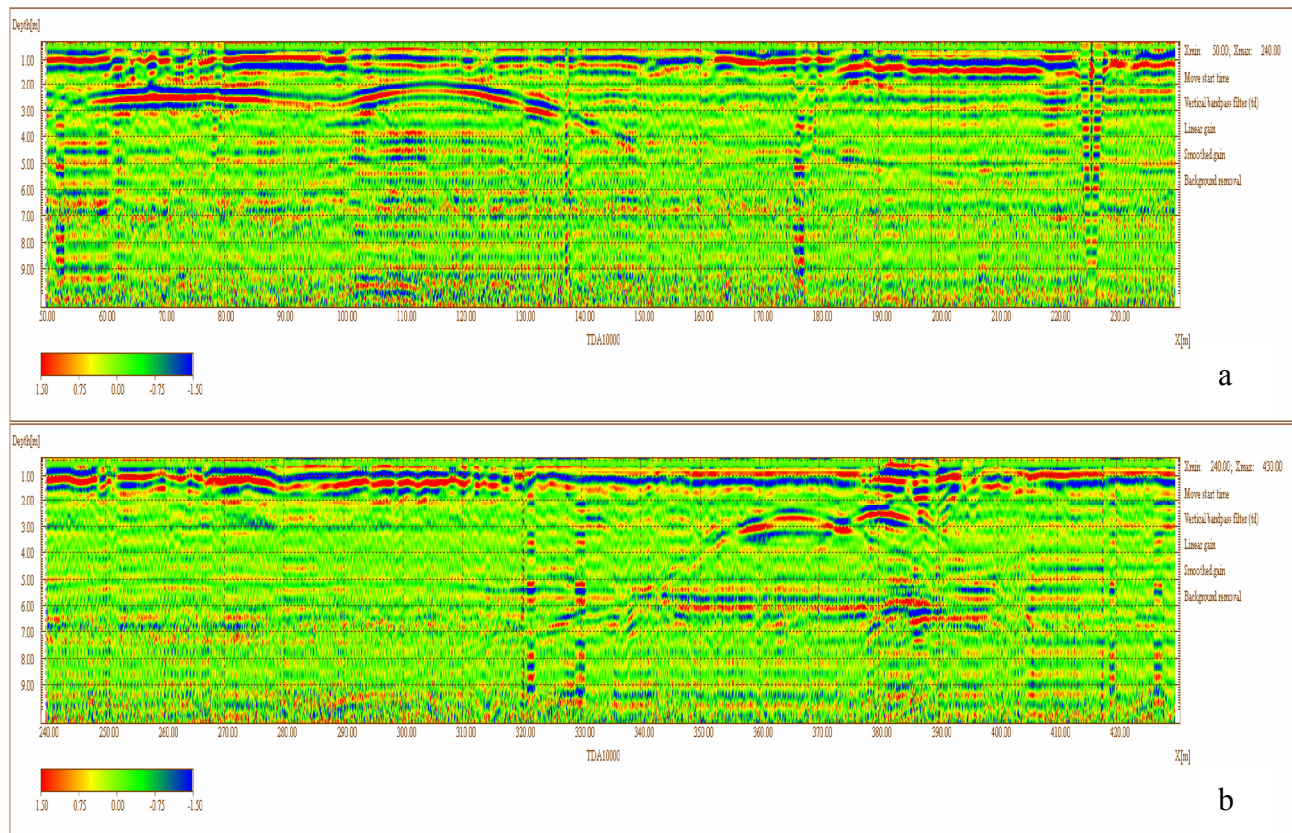


Figura 11: Interpretazione della mappa radar relativa alla linea scansione ubicata in “Area 2” ed orientata SSE-NNW.  
 Figure 11: Interpretation of radarmap relative to scanning line located near Uggio Farm and oriented from SSE to NNW.

Ai fini della miglior comprensione del comportamento delle onde radar in antenne non schermate, quali quelle adoperate, è risultata altresì interessante la verifica della tipologia dei disturbi esterni e della loro materializzazione nelle sezioni georadar, essendo possibile il controllo e la conoscenza di tutte le relative fonti di interferenza.

Un possibile sviluppo di queste tecniche d’indagine è

rappresentato dal loro utilizzo nello studio delle depressioni carsiche della Murgia sudorientale (Puglia), alcune delle quali caratterizzate dalla presenza di esigui depositi limoso-sabbiosi soprastanti potenti accumuli di terra rossa ed ospitanti acque di falda superficiali, come nel caso del territorio di Conversano (Parise, 2002).



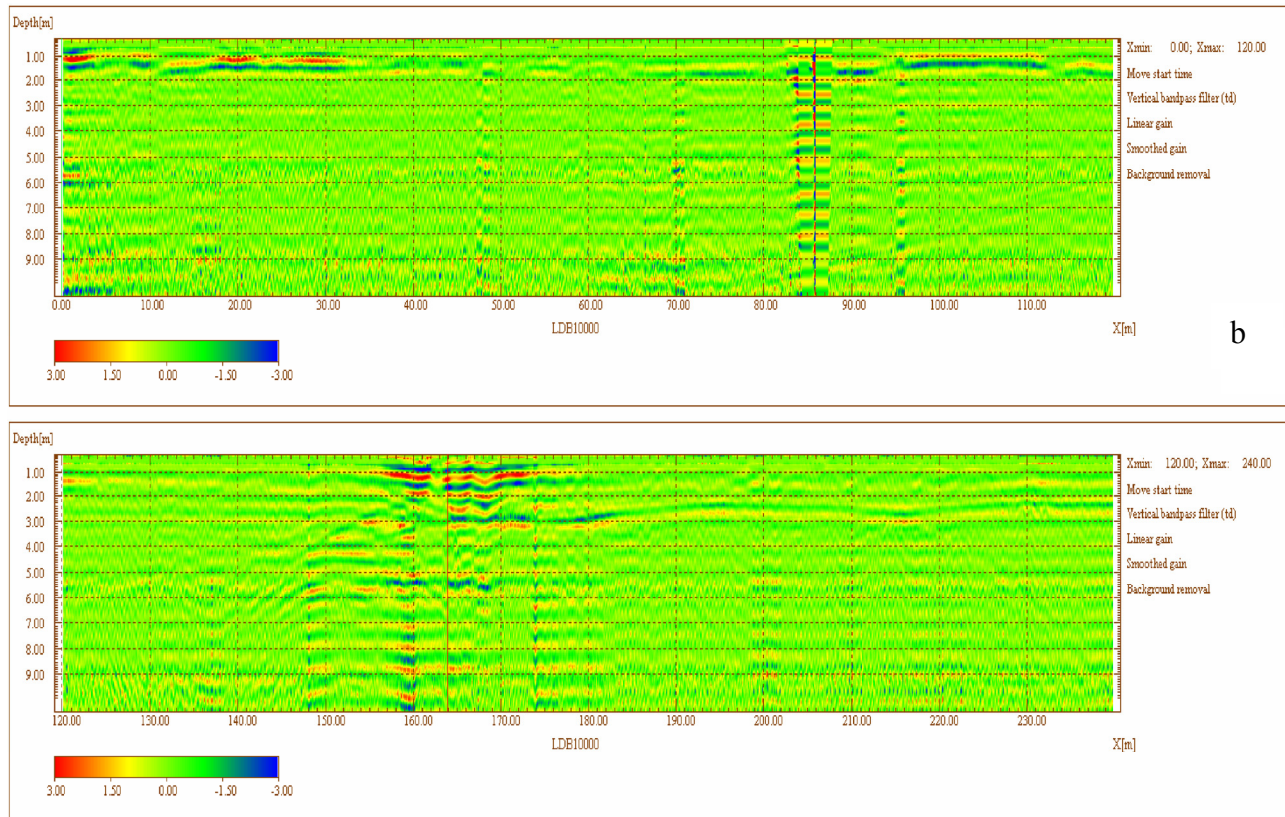


Figura 12: Interpretazione della mappa radar relativa alla linea scansione ubicata in “Area 2” ed orientata ENE-WSW.  
 Figure 12: Interpretation of radarmap relative to scanning line located near Uggio Farm and oriented from ENE to WSW.

Pertanto le indagini georadar potranno fornire informazioni di vario dettaglio sia sulla geometria e profondità del substrato carbonatico sia sulla geometria dei corpi acquiferi superficiali.

A tal proposito si potranno effettuare indagini georadar sia di superficie sia in foro, accompagnate da metodi geognostici tradizionali quali la geoelettrica e da misure del livello statico all’interno di pozzi a scavo e cisterne presenti nelle doline, in modo tale da permettere di calibrare la profondità effettiva della superficie freatica.

Infine, la taratura della velocità di propagazione potrà effettuarsi mediante metodi classici quale quello a priori della piastra metallica collocata in trincea ed alla profondità corrispondente al passaggio litologico più significativo (es. tra sabbie e argille) e quello a posteriori basato su formule empiriche (Topp *et alii*, 1980; Ferrè *et alii*, 1996), nelle quali la velocità di propagazione del segnale è in relazione al contenuto in acqua del terreno, determinato preventivamente con metodologie agronomiche.

## Bibliografia

Castrignanò A., Lopez N., Spizzico M., Sciannamblo D., 2006. Caratterizzazione della qualità delle acque di falda superficiale della piana di Brindisi mediante tecniche geostatistiche. *Giornale di Geologia Applicata*, 3: 7-16.

Ciaranfi N., F. Ghisetti F., Guida M., Iaccarino G., Lambiase S., Pieri P., Rapisardi L., Ricchetti G., Torre M., Tortorici L., Vezzani L., 1983. Carta Neotettonica dell’Italia Meridionale. C.N.R., Prog. Finaliz. Geodin., Pubbl. 515, pp. 62.

Ciaranfi N., Pieri P., Ricchetti G., 1992. Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centromeridionale). *Memorie Società Geologica Italiana*, 41, 449-460.

Daniels D.J., 1996. Subsurface-penetrating radar. The Institution of Electrical Engineers, London, UK.

Ferrè P.A., Rudolph D.L., Kachanoski R.G., 1996. Spatial averaging of water content by time domain reflectometry: Implications for twin rod probes with and without dielectrics

coatings. *Water Resour. Res.* 32:271-279.

Grassi D., Tadolini T., 1985. Hydrogeology of the mesozoic carbonate platform of Apulia (South Italy) and the reasons for its different aspects. *International Symposium on karst water resources*, 293-306.

Lopez N., Sciannamblo D., Spizzico M., Tinelli R., 2005. Characterizing the post-cretaceous aquifer in the Brindisi plain (south Italy) in order to recover and protect underground bodies of recover and protect underground

bodies of water- Book of proceedings of 3rd symposium "Quality and Management of water resources", Saint Petersburg, Russia.

Magaldi D., Spizzico M., Lopez N., Ranalli D., Sciannamblo D., Scozzafava M., 2006. Ricostruzione stratigrafica mediante indagini georadar: area campione di S. Vito dei Normanni (Brindisi, Italia). *Giornale di Geologia Applicata*, 4: 92-100, 2006.

Parise M., 2002. Caratteri geologici e geomorfologici dei laghi carsici di Conversano (Murge di sud-est, Puglia). *Grotte e dintorni*, 3: 43 - 88.

Sciannamblo D., Spizzico M., Tadolini T., Tinelli R., 1992. Lineamenti idrogeologici della zona umida di Torre Guaceto (Br). *Geologica Romana* 30, 754-760.

Spizzico M., Sciannamblo D., 2003. On  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the brackish water of coastal aquifers: lab-investigations and confirmation in the carbonate aquifer of Brindisi (Italy). 1st ICGGE, Bled.

Spizzico M., Lopez N., Sciannamblo D., Tinelli R., 2006. La Piana di Brindisi: fenomeni di interazione fra le falde idriche sotterranee

presenti nell'area. *Giornale di Geologia Applicata*, 3: 17-24.

Tadolini T., Spizzico M., Sciannamblo D., 1994. Time course of radon concentration in the coastal belt North-East of S. Vito dei Normanni (Brindisi, ITALY). 13<sup>o</sup> Salt-Water Intrusion Meeting, Cagliari (ITALY), 155-162.

Topp G. C., Davis J.L., Annan A.P., 1980 – Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* 16:574-582.