

L'ACQUIFERO SUPERFICIALE DEL TERRITORIO DI BRINDISI: DATI GEOIDROLOGICI DIRETTI E IMMAGINI RADAR DA SATELLITE

E. RICCHETTI (*) & M. POLEMIO (**)

RIASSUNTO

Nel territorio di Brindisi affiorano estesamente depositi marini terrazzati che costituiscono un acquifero superficiale, permeabile per porosità. Tali depositi poggiano su sedimenti del ciclo sedimentario della Fossa bradanica, i cui termini argilloso-limosi sostengono le acque freatiche, trasgressivi su una potente successione di calcari e dolomie di età cretacea, appartenenti alla formazione del Calcarea di Altamura. In queste rocce circola una potente falda idrica profonda, presente in tutto il territorio murgiano e salentino.

Le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero superficiale sono state ricostruite sulla base di dati stratigrafici ed idrologici diretti nonché mediante l'utilizzo di immagini telerilevate.

L'analisi geologico-stratigrafica, condotta con tecniche geostatistiche sulla base di dati di superficie e desunti da pozzi per ricerca idrica, ha evidenziato una locale variabilità degli spessori sia dell'acquifero superficiale che dei depositi argillosi che lo sostengono.

In conseguenza delle risultanze del bilancio idrologico, particolare attenzione è stata prestata all'individuazione di eventuali perdite idriche a favore dell'acquifero carsico profondo.

Uno studio idrogeologico di dettaglio, sulla base di misure piezometriche, termo-salinometriche e prove di permeabilità, è stato eseguito in un'area campione a sud di Brindisi. Il grado di permeabilità misurato nei terreni acquiferi è risultato generalmente medio basso; mentre per i depositi argillosi i valori misurati, dell'ordine di 10^{-7} m/s, sono troppo elevati per impedire perdite dall'acquifero superficiale. La superficie piezometrica è fortemente condizionata da parte del reticolo idrografico.

L'analisi delle immagini radar telerilevate da satellite, acquisite in tre stagioni differenti, ha permesso di riconoscere aree caratterizzate da diverso regime idrogeologico ed alcuni lineamenti strutturali lungo i quali si verificano verosimilmente perdite d'acqua a favore della falda profonda.

La validità dell'applicazione di dati telerilevati nello studio idrogeologico di acquiferi superficiali è stato inoltre avvalorato dall'analisi, in un'area campione, di

immagini riprese con una telecamera all'infrarosso termico.

TERMINI CHIAVE: *Brindisi, Idrogeologia, Risorse idriche, Telerilevamento, GIS.*

ABSTRACT

THE FREE SHALLOW BRINDISI AQUIFER: DIRECT HYDROLOGICAL DATA AND REMOTE SENSING IMAGES - A free shallow aquifer is present in the Pleistocene marine terrace deposits that widely outcrops in the Brindisi district. These deposits overlay impermeable clay and calcarenite of «Fossa bradanica» sedimentary cycle, and Mesozoic carbonate rocks of «Calcarea di Altamura» formation. In the latter a regional karsic aquifer is present.

The geological analysis was carried out also using stratigraphic data from drilled holes. Those data highlight a local high variability of aquifer and impermeable clay thickness, with a mean value of 14 m and 22 m respectively.

On line with the results of hydrologic accounting, particular attention was paid to the recognition of local water loss toward the karsic aquifer.

A hydrogeologic study of a sample area southward with respect to Brindisi, based on detailed field survey, highlights low values of aquifer permeability, with mean value of $7,5 \times 10^{-5}$ m/s. The permeability of the clay deposits underlying the aquifer is too high to avoid any water infiltration (mean value of 3×10^{-7} m/s). The water table is locally influenced by hydrographic pattern. If we consider piezometric regimen it has a month minimum in the summer end and a month maximum in March or April, with a delay of 2-3 months with respect to month extreme rainfall.

The analysis of a multitemporal satellite radar image provided useful information about the water content changes of the shallow aquifer. The color hue differences shown in the color composite image of three images acquired in different season, are strictly correlated to the changes in soil moisture content. Besides, structural lineaments were recognized in that image, along which water infiltration is likely. The applicability of remotely sensed data in this kind of study is also proved by the analysis of images acquired by an infra-red videocamera.

KEY WORDS: *Brindisi, Hydrogeology, Water resources, Remote sensing, GIS.*

(*) Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari.

(**) C.N.R.-CE.RI.S.T., Bari.

Lavoro parzialmente eseguito con fondi di ricerca MURST 40%, coordinatore locale G. Ricchetti.

1. INTRODUZIONE

I terreni costituenti l'acquifero superficiale di Brindisi affiorano in una vasta area, che si estende con una forma irregolare da Punta Penna Grossa, a Nord, fino a Mesagne, Latiano, Oria, e Torre S. Susanna a Ovest, a S. Donaci e Campi Salentina a Sud, avendo contatto lungo il suo maggiore sviluppo con il Mare Adriatico. Trattasi di un esteso territorio, la cui superficie ha un'area di circa 700 km² (fig. 1).

Al di sopra del substrato carbonatico mesozoico, affiorano i termini calcarenitici ed argillosi del ciclo sedimentario della Fossa

bradanica di età plio-pleistocenica, su cui poggiano più recenti depositi bioclastici terrazzati di ambiente litorale e depositi continentali olocenici ed attuali.

I depositi terrazzati formano un acquifero superficiale essenzialmente sabbioso, a luoghi sostenuto alla base dai termini argillosi del ciclo sedimentario infrapleistocenico (Argille subappennine). Tale falda idrica era già utilizzata dall'Impero di Roma per l'alimentazione idrica della città di Brindisi, all'epoca il più importante porto adriatico (ZORZI & REINA, 1957). L'uso di tale falda non è mai cessato ma nel tempo è diventato esclusivamente agri-

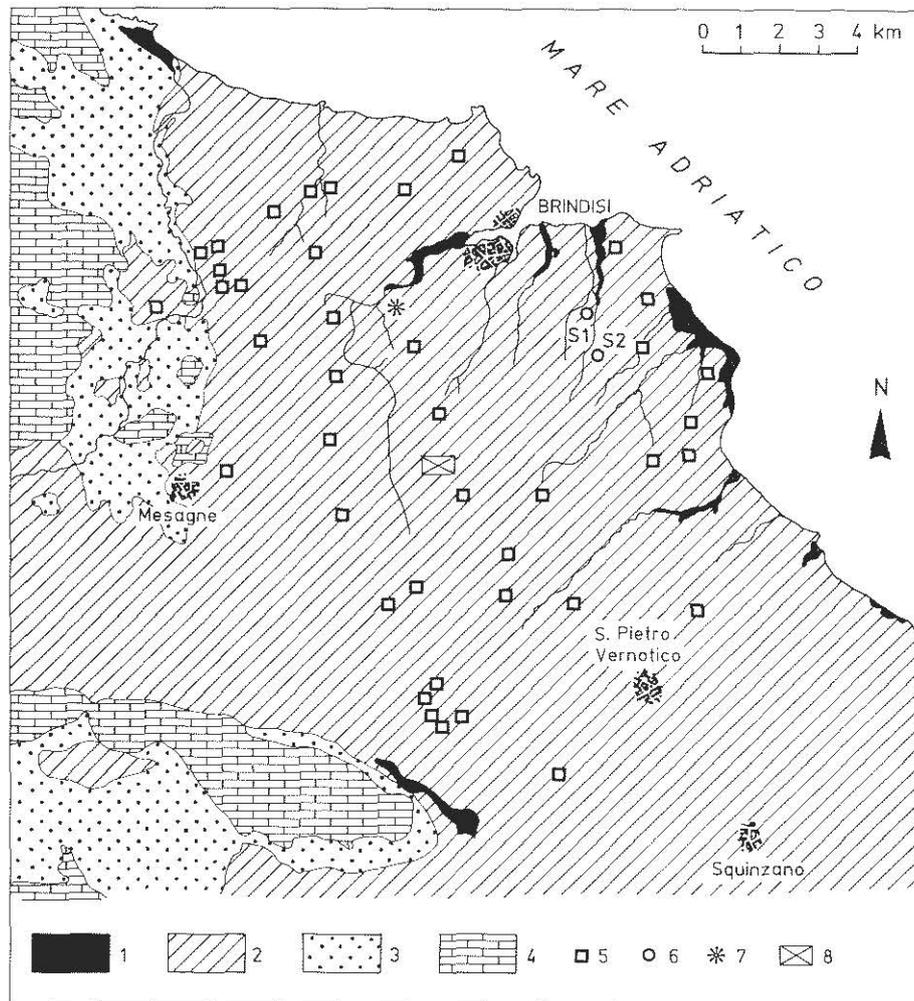


Fig. 1 - Carta geologica schematica dell'area di studio: 1) Depositi alluvionali ed eluvio-colluviali; 2) Depositi marini terrazzati; 3) Depositi del ciclo sedimentario della Fossa bradanica; 4) Calcarea di Altamura; 5) pozzi con dati stratigrafici; 6) pozzi con dati stratigrafici e fisici delle acque della falda superficiale (fig. 3); 7) pozzo idrometrico; 8) rilievo all'infrarosso termico.

colo. Nel corso di questo secolo, prima del recente sviluppo delle reti di acquedotto che utilizzano anche risorse extraregionali, l'uso della falda superficiale è cresciuto mediante pozzi che, vista le modeste potenzialità e soggiacenza della falda idrica superficiale, sono stati realizzati a scavo e di grande diametro. Al di sotto dell'acquifero superficiale, generalmente sostenuto dal basso dai terreni argillosi di età plio-pleistocenica, ha luogo, nei calcari mesozoici della Piattaforma apula, un potente ed esteso acquifero carbonatico, sede della pregiata falda idrica profonda, principale risorsa idrica regionale (COTECCHIA, 1977).

Sono stati interpretati numerosi dati diretti, tra cui rilievi piezometrici, di permeabilità e chimico-fisici delle acque. Le caratteristiche stratigrafiche dell'acquifero superficiale sono state studiate secondo le metodologie della geostatistica. Lo studio dell'acquifero superficiale è stato integrato mediante l'analisi sia di immagini radar rilevate da satellite, acquisite dalla piattaforma orbitante ERS-1, che di immagini all'infrarosso termico, riprese in un'area campione.

La ricerca è stata finalizzata all'individuazione delle aree di possibili travasi dall'acquifero superficiale, soggetto agli effetti di numerose fonti di inquinamento, all'acquifero carbonatico sottostante.

2. CARATTERI GEIDROLOGICI DELL'AREA DI STUDIO

2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di interesse nel presente studio ricade nell'ambito dell'Avampaese apulo, individuatosi durante l'orogenesi appenninica e costituito da una potente successione di rocce carbonatiche di piattaforma. Le spinte connesse alle diverse fasi tettoniche hanno solo marginalmente interessato l'avampaese, generando essenzialmente strutture disgiuntive quali fratture, faglie dirette e, subordinatamente, blande pieghe ad ampio raggio.

In particolare il territorio di Brindisi è a cavallo del confine tra due blocchi dell'Avampaese apulo, le Murge ed il Salento, caratterizzati da alcune differenze sotto l'aspetto geologico-strutturale. L'area murgiana è costituita da un esteso blocco sollevato, delimitato sia sul versante ionico che adriatico da strutture distensive con blocchi a gradinata (RICCHETTI, 1980). Più complesso risulta l'assetto

strutturale del Salento, caratterizzato da una serie di Horst e Graben variamente estesi, generalmente orientati in direzione NW-SE (MARTINIS, 1962).

La piana di Brindisi coincide con una vasta depressione strutturale aperta verso la costa adriatica, che interessa le rocce carbonatiche dell'avampaese, nella quale si sono depositi sedimenti del ciclo di riempimento della Fossa bradanica e depositi marini terrazzati che costituiscono l'acquifero superficiale.

In particolare i caratteri geologico-stratigrafici dell'area di interesse sono stati oggetto di diversi studi che hanno approfondito e modificato le indicazioni stratigrafiche riportate nella Carta Geologica d'Italia (F° 191 «Ostuni»; F° 203 «Brindisi»; F° 204 «Lecce»).

Un primo aggiornamento della nomenclatura e delle correlazioni stratigrafiche riguardanti i depositi plio-quadernari, è stato proposto da RICCHETTI (1972). L'autore ha correlato questi depositi ai sedimenti affioranti sul margine murgiano della Fossa bradanica, riferendo i depositi calcarenitici ed argillosi di età suprapliocenica-infrapleistocenica ai termini trasgressivi del ciclo sedimentario di riempimento dell'avanfossa, sui quali poggiano depositi marini terrazzati.

Una sintesi delle diverse conoscenze geologiche riguardanti il territorio brindisino è descritta da CIARANFI *et alii* (1992) nelle «Note alla carta geologica delle Murge e del Salento». In accordo con le indicazioni riportate in tale studio, la successione stratigrafica che caratterizza l'area di interesse può essere schematizzata, dal basso verso l'alto, come segue:

Depositi Marini

– Depositi mesozoici della Piattaforma Carbonatica Apula:

1) Calcare di Altamura. Cretaceo (*Turoniano Sup.? - Maastrichtiano*).

– Depositi del ciclo sedimentario della Fossa bradanica:

2) Calcarenite di Gravina. Pliocene sup. - Pleistocene inf.

3) Argille subappennine. Pleistocene inf.

4) *Depositi marini terrazzati*. Pleistocene med.-sup.

Depositi Continentali

5) Depositi alluvionali ed eluvio-colluviali. Olocene.

In fig. 1 è rappresentata la carta geologica schematica dell'area di studio, redatta sulla base della carta geologica proposta da CIARANFI *et alii* (1992).

2.2. CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'assetto morfologico del territorio di Brindisi, generalmente pianeggiante, rispecchia l'assetto tabulare dei depositi plio-pleistocenici e, subordinatamente, mesozoici affioranti. L'elemento morfologico che caratterizza l'area è la presenza di una serie di superfici terrazzate digradanti verso il mare Adriatico e delimitate da modeste e discontinue cadute di pendio in corrispondenza delle antiche linee di costa.

Il reticolo idrografico è localmente ben sviluppato e caratterizzato da numerose linee di deflusso generalmente poco profonde. Solo alcuni corsi d'acqua principali, quali il Canale di Cillarese, il Fiume Grande ed il Canale di Siedi, presentano delle incisioni segnatamente più profonde in prossimità della linea di costa. Lungo tali incisioni affiorano localmente i depositi del ciclo della Fossa bradanica. A causa dell'assetto tabulare, gli spartiacque non sono generalmente ben marcati. Sono frequenti piccole aree depresse, anche a carattere endoreico, soggette a fenomeni di alluvionamento durante le precipitazioni più intense.

In prossimità della linea di costa, in particolare a sud dell'abitato di Brindisi, sono presenti aree paludose in corrispondenza della foce di corsi d'acqua e/o emergenza di acque sotterranee.

L'originale assetto geomorfologico è stato, in gran parte dell'area investigata, intensamente modificato dalle attività antropiche; particolarmente importante è stata la lavorazione del suolo operata dagli agricoltori, che ha modificato localmente anche le naturali linee di deflusso delle acque superficiali.

2.3. INQUADRAMENTO CLIMATICO

L'area in studio ricade in un vasto territorio idrologicamente omogeneo, che include le Murge e la Penisola Salentina, ad eccezione della zona delle Serre Salentine. In tale territorio la variabilità spaziale della piovosità media annua, proficuamente correlabile con l'altitudine, è modesta (LL.PP., 1956) e, ai fini di

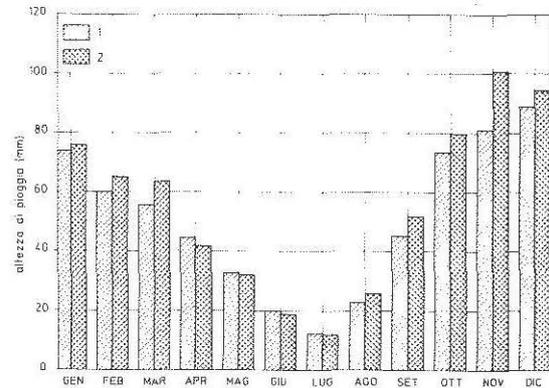


Fig. 2 - Regime delle precipitazioni: pluviometro di 1) Brindisi e 2) S. P. Vernotico.

questo lavoro, trascurabile: la variazione tra la minima e la massima piovosità media annua delle stazioni pluviometriche ricadenti nell'area di studio è pari all'8% del valore minimo. Di conseguenza, nel seguito, per semplicità, sono state considerate esclusivamente le stazioni termopluviometriche di Brindisi e di S. Pietro Vernotico.

La piovosità media annua a Brindisi è pari a 612 mm contro i 663 mm di S. Pietro Vernotico. Il rapporto tra gli estremi della piovosità annua registrati in tutto il periodo di osservazione, oltre 50 anni, è pari a 3,7 e 3,2 nel primo e secondo caso rispettivamente; ciò dimostra che da un anno all'altro sono realistiche delle fortissime variazioni della piovosità. Il regime pluviometrico è quello marittimo, prevalente su tutto il territorio pugliese (fig. 2). Il minimo della piovosità si verifica mediamente a luglio, il massimo si verifica tra novembre e dicembre.

La variabilità dei caratteri termometrici dell'area è ancor meno accentuata di quella pluviometrica. La temperatura annua media è pari a 16,6 e 16,7 °C, rispettivamente per Brindisi e S. Pietro Vernotico. Il regime termometrico, di tipo moderato, è caratterizzato in entrambe le stazioni da valori massimi ad agosto e minimi a gennaio (fig. 2).

2.4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

È possibile individuare due ben distinti ambienti idrogeologici: l'uno caratterizzato da un acquifero essenzialmente sabbioso, sostenuto alla base da strati impermeabili costitui-

ti dalle Argille subappennine, generalmente freatico; l'altro, sottostante al precedente e talora in pressione, costituito dalle rocce carbonatiche cretatiche fessurate e carsificate, nonché dalle « calcareniti e sabbie » poste in continuità al di sopra delle rocce cretatiche (CHERUBINI *et alii*, 1987; ZORZI & REINA, 1957; GRASSI & TADOLINI, 1985; RADINA, 1968) (fig. 3). La falda inferiore è sostenuta alla base, per galleggiamento, dall'acqua di mare che penetra nella terraferma (COTECCHIA, 1977).

La prima falda idrica, comunemente detta « superficiale », ha un carattere locale, mentre la seconda falda, comunemente nota nella regione come « profonda », impegna l'intera piattaforma apula. Le acque della falda idrica profonda in loco traggono la loro alimentazione sia dalle precipitazioni incidenti a monte della zona in argomento, laddove la formazione carbonatica è affiorante, che dai deflussi sotterranei provenienti dalla contigua Murgia nonché, come sostenuto da questo lavoro, dalle perdite dell'acquifero superficiale. La falda idrica profonda circola in un acquifero permeabile per fessurazione e carsismo, di norma a pelo libero, defluendo verso la costa con cadenti piezometriche generalmente inferiori allo 0,05%; i carichi piezometrici, anche a svariati chilometri dalla costa, sono molto modesti.

L'interpretazione delle modalità di ricarica e, soprattutto, di circolazione e affioramento delle acque della falda superficiale è evidentemente complessa. Non si può infatti semplicisticamente supporre che le acque infiltratesi nella falda superficiale transitino indisturbate verso il recapito naturale costituito dal mare.

A che ciò si verifichi si oppongono alcune particolari condizioni. Si è già accennato ad alcune profonde incisioni del reticolo idrografico, come nel caso del Canale Cillarese posto a Nord-Ovest di Brindisi, che incidono i terreni sabbiosi superficiali, fino a raggiungere il substrato limoso-argilloso che sostiene la falda superficiale. Ciò comporta che parte delle acque della falda superficiale emergono in virtù dell'opera drenante svolta dal reticolo idrografico, come già noto nel caso del canale di Siedi e dell'omonimo gruppo sorgentizio (LL.PP.; 1953). Lungo questo canale, posto presso Tutturano, scaturiscono portate modeste di acque sorgentizie provenienti dall'acquifero superficiale; il fenomeno è diffuso in tutta l'area occupata dai limitrofi canali; le

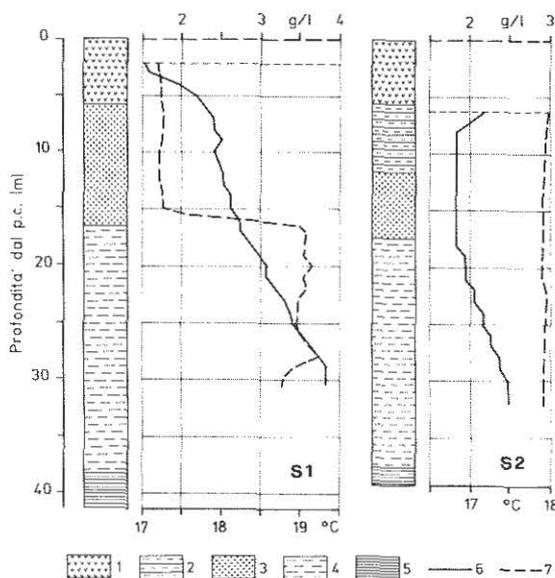


Fig. 3 - Stratigrafie e carotaggi termo-salinometrici della falda superficiale: 1) terreno vegetale, sabbie di colore dal rosso bruno all'avana, limi sabbioso-argillosi e argille nerastre organogene; 2) calcareniti bioclastiche tipo « panchina » di colore dal giallo ocre al grigio; 3) sabbie da giallastre a avana passanti verso il basso a limi argilloso-sabbiosi grigi; 4) argille grigio-azzurre passanti verso il basso a limi sabbiosi giallastri; 5) biocalcareniti giallastre; 6) temperatura dell'acqua (gennaio 1991); 7) salinità dell'acqua (gennaio 1991).

portate emergenti sono state oggetto di contraddittorie misure che, comunque, non sono mai scese al di sotto di alcune decine di litri.

D'altra parte, come si mostrerà, gli strati sostanzialmente impermeabili che separano i due acquiferi non si estendono con continuità e uguale potenza entro l'area di studio.

3. CARATTERIZZAZIONE DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE

3.1. CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI DI DETTAGLIO

Calcere di Altamura

Questa formazione, costituita da una potente successione di calcari micritici e dolomie di piattaforma interna in strati e banchi, rappresenta l'unica unità appartenente alla serie della Piattaforma Carbonatica Apula affiorante in quest'area. L'assetto è generalmente

tabulare con strati debolmente immergenti in direzione SSE e SE. Affioramenti non molto estesi di questa formazione sono presenti nella parte meridionale e nella estrema porzione nordoccidentale dell'area studiata (fig. 1). Nella cartografia geologica ufficiale, depositi appartenenti a questa formazione sono localmente riferiti all'unità delle «Dolomie di Galatina». Questi depositi rappresentano il termine stratigrafico più antico affiorante nell'area di studio e costituiscono il substrato sul quale poggiano, in trasgressione, i depositi plio-pleistocenici.

I depositi del ciclo sedimentario della Fossa bradanica sono rappresentati in quest'area esclusivamente dai termini inferiori, che poggiano in contatto trasgressivo sulle rocce carbonatiche mesozoiche. Questi depositi affiorano nella parte nordoccidentale e sudoccidentale dell'area di studio (fig. 1).

Calcareniti di Gravina

Depositati calcarenitici e calciruditi bioclastici di ambiente litorale. Il loro assetto è generalmente massiccio e poggiano in contatto trasgressivo sui calcari mesozoici. Sulla base di studi cronostatigrafici eseguiti su depositi appartenenti a questa formazione affioranti lungo la costa adriatica (D'ALESSANDRO & IANNONE, 1984), a nord rispetto all'area di studio, e nel Salento (BOSSIO *et alii*, 1987), i depositi qui affioranti possono essere riferiti al Pliocene Sup.-Pleistocene Inf..

Argille subappennine

Argille limose, argille sabbiose ed argille marnose di colore grigio-azzurro, subordinatamente giallastre, mediamente fossilifere con orizzonti o lenti sabbiose. Questi depositi, di età infrapleistocenica, poggiano in continuità di sedimentazione sulle Calcareniti di Gravina e localmente giacciono, lungo superfici trasgressive, direttamente sui depositi mesozoici del Calcarea di Altamura. Le Argille subappennine rappresentano il substrato impermeabile che sostiene l'acquifero superficiale della piana di Brindisi.

Questi depositi affiorano solo localmente in esigui lembi non cartografabili, mentre occupano aree estese nel sottosuolo, come dimostrato dai dati litostratigrafici desunti da sondaggi e pozzi eseguiti nell'area di studio, al di sotto dei depositi di copertura trasgressiva. La continuità spaziale nel sottosuolo di questi depositi argillosi è, sulla base dei dati ad oggi

disponibili, di difficile ricostruzione a causa di frequenti variazioni della potenza e locali eteropie con i depositi calcarenitici.

Depositati marini terrazzati

Depositati di spiaggia e piana costiera terrazzati, riferibili a diverse unità litostratigrafiche collegate a distinte fasi eustatico-tettoniche verificatesi durante il generale ritiro del mare verso la attuale linea di costa. Essenzialmente costituiti da alternanze di sabbie quarzose giallastre e calcareniti organogene localmente a carattere litoide, con locali intercalazioni di strati conglomeratici. Questi depositi, di età medio-suprapleistocenica, giacciono lungo superfici di abrasione marina individuate nei depositi argillosi e calcarenitici del ciclo della Fossa bradanica, nonché nei calcari mesozoici. I depositi terrazzati affiorano estesamente nell'area studiata, ricoprendo quasi completamente l'ampia depressione strutturale che localmente interessa il substrato mesozoico.

Questa unità rappresenta l'acquifero superficiale, generalmente sostenuto dai depositi argillosi impermeabili sottostanti (fig. 3). Gli intervalli calcarenitici a consistenza litoide e poco permeabili, assumono localmente spessore di alcuni decimetri ed estensione areale tale da sostenere le acque sotterranee costituendo falde sospese di esigua potenza. Nella fig. 4 sono riconoscibili depositi a consistenza litoide particolarmente tenaci, rinvenuti durante uno scavo effettuato a sud di Brindisi.

Depositati alluvionali ed eluvio-colluviali

Sabbie, limi e argille variamente distribuite tra loro. Questi depositi rappresentano la sedimentazione recente nell'area di studio. Affiorano principalmente lungo i solchi erosivi e nelle aree più depresse vicino alla costa, e ricoprono localmente i depositi pleistocenici in lembi non cartografabili a causa dell'assetto tabulare e dell'intensa attività antropica. Questi depositi sono interessati da frequenti fenomeni di ossidazione ed a luoghi contengono inclusioni di frammenti lapidei e materiale carbonioso. In aree prossime alla linea di costa a sud dell'abitato di Brindisi, in perforazioni di sondaggio, sono stati rinvenuti depositi torbosi di ambiente palustre.

I depositi continentali, nell'area di interesse, poggiano prevalentemente sui depositi terrazzati del Pleistocene, ed il loro spessore massimo è di pochi metri.



Fig. 4 - Depositi marini terrazzati affioranti in uno scavo a sud di Brindisi. Le acque freatiche sono localmente sostenute da un livello calcarenitico a consistenza lapidea.

3.2. ASSETTO TRIDIMENSIONALE DELL'ACQUIFERO

Sulla base dei dati topografici della cartografia ufficiale a scala 1:50.000 e dei dati stratigrafici desunti da 45 pozzi eseguiti nell'area di interesse, sono stati ricostruiti gli spessori dell'acquifero superficiale, la morfologia del suo livello di base e lo spessore dei depositi argillosi impermeabili che sostengono l'acquifero stesso.

In primo luogo i dati orografici presenti nei Fogli della carta topografica d'Italia, curve di livello e punti quotati, sono stati digitalizzati ed inseriti in un sistema informativo geografico (GIS). Sulla base di tali dati, mediante interpolazione lineare, è stato generato un Modello Digitale del Terreno (DTM), a maglia regolare quadrata di 100 m di lato. Per ogni nodo di tale griglia i valori di elevazione sono stati calcolati mediante una media pesata sulla base della distanza delle due curve di livello o punti quotati più vicini.

Utilizzando i dati stratigrafici di diversi pozzi realizzati nell'area di interesse, sono stati interpolati i valori di elevazione del letto e tetto delle Argille subappennine e dei depositi marini terrazzati. Tali pozzi sono stati eseguiti negli anni cinquanta da enti pubblici per approvvigionamento idrico a scopo irriguo e la loro ubicazione è riportata in fig. 1. I dati stratigrafici puntuali evidenziano una notevole variabilità locale degli spessori dell'acquifero superficiale e dei depositi argillosi che lo sostengono, fino ad annullarsi del tutto in alcuni pozzi. Lo spessore massimo rilevato per l'acquifero è di 37 m mentre per le argille impermeabili è di 46 m, con uno spessore medio rispettivamente di 14 m e 22 m circa.

Sebbene il numero di pozzi sia in assoluto esiguo rispetto all'estensione dell'acquifero superficiale, la buona omogeneità della loro distribuzione spaziale permette un'approssimata ricostruzione dell'assetto tridimensionale dell'acquifero stesso e dei depositi impermeabili che lo sostengono. Sulla base delle

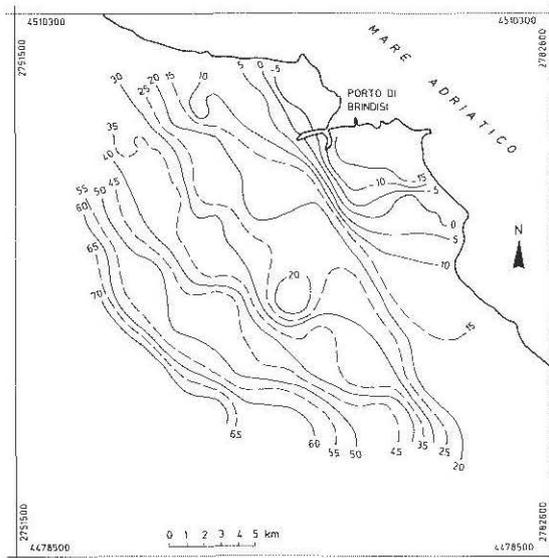


Fig. 5 - Isoipse del letto dell'acquifero superficiale.

quote rilevate nei pozzi, sono stati ricostruiti gli andamenti spaziali delle superfici di contatto tra i diversi depositi, mediante interpolazione lineare definita con le medie mobili. I valori di ogni punto, posto all'incrocio di una maglia quadrata regolare, sono calcolati mediante una media pesata dei valori misurati in tutti i punti a una distanza inferiore rispetto ad un valore limite prescelto. La formula di interpolazione usata è la seguente:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n W_i * Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

con:

- Z - valore interpolato
- n - numero di punti a distanza inferiore da quella prescelta
- W_i - peso attribuito al punto i
- Z_i - valore misurato al punto i

Il peso W è calcolato mediante la formula:

$$W = 1 - (D/d_0)^n$$

con:

- D - distanza del punto misurato rispetto al punto interpolato
- d_0 - distanza massima
- n - costante

Sulla base della distanza media tra i pozzi e della loro distribuzione spaziale, è stata definita una distanza massima di ricerca, per ogni valore interpolato, pari a 5500 m. La griglia di punti calcolati per ogni superficie ha spaziatura di 100 m, corrispondente al DTM.

La superficie del letto dell'acquifero evidenzia una generale inclinazione del letto dell'acquifero in direzione NE con una leggera concavità rivolta verso la linea di costa (fig. 5). Sono inoltre evidenti locali irregolarità riconducibili alla originale morfologia del fondo del bacino di sedimentazione dei depositi terrazzati.

Mediante l'utilizzo del GIS, sono stati calcolati gli spessori dell'acquifero e dell'impermeabile che lo sostiene. Lo spessore dell'acquifero, riportato in fig. 6, evidenzia una modesta variabilità locale, con un generale ispessimento nell'area centrale lungo una direttrice grossomodo NE-SW passante a sud dell'abitato di Brindisi. Per quanto concerne lo spessore dei depositi argillosi impermeabili, il risultato dell'interpolazione evidenzia un ispessimento di tali depositi nella parte meridionale dell'area investigata ed in prossimità della linea di costa (fig. 7). Viceversa un generale assottigliamento si riscontra nell'area centrale, con spessori localmente inferiori a 5 m. In quest'area, come pure in prossimità dei margini delle aree di affioramento dei de-

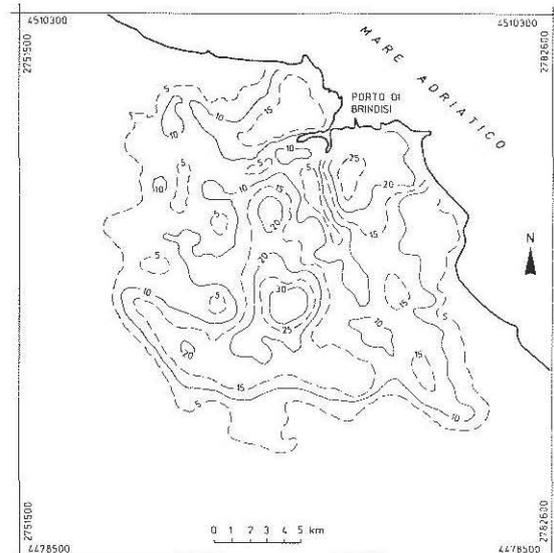


Fig. 6 - Curve isopache dell'acquifero superficiale.

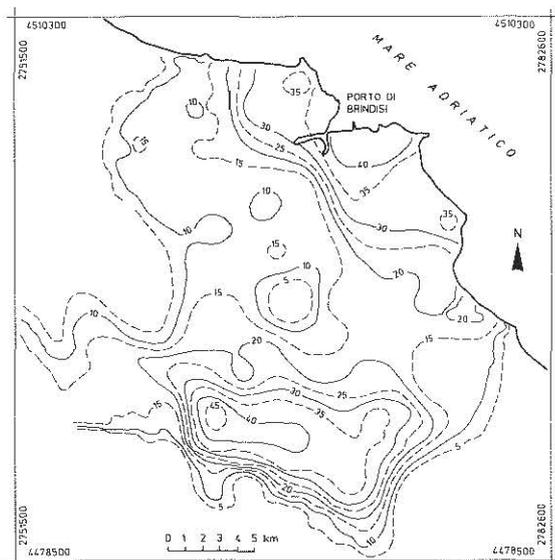


Fig. 7 - Curve isopache dei depositi argillosi impermeabili (Argille subappennine).

positi che costituiscono l'acquifero, possono verosimilmente concentrarsi le maggiori perdite idriche a favore dell'acquifero carsico profondo.

3.3. BILANCIO IDROLOGICO E DISPONIBILITÀ IDRICHE

Il surplus idrico annuo è stato calcolato mediante il tradizionale metodo di TURC (1954), modificato mediante l'adozione della temperatura diurna media, corretta in funzione del prodotto tra piovosità mensile e temperatura mensile. Per Brindisi il surplus idrico per l'anno medio è risultato pari a 104 mm mentre per S. Pietro Vernotico è risultato pari a 140 mm.

Lo studio idrogeologico, eseguito a piccola scala, ha permesso la perimetrazione dell'acquifero superficiale di Brindisi (fig. 1).

Se S è l'area della superficie del bacino, pari a 700 km²; h è il surplus idrico medio sul bacino, pari a 0,120 m; il volume annuo V del surplus idrico risulta:

$$V = S h = 8,4 \times 10^7 \text{ m}^3$$

Il suddetto volume equivale a una portata media Q di 2,7 m³/s.

Tale portata è pari alla somma tra il ruscellamento e l'infiltrazione nel sottosuolo. Di

questa quantità d'acqua, buona parte è destinata a infiltrarsi nel sottosuolo, in quanto non più del 10÷30% finisce per ruscellare immediatamente lungo il reticolo idrografico.

Quindi, comunque si ripartisca la suddetta portata, la porzione destinata al sottosuolo risulterebbe almeno di un ordine di grandezza superiore alle fluenze sotterranee censite.

Per quanto siano stati trascurati sia i prelievi che gli eventuali contributi all'infiltrazione derivanti dall'attività irrigua, ciò conferma che le modalità di flusso, emergenza e ricarica sono per questo acquifero complesse e comunque fortemente influenzate dalle condizioni al contorno, in particolare dalla continuità e potenza del substrato impermeabile e dalla profondità del reticolo idrografico.

3.4. SUPERFICIE PIEZOMETRICA E REGIME

Per una porzione dell'acquifero, a sud di Brindisi, è stato ricostruito l'andamento della superficie piezometrica della falda superficiale, evidenziando il localizzato effetto drenante svolto da parte del reticolo idrografico; la scarsa disponibilità per l'intera area di studio di dati piezometrici coevi non ha giustificato l'estensione di una carta piezometrica generale. Sulla base dei dati piezometrici è stata accertata l'azione drenante del Canale Foggia di Rau, del Fiume Grande, del Canale Cillarese e del Canale di Siedi mentre altre incisioni sono risultate sospese rispetto alla falda superficiale, come nel caso del Canale delle Chianche.

La pendenza della superficie piezometrica è risultata, laddove calcolabile, compresa nell'ampio intervallo 0,14÷1,00%.

In prossimità della città di Brindisi, l'acquifero è sottoposto all'azione del Canale Cillarese, del Fiume Grande e del Canale di Scarrico, su cui insistono molteplici attività antropiche che popolano l'area industriale. Non si può escludere, in tale contesto, la presenza di eventuali scarichi e perdite degli impianti industriali nel reticolo idrografico e, direttamente o meno, nella falda idrica superficiale.

Sulla base delle conoscenze ad oggi disponibili, si consideri che il gradiente generale della quota piezometrica è sostanzialmente orientato, se si considera l'intero acquifero superficiale, verso la costa, così come accade per la falda idrica profonda (COTECCHIA, 1977). In realtà, diversamente da quanto ac-

cade per l'acquifero profondo, i dati piezometrici disponibili in prossimità della costa e i rilievi diretti effettuati per individuare sorgenti costiere ci permettono di ritenere modesto o trascurabile l'effetto drenante svolto dal mare sulla falda idrica superficiale. Queste circostanze sono giustificabili se si considera che i gradienti delle quote del tetto e del letto dell'acquifero superficiale sono sostanzialmente paralleli a quello generale piezometrico, che la potenza dell'acquifero freatico è modesta rispetto alla massima differenza tra le quote piezometriche, che la falda viene drenata dal sottostante acquifero profondo e dal reticolo idrografico.

Il regime piezometrico è stato caratterizzato mediante una stazione freaticometrica posta a 35 m s.l.m., considerando 24 anni di osservazioni (LL.PP., 1921-1988) (fig. 1). Per la posizione, le condizioni stratigrafiche e per la quantità di dati piezometrici disponibili, tale pozzo è l'unico rappresentativo, tra quelli ad oggi disponibili, del regime della falda freatica superficiale.

In tale pozzo sono state eseguite generalmente dieci misure piezometriche al mese, da cui è stata calcolata una quota piezometrica mensile, mediante il calcolo della media aritmetica. La quota piezometrica media per il periodo di osservazione è risultata pari a 31,2 m s.l.m., che corrisponde a una soggiacenza di soli 4 m. Ciò permette di valutare quanto rapida sia l'infiltrazione nella falda superficiale e quanto questa sia vulnerabile. La quota piezometrica mensile massima è risultata pari a 33,2 m s.l.m., la massima escursione della

quota piezometrica mensile è risultata pari a 3 m (fig. 8). Il regime piezometrico della falda superficiale presenta una modesta escursione annua definita da un solo massimo, caratteristico di aprile, e un solo minimo, che si verifica a settembre. Dato il regime delle precipitazioni, si può ritenere che il ritardo con cui l'acquifero superficiale modula l'impulso pluviometrico sia pari a 2-3 mesi. Le massime escursioni del regime si verificano a marzo e aprile e sono minime in estate.

3.5. PERMEABILITÀ DELL'ACQUIFERO SUPERFICIALE E DEL SUBSTRATO

Sono state esaminate 45 prove di assorbimento d'acqua a carico variabile, che hanno interessato sia i terreni saturi dell'acquifero superficiale che quelli sottostanti, costituenti il substrato impermeabile.

Si è avuto prova della permeabilità medio-bassa dei terreni acquiferi (litotipi 1-3 di fig. 3). Infatti, mediamente, le prove hanno fornito valori di permeabilità pari a $7,5 \times 10^{-5}$ m/s e con valori estremi pari a $8,0 \times 10^{-6}$ e $1,4 \times 10^{-4}$ m/s.

Per quanto riguarda i terreni argillosi posti al letto dell'acquifero, i valori dei coefficienti di permeabilità misurati in situ variano da 1×10^{-7} a 2×10^{-6} m/s, il valore medio è risultato pari a 3×10^{-7} m/s. Va detto, comunque, che nell'ambito di questa formazione sono stati testati solo i livelli più alti e, verosimilmente, più sabbiosi dell'intero substrato impermeabile.

Volendo valutare con grande semplicità la tenuta idraulica di tale substrato si potrebbe ipotizzare il flusso come monodimensionale e verticale. Se così fosse, essendo la falda idrica profonda generalmente freatica, il gradiente piezometrico attraverso le argille grigio-azzurre risulterebbe non minore di uno. In tali condizioni, anche se si assumesse una permeabilità dei terreni argillosi di 10^{-9} m/s, la portata unitaria, ovvero la portata per unità di superficie, defluente attraverso il substrato argilloso non sarebbe minore di 10^{-9} m/s. Per un intero anno, tale portata fornisce un volume di acqua per unità di superficie pari a circa 0,030 m; tale quantità è pari al 25% di h , il surplus idrico. Tale calcolo non ha un valore prettamente quantitativo, in quanto il flusso idrico sotterraneo nella falda superficiale non è monodimensionale e non è verticale, ma vuole soltanto evidenziare che travasi dall'ac-

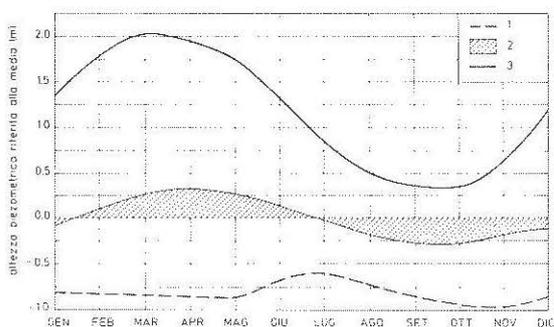


Fig. 8 - Regime della falda freatica superficiale. Altezze piezometriche mensili, riferite alla quota piezometrica media, pari a 31,2 m s.l.m., del periodo di osservazione: 1) altezza mensile minima; 2) altezza mensile media; 3) altezza mensile massima.

quifero superficiale a quello sottostante sono certi, in particolare dove la morfologia del substrato e il suo spessore li favoriscono.

3.6. CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE DI FALDA

Nelle perforazioni ispezionabili dell'acquifero superficiale sono stati eseguiti alcuni carotaggi termo-salinometrici, tra i quali quelli rappresentativi di fig. 3. Il contenuto salino delle acque della falda superficiale tende generalmente, ma con talune variazioni, ad aumentare con la profondità; tale incremento è tanto più evidente quanto maggiore è lo spessore di falda interessato dalle prospezioni. La salinità misurata in superficie è risultata compresa tra un minimo di 0,5 g/l e un massimo di 8,7 g/l; il valore medio è risultato pari a 3,8 g/l. La bassa salinità in superficie è generalmente associabile a una maggiore attività della circolazione idrica; in taluni casi si è trovato conferma che, in corrispondenza delle aree a maggiore escursione freatica, si possano verificare scambi con il reticolo idrografico. Non sorprende quindi che le concentrazioni saline tendano a diminuire mano mano che ci si approssima alle incisioni che svolgono un ruolo attivo sulla falda. I più alti contenuti salini sembrano derivare dai notevoli tempi di residenza delle acque nell'acquifero, nonché dall'effetto dei fenomeni di evapotraspirazione.

Dai carotaggi termici effettuati è risultato che il gradiente termico è generalmente positivo. È emerso che i valori in prossimità della superficie della falda sono notevolmente influenzati dalla temperatura ambientale. La temperatura delle acque è risultata compresa in un ampio intervallo tra 10 e 20 °C, con un valore medio di circa 17 °C.

Le acque della falda superficiale hanno mostrato presenza anche di nitrati ed ammoniaca, nonché elevati contenuti di sostanze organiche; in altre parole dette acque risultano inquinate.

4. ANALISI DEI DATI INDIRETTI

4.1. PROCESSAMENTO ED ANALISI DELLE IMMAGINI RADAR DA SATELLITE

Il contributo di dati telerilevati negli studi geologici ed idrogeologici è oramai ampia-

mente dimostrato dai risultati di numerosi studi, particolarmente in aree molto estese in cui i dati diretti di campagna sono scarsi. I dati telerilevati da satellite hanno il vantaggio di coprire aree molto estese nella stessa scena, consentendo una visione sinottica, e di avere una ciclicità di acquisizione che permette un costante monitoraggio nel tempo. I sensori montati su piattaforme satellitari operano in diversi intervalli di frequenza delle onde elettromagnetiche, generalmente nello spettro visibile, infrarosso e microonde. Nel nostro studio, in cui i caratteri idrogeologici sono anche strettamente legati all'assetto geologico-strutturale, si è ritenuto particolarmente efficace l'utilizzo di immagini radar rilevate mediante sensori attivi con antenna ad apertura sintetica (SAR). Le immagini acquisite da questo tipo di sensori sono insensibili alle condizioni climatiche, per esempio corpi nuvolosi, e di illuminazione solare. I valori registrati da tali immagini sono proporzionali alla quantità di onda elettromagnetica, emessa dal sensore stesso, retro-diffusa dalla superficie terrestre (*backscatter*). Il *backscatter* è controllato dall'esposizione e ruvidezza della superficie topografica e dalla costante dielettrica caratteristica dei materiali affioranti. Per cui l'assetto morfologico e strutturale, nonché il contenuto d'acqua dei terreni superficiali, in quanto responsabile di locali variazioni delle caratteristiche dielettriche dei terreni, possono essere analizzati attraverso l'interpretazione di immagini radar. L'acqua, infatti, riflette fortemente le onde elettromagnetiche nell'intervallo di frequenza delle onde radar, a causa dell'elevato valore della sua costante dielettrica. Di conseguenza un maggiore contenuto d'acqua nei terreni affioranti determina un leggero incremento del *backscatter*, con valori di intensità registrati dal sensore relativamente più alti.

Per il presente studio sono state utilizzate tre immagini radar SAR (Synthetic Aperture Radar) rilevate, in condizioni climatiche differenti, dal satellite ERS-1 dell'ESA (European Space Agency). Il sensore montato su questo satellite utilizza la banda C delle onde radar (5.3 GHz), con un angolo di incidenza di 23°. Le immagini sono dei prodotti PRI (Precision Image), con risoluzione di 12.5 m ottenuta attraverso ricampionamento dei dati bruti, elaborate dall'ASI (Agenzia Spaziale Italiana) presso il Centro di Geodesia Spaziale di Matera. Tali immagini sono state acquisite nelle



Fig. 9 - Immagine radar ERS-1 SAR multitemporale: Rosso: 5 maggio 1993; Verde: 19 novembre 1991; Blu: 29 luglio 1992. ©ESA 1991-ERS(R) Processed at I-PAF, MATERA Courtesy of the Agenzia Spaziale Italiana. © ESA 1993 Distributed by Eurimage.

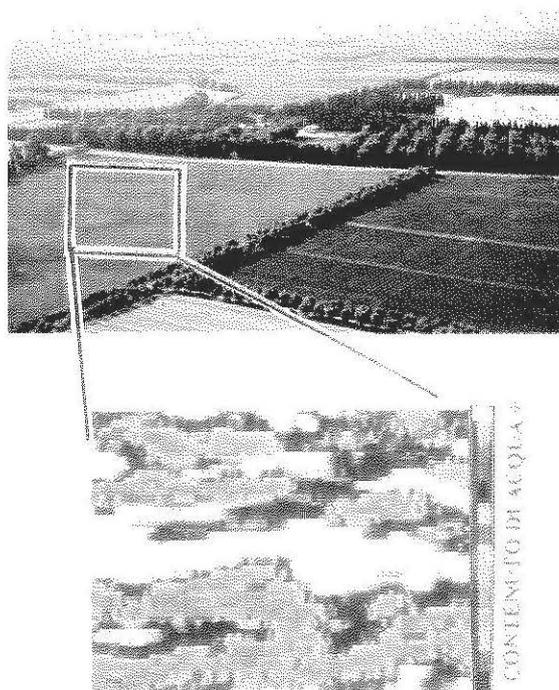


Fig. 10 - Termografia di un'area campione dell'acquifero superficiale: l'immagine esprime l'energia emessa del suolo da valori minimi, relativi a condizioni di maggiore umidità del terreno, rappresentati in colore viola-azzurro-verde, a valori massimi, di colore giallo-rosso.

seguenti date:

19 nov. 1991

29 lug. 1992

5 mag. 1993.

Queste immagini sono state processate utilizzando tecniche computerizzate per l'elaborazione ed il miglioramento delle immagini digitali.

La radiazione coerente emessa dal sensore determina un rumore tipico che interessa le immagini radar, detto *speckle*, costituito da isolati *pixels* chiari e scuri distribuiti in modo omogeneo. Tale effetto può essere in parte rimosso attraverso tecniche di filtraggio, elaborate per questo scopo specifico. Per rimuovere lo *speckle* dalle immagini utilizzate in questo studio, è stato utilizzato un filtro Sigma secondo la procedura descritta da LEE (1983).

Le immagini così filtrate sono state quindi registrate per poter sovrapporsi perfettamente l'una su l'altra. Le immagini del 1991 e 1992 sono state corrette geometricamente usando come base di riferimento l'immagine del 1993, ed utilizzando 27 punti di controllo omologhi. La funzione di trasformazione usata è la *affine* ed il metodo di ricampionamento è il *nearest neighbour* (LILLESAND & KIEFER, 1994; RICHARDS, 1993).

Ognuna delle tre immagini rappresenta la situazione dello stesso territorio in tempi diversi, caratterizzati essenzialmente da condizioni climatiche differenti e di conseguenza differenti condizioni idrogeologiche della falda superficiale. L'analisi delle similitudini e delle differenze tra le diverse immagini permette di potere ricostruire a grandi linee il regime locale della falda. Il modo più efficace è quello di creare un'unica immagine, detta multitemporale, in cui siano rappresentate le informazioni di tutte e tre le immagini, mediante una composizione a colori, assegnando ad ogni immagine uno dei tre colori additivi principali (rosso, verde, blu). Fra tutte le diverse combinazioni possibili tra immagini e colori è stata scelta l'immagine in cui le informazioni interessanti al fine del presente studio, fossero più chiaramente evidenti alla interpretazione visiva. In tale immagine, riportata in fig. 9, è risultata quella in cui ai dati relativi al novembre 1991 è stato assegnato il colore rosso, a quelli del luglio 1992 il blu ed a quelli del maggio 1993 il verde. In una immagine così prodotta, la tonalità del colore per

ogni *pixel* è funzione del rapporto tra i valori di intensità registrati da ogni immagine per quello stesso *pixel*. Per cui se per esempio l'intensità registrata nel maggio 1993 è elevata mentre quella registrata durante le altre due acquisizioni è bassa, il colore risultante sarà nella tonalità del verde. Nel caso invece in cui in più di una immagine siano stati registrati valori elevati, risulteranno tonalità frutto di diversi rapporti di combinazione dei tre colori additivi principali.

Poiché l'immagine radar acquisita nel novembre 1991 è caratterizzata da valori di intensità mediamente inferiori rispetto alle altre due immagini, la composizione multitemporale a colori presenta una tonalità blue-cyan di fondo che ne diminuisce la interpretabilità. Per correggere tale effetto i valori relativi all'immagine autunnale sono stati riclassificati operando uno *stretch* lineare per aumentarne mediamente i valori (LILLESAND & KIEFER, 1994; RICHARDS, 1993).

La tessitura dell'immagine è strettamente correlata alle attività agricole. Infatti i diversi tipi di coltura e lo stato di lavorazione del terreno, oltre che naturalmente le attività di irrigazione, influiscono sul *backscatter* e di conseguenza determinano diversi valori di intensità nell'immagine.

Oltre i dettagli riferibili alle attività antropiche, nell'immagine a colori possono essere riconosciute anche variazioni di tonalità a grande scala che sono espressione di più generali condizioni idrogeologiche e di strutture geologiche regionali. L'area all'intorno dell'abitato di Brindisi, caratterizzata da tonalità generalmente chiare di arancione e magenta, può essere interpretata come un'area in cui il contenuto d'acqua dei terreni superficiali è relativamente più alto, rispetto aree circostanti durante la stagione autunnale. Tali tonalità sono infatti il prodotto di valori di intensità elevati di tutte le tre immagini rilevate, probabilmente a causa di una maggiore costanza del regime idrogeologico locale, con bassa escursione del livello piezometrico. Nell'immagine multitemporale sono evidenti alcune zone in preponderante tonalità verde. Queste sono aree evidentemente caratterizzate da una forte escursione del contenuto d'acqua nei terreni superficiali nell'arco del periodo da maggio ad ottobre, con un massimo nella stagione primaverile, in correlazione con il massimo del livello piezometrico della falda superficiale. Il resto delle aree caratterizzate da

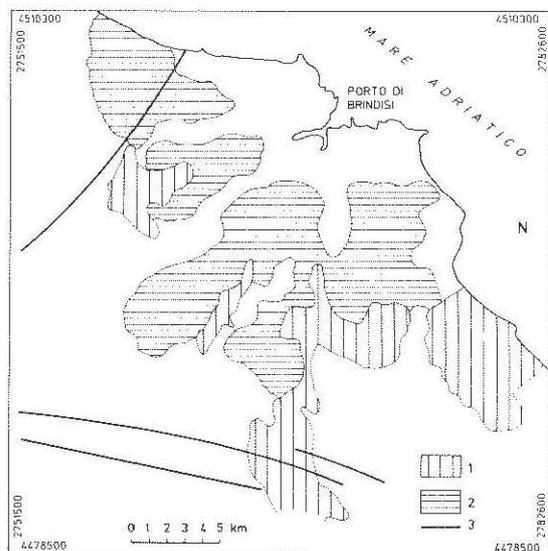


Fig. 11 - Interpretazione immagine radar multitemporale: 1) aree caratterizzate da elevata escursione del contenuto d'acqua nei terreni superficiali nel periodo maggio-ottobre con massimo durante l'autunno; 2) aree caratterizzate da contenuto d'acqua nei terreni superficiali relativamente alto durante la stagione estiva; 3) allineamenti strutturali lungo i quali si possono verificare perdite idriche della falda superficiale a favore della falda carsica profonda.

tonalità scure tra il rosso ed il blu sono aree in cui il contenuto d'acqua è generalmente basso nella stagione autunnale rispetto al periodo primavera-estate.

L'interpretazione visiva dell'immagine a colori permette di riconoscere alcuni lineamenti, caratterizzati da tonalità scure. Un primo lineamento, con andamento SW-NE, è ben visibile nella parte nordoccidentale dell'immagine. Una coppia di lineamenti, con andamento WNW-ESE, è presente nella parte bassa dell'immagine, a sud dell'abitato di Mesagne. Questi lineamenti, che hanno un carattere regionale e sono visibili nell'immagine multitemporale anche al di fuori dell'area di interesse, sono interpretabili quali evidenze di elementi geologico-strutturali, quali fratture e faglie, che interessano i calcari mesozoici e subordinatamente i depositi quaternari. Il ridotto contenuto d'acqua lungo tali lineamenti sarebbe conseguenza di perdite idriche da parte della falda superficiale a favore della falda profonda in conseguenza di una maggiore permeabilità locale in corrispondenza di elementi strutturali disgiuntivi.

I principali elementi riconosciuti dall'interpretazione dell'immagine radar multitemporale a colori, sono riportati in fig. 11, dove sono rappresentate le aree caratterizzate da variazioni del contenuto d'acqua dei terreni superficiali e i principali lineamenti lungo i quali si concentrano le acque superficiali.

4.2. TELERILEVAMENTO DI DETTAGLIO CON TELECAMERA ALL'INFRAROSSO TERMICO

Per lo studio di dettaglio si è fatto uso, in un'area campione, di una tecnica di rilievo all'infrarosso termico. È stata utilizzata una telecamera a scansione operante nel campo 8-12 μm dello spettro delle onde elettromagnetiche.

Le immagini che si ottengono operando in questo campo dello spettro elettromagnetico sono in stretta connessione con la temperatura superficiale dei corpi investigati; l'interpretazione quindi è funzione del significato che si può attribuire alla distribuzione della temperatura sulla superficie dei corpi. Il sistema infatti evidenzia, sotto forma di toni di grigio o di falsi colori, l'energia termica irradiata o emessa e, in minor misura, riflessa dai corpi ripresi. Oltre che dalla temperatura, l'emissività dei suoli dipende dalle condizioni di umidità: si consideri che i terreni anidri ed i terreni saturi di acqua sono mediamente caratterizzati da un'emissività rispettivamente di 0,92 e 0,95 a 20 °C. Le termografie, in falso colore, possono ben rappresentare, per suoli omogenei e in condizioni di equilibrio termico, le variazioni di contenuto d'acqua degli stessi e a tale fine sono state utilizzate.

La telecamera opera con una scansione che avviene attraverso quattro diversi campi, ognuno costituito da 100 linee orizzontali e con velocità tale da produrre 25 campi completi al secondo (COTECCHIA *et alii*, 1995). La risoluzione della strumentazione è tale che per un oggetto con superficie piana perpendicolare alla direzione di ripresa ed alla distanza di 100 m, la più piccola area discriminata è di 0,108 per 0,190 m.

L'apparecchiatura è stata installata su un elicottero, messo a disposizione dal Corpo dei Carabinieri.

Le immagini all'infrarosso termico, acquisite tra settembre e ottobre, al termine della stagione arida, hanno permesso di valutare qualitativamente il differente grado di infiltrazione e il diverso contenuto d'acqua in

funzione della natura granulometrica dei terreni e delle differenti pratiche colturali (fig. 10). Tale metodologia, qualora fosse applicata sistematicamente sull'area di studio, permetterebbe di «tarare» e aumentare il dettaglio delle informazioni acquisite per mezzo di satelliti. Inoltre, il ricorso a misure granulometriche e di umidità del terreno permetterebbe anche di conseguire informazioni quantitative su tutte le aree soggette a rilevamento.

5. CONCLUSIONI

Sono stati ricostruiti gli spessori dell'acquifero superficiale, la morfologia del suo livello di base e lo spessore dei depositi argillosi impermeabili che sostengono l'acquifero stesso. È emersa una notevole variabilità degli spessori dell'acquifero superficiale e dei depositi argillosi che lo sostengono, anche localmente assenti.

Grazie al bilancio idrologico, si è dimostrato che le modalità di flusso, emergenza e ricarica sono per questo acquifero complesse e comunque fortemente influenzate dalle condizioni al contorno, in particolare dalla continuità e potenza del substrato impermeabile e dalla profondità delle incisioni fluviali. In particolare, si è notato che, anche in prossimità della linea di costa, tale falda non avverte significativamente la condizione al contorno di carico idrostatico assegnato ma è fortemente influenzata dalla posizione del reticolo idrografico.

Rispetto a quanto prevedibile, la permeabilità è risultata relativamente bassa per i terreni acquiferi della falda superficiale e relativamente alta per i terreni argillosi del presunto substrato impermeabile; tali risultati hanno avvalorato l'ipotesi di travasi dalla falda superficiale verso quella profonda.

I dati telerilevati da satellite hanno mostrato il vantaggio di coprire tutte l'area di studio con una sola immagine, consentendo una visione sinottica. Sono state così individuate le aree caratterizzate da una forte escursione stagionale del contenuto d'acqua e le aree in cui il contenuto d'acqua è grossomodo costante e generalmente basso. Sono stati riconosciuti alcuni lineamenti, quali fratture e faglie, che si ritiene permettano perdite d'acqua tra la falda superficiale e la falda carsica.

Manoscritto pervenuto il 17 marzo 1995.

Testo approvato per la stampa il 30 novembre 1995.

Ultime bozze restituite il 4 novembre 1996.

BIBLIOGRAFIA

- BOSSIO M., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G. & VAROLA A. (1987) - *Inquadramento bio-cronostratigrafico delle Calcareniti del Salento di Porto Miggiano-S. Cesarea Terme*. Aiti Conv. Conosc. Geol. Terr. Salentino, 89-126, Lecce.
- CHERUBINI C., MARGIOTTA B., SGURA A. & WALSH N. (1987) - *Caratteri geologico-tecnici dei terreni della città di Brindisi*. Mem. Soc. Geol. It., **37**, 689-700.
- CIARANFI N., PIERI P. & RICCHETTI G. (1992) - *Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., **41**, 449-460, Roma.
- COTECCHIA V. (1977) - *Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia*. Quaderno CNR-IRSA, n. **20**, Roma, 1-462.
- COTECCHIA V., D'ECCLESIS G., FIORILLO F., POLEMIO M. & TULIPANO L. (1995) - *Applicazioni di tecniche di telerilevamento con sistema termovisivo all'infrarosso per l'individuazione di efflussi costieri e di aree di drenaggio di corpi franosi*. Workshop del Progetto Strategico «CLIMA, AMBIENTE E TERRITORIO NEL MEZZOGIORNO»; Amalfi, 28-30 aprile 1993, in corso di stampa.
- D'ALESSANDRO A. & IANNONE A. (1982) - *Pleistocene carbonate deposits in the area of Monopoli (Bari Province): sedimentology and palaeoecology*. Geol. Romana, **21**, 603-653, Roma.
- GRASSI D. & TADOLINI T. (1985) - *Idrogeologia della formazione sabbiosa quaternaria affiorante a sud di Brindisi*. 5° cong. Int. sulle Acque Sotterranee, Taormina.
- LEE J.S. (1983) - *A simple speckle smoothing algorithm for synthetic aperture radar images*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, **13** (1), '85-'89.
- LILLESAND T.M. & KIEFER R.W. (1994) - *Remote sensing and image interpretation (Third Edition)*. John Wiley & Sons.
- MARTINIS B. (1962) - *Lineamenti strutturali della parte meridionale della Penisola Salentina*. Geol. Romana, **1**, 11-23, Roma.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI, Cons. Sup. Servizio Idrografico (1921-1988) - *Annali idrologici. Parte I e II*, Sezione idrografica di Bari, Ist. Polig. dello Stato, Roma.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI, Cons. Sup. Servizio Idrografico (1956) - *Precipitazioni medie mensili ed annue e numeri di giorni piovosi per il trentennio 1921-1950*. Pubbl. n° 24, Fasc. VIII, Sezione Idrografica di Bari, Ist. Polig. dello Stato, Roma.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI, Cons. Sup. Servizio Idrografico (1954) - *Le sorgenti italiane*. Elenco e descrizione. Pubbl. n. 14, vol. II, Puglia, Ist. Polig. dello Stato, Roma.

- RADINA B. (1968) - *Risultati geologici di perforazioni eseguite nei dintorni di Brindisi*. Boll. Soc. Natur. in Napoli, **77**, 207-218, Napoli.
- RICCHETTI G. (1972) - *Osservazioni geologiche e morfologiche preliminari sui depositi quaternari affioranti nel F° 203 «Brindisi»*. Boll. Soc. Nat. in Napoli, **81**, 543-566, Napoli.
- RICCHETTI G. (1980) - *Contributo alla conoscenza strutturale della Fossa Bradanica e delle Murge*. Boll. Soc. Geol. It., **99**, 421-430, Roma.
- RICHARDS J.A. (1993) - *Remote sensing digital image analysis. An introduction (Second Edition)*. Springer & Verlag.
- TURC L. (1954) - *Le bilan d'eau des sols. Relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement*. Ann. Agron., Paris, 1954-1955.
- ZORZI L. & REINA C. (1957) - *Valutazione e sfruttamento delle risorse idriche sotterranee della conca di Brindisi*. Giornale del Genio Civile, **95** (10), 744-754.