

ACQUE

Ricerca - Trivellazione - Captazione
Idrogeologia - Ambiente

SOTTERRANEE

FASCICOLO 77



Andate oltre le
apparenze.....

Come ridurre i vostri costi di esercizio?



Lo schema Grundfos illustra il ciclo dei costi di esercizio e fornisce supporti utili alle società di approvvigionamento idrico per ottimizzare il funzionamento dei sistemi di pompaggio nel corso del ciclo di vita produttivo.

Grundfos può contribuire alla riduzione dei costi di pompaggio attraverso un'adeguata consulenza tecnica, training specifici, servizi logistici e assistenza post vendita affidabili.

**LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA'
INTEGRATA DEGLI ACQUIFERI.
LA SPERIMENTAZIONE NELL'AREA CAMPIONE
DI CORIGLIANO IN SALENTO**

Cotecchia V., Daurù M., Limoni P.P., Mitolo D., Polemio M.

La valutazione della vulnerabilità integrata degli acquiferi. La sperimentazione nell'area campione di Corigliano in Salento

Publicazione n. 2477 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, U.O.4.14 (CNR - IRPI, Sezione di BARI), Responsabile Prof. Vincenzo Cotecchia.

Cotecchia V. (1), Daurù M. (2), Limoni P.P. (1), Mitolo D. (1), Polemio M. (1)

(1) CNR-IRPI, Via Orabona 4, 70125, Bari, Email: polemio@area.ba.cnr.it.

(2) Politecnico di Bari, Via Orabona 4, 70125, Bari.

Riassunto.

Si descrivono le metodologie utilizzate e i risultati conseguiti con uno studio di dettaglio di un'area campione dell'unità idrogeologica del Salento (Puglia), costituita da un vasto acquifero carbonatico mesozoico.

Tale area, rappresentativa sia degli aspetti idrogeologici tipici delle zone di alimentazione del Salento sia degli effetti dell'antropizzazione, è sede di numerosi pozzi adibiti ad uso potabile.

Lo studio è stato finalizzato alla redazione della carta della vulnerabilità dell'acquifero con il metodo SINTACS. La natura sperimentale dell'applicazione è legata alle peculiarità dell'acquifero salentino e all'assenza di esperienze pregresse per tale contesto.

Sono stati effettuati rilievi diretti, prove idrogeologiche e più cicli di campionamento idrico ed analisi di laboratorio.

I centri di pericolo sono stati censiti sulla base delle banche dati disponibili ed ispezionando il territorio. L'infiltrazione si è dimostrata molto rapida, anche laddove l'acquifero non affiora.

La vulnerabilità è risultata notevole, da alta a molto elevata. La qualità delle acque, per quanto tuttora buona, si è dimostrata sensibile alla posizione e all'azione dei centri di pericolo. I rischi di degrado qualitativo sono risultati non trascurabili.

1. Introduzione

Le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del territorio salentino (Puglia) espongono l'acquifero carbonatico mesozoico, noto come profondo, ad un rischio d'inquinamento di non agevole valutazione.

Precedenti esperienze hanno evidenziato che l'intera unità idrogeologica del Salento dovrebbe godere di una migliore protezione rispetto alla contigua unità idrogeologica della Murgia, ciò essenzialmente per la presenza diffusa di coperture quaternarie di diversa litologia (Tulipano

& Tadolini, 1982; Grassi & Tadolini, 1993).

Per quanto il confronto tra le condizioni di rischio di degrado per le risorse idriche sotterranee della Murgia e del Salento esuli dalle finalità di questa nota, gli studi pregressi (Cotecchia et al., 1999) nonché quanto nel seguito descritto dimostrano che, in entrambi i casi, le risorse idriche sotterranee sono purtroppo soggette a notevoli rischi di inquinamento.

Le risorse idriche presenti nel sottosuolo del Salento sono le uniche che permettono di mantenere e sviluppare le attività produttive idroesigenti; anche il settore potabile deve fare ricorso a tale fonte di approvvigionamento nella Penisola Salentina. In tale contesto è quindi di particolare rilevanza, al fine di perseguire una corretta ed incisiva politica di pianificazione e gestione, dotarsi di strumenti informativi, semplici e facilmente aggiornabili, tra i quali un ruolo di rilievo spetta alla cartografia della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero.

Tale cartografia è una sintesi, espressa in termini quantitativi, di una serie di carte tematiche che illustrano i fondamentali caratteri idrogeologici del territorio; tale carta offre uno scenario statico che territorializza la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e diffondere un inquinante idroveicolato, tale da produrre impatto sulla qualità delle acque sotterranee, nello spazio e nel tempo (Civita, 1987, 1994; AA.VV., 1993).

L'esperienza maturata, operando su un'area campione posta nell'unità idrogeologica della Murgia, che presenta notevoli affinità con quella salentina, ha dimostrato l'affidabilità della metodologia nel seguito adottata, in quanto si è pervenuti a risultati simili operando con livelli di definizione estremamente variabili, sia con approcci tradizionali sia utilizzando in modo massiccio tecniche GIS nonché affidandosi alle valutazioni di differenti équipe (Cotecchia et al., 1999; Polemio & Ricchetti, 2001).

Di seguito si descrive l'esperienza svolta al fine di valutare la vulnerabilità dell'acquifero ad una scala di dettaglio

(scala 1:25.000) per un'area campione del Salento, di estensione pari a circa 140 km².

Tale area, il cui punto centrale è costituito dall'abitato di Corigliano d'Otranto, è caratterizzata dalla presenza di un acquifero carbonatico permeabile per fratturazione e carsismo. L'area campione riveste un ruolo fondamentale ai fini dell'approvvigionamento idrico, essendo presenti sul territorio considerato 21 pozzi adibiti ad uso potabile nonché un sito di estrazione e produzione di acqua minerale.

I dati e le conoscenze maturate sono state utilizzate per la redazione di una carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero (Cotecchia et al., 2000), allegata a questa nota, redatta sulla base della metodologia SINTACS (Civita & De Maio, 1997). La metodologia utilizzata si basa sulla selezione di parametri (soggiacenza, infiltrazione efficace, effetto di autodepurazione del non saturo, tipologia della

copertura, caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero, conducibilità idraulica dell'acquifero, acclività della superficie topografica) a cui è attribuito un punteggio tipico della cella in cui si suddivide il territorio, e un peso crescente in funzione del contributo che esso offre alla vulnerabilità.

Per un maggiore dettaglio sulla metodologia applicata in acquiferi carsici pugliesi si rimanda a Cotecchia et al. (1999).

Lo studio del territorio ha previsto la raccolta di dati concernenti i centri di pericolo (CDP) presenti nell'area sperimentale. Di tutti i CDP, censiti e georeferenziati, sono state acquisite informazioni diverse a seconda della tipologia, utili alla valutazione della loro pericolosità.

Tali informazioni, sinteticamente rappresentate nell'allegata cartografia, si sono rese necessarie per permettere la

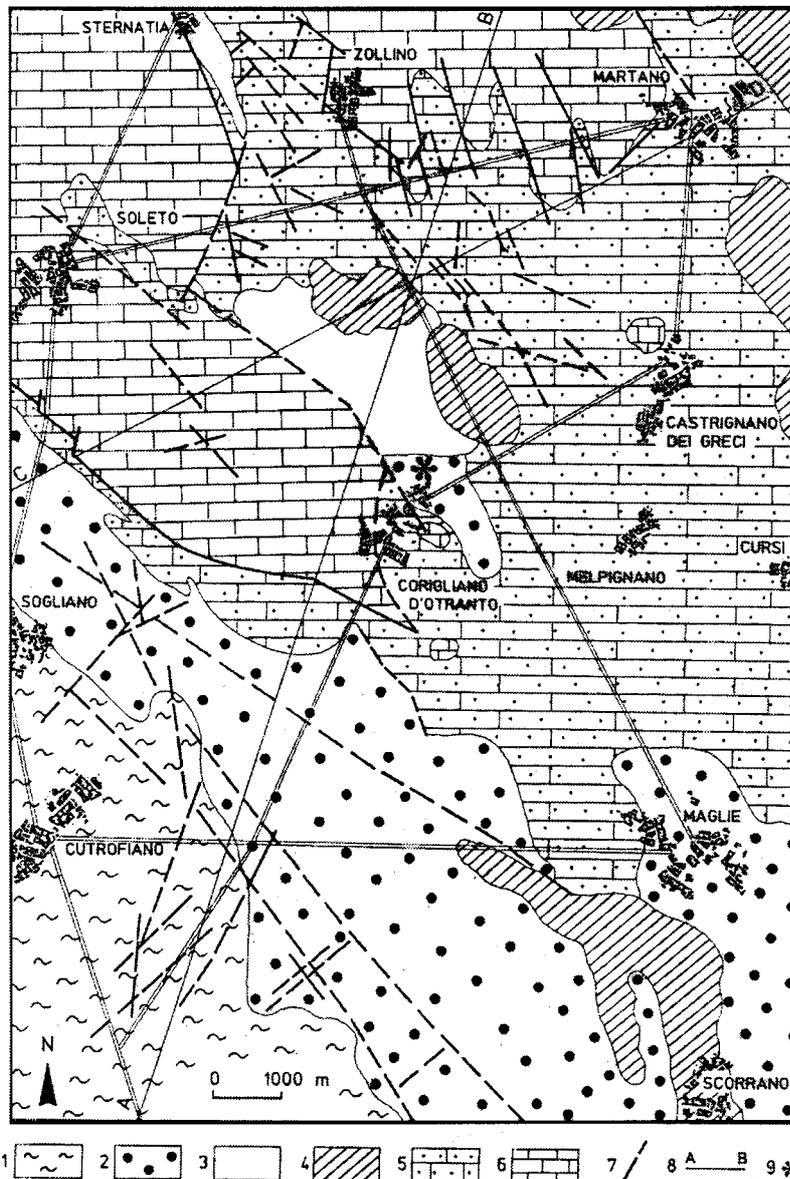


Fig. 1 - Carta geologica. 1) Depositi marini terrazzati; 2) Calcareniti di Gravina; 3) Sabbie di Uggiano; 4) Calcarenite di Andrano; 5) Pietra leccese; 6) Calcarea di Altamura; 7) faglia; 8) traccia sezione; 9) pozzo di cui si riportano la stratigrafia ed i carotaggi multiparametrici (Cfr. Fig. 6).

valutazione della vulnerabilità integrata dell'acquifero, determinazione effettuata a partire da quella intrinseca, ottenuta applicando la metodologia SINTACS.

2. Inquadramento geologico

Nella Penisola Salentina, allungata in direzione appenninica tra i mari Adriatico e Ionio, è presente un basamento carbonatico potente alcune migliaia di metri, costituito essenzialmente da calcari cretacei, e subordinatamente oligocenici, sui quali poggiano formazioni calcareo-arenacee ed argilloso-sabbiose Neogeniche e Pleistoceniche (Palmentola, 1987).

Alla deposizione dei litotipi cretacei, formati in ambiente di piattaforma, hanno fatto seguito numerose fasi di sedimentazione, riferibili a temporanee e prolungate trasgressioni, rappresentate dai depositi dei cicli trasgressivo-regressivi del Miocene e del Pliocene.

Con il succedersi di diverse fasi tettoniche, l'intensità ed il carattere differenziale dei movimenti verticali, accentuandosi nel tempo, hanno fatto sì che ciascuna trasgressione impegnasse aree sempre più vaste e situate più a nord rispetto a quelle della precedente ingressione.

Nell'area in esame (Fig. 1) il substrato carbonatico, in parte affiorante, è rappresentato dal Calcare di Altamura (Turoniano sup. -Maastrichtiano), i depositi miocenici si identificano con la Pietra leccese (Burdigaliano-Messiniano inf.) e la Calcarenite di Andrano (Messiniano inf.), quelli pliocenici con le Sabbie di Uggiano (Pliocene medio-sup.), ed infine, i depositi appartenenti al ciclo plio-pleistocenico della Fossa Bradanica con le Calcareniti di Gravina (Pliocene medio sup.- Pleistocene inf.). Su queste ultime poggiano i depositi marini terrazzati (Pleistocene medio-inf. ?) (Ciaranfi et al., 1988). Di seguito si fornisce una breve descrizione dei litotipi affioranti, partendo dalle formazioni più antiche alle più recenti.

Il Calcare di Altamura è costituito da calcari microfossi-

liferi e da calcari a Rudiste, in sequenze di norma cicliche e regolarmente stratificate e da calcari dolomitici e dolomie grigio-nocciola, spesso vacuolari a frattura irregolare.

La Pietra leccese, formata da calcareniti con matrice calcareo marnosa, si presenta in banchi con gradazione o clinostratificazione a basso angolo. La sua potenza, variabile da luogo a luogo, non supera i 200 m.

La Calcarenite di Andrano sono costituite da calcari molto fossiliferi con abbondante matrice, da calcareniti e calciruditi in corpi massicci ed in banchi (Bossio et al., 1987). Sono in continuità verticale e laterale con la Pietra leccese.

Le Sabbie di Uggiano sono costituite da calcari detritici organogeni, compatti fossiliferi; la base è, a luoghi, caratterizzata da un conglomerato a clasti calcarei ben elaborati (Martinis, 1967).

Le Calcareniti di Gravina è composta da biocalcareniti e biocalciruditi, in grossi banchi, con intercalazioni calcilutitiche, a grado di cementazione variabile.

Infine, i Depositi marini terrazzati sono essenzialmente delle sabbie argillose giallastre, passanti inferiormente a marne sabbiose e argillose grigio-azzurre.

I principali allineamenti tettonici si trovano disposti sulle direttrici NNO-SSE e NO-SE (Palmentola & Vignola, 1980). In particolare, il basamento carbonatico è stato dislocato in blocchi, disposti secondo una successione di alti e bassi strutturali, con allineamento in direzione appenninica.

Parallelamente al decorso delle direttrici delle faglie si sviluppano le direzioni assiali delle pieghe, presenti nelle formazioni mesozoiche e nelle formazioni più recenti. Si tratta generalmente di pieghe asimmetriche e piuttosto blande.

E' evidente, nell'area in esame (Fig. 2), come nel resto nell'intero Salento, una concordanza tra motivi strutturali e lineamenti morfologici, testimoniata dalla coincidenza degli alti strutturali (horst) con le aree a quote più elevate.

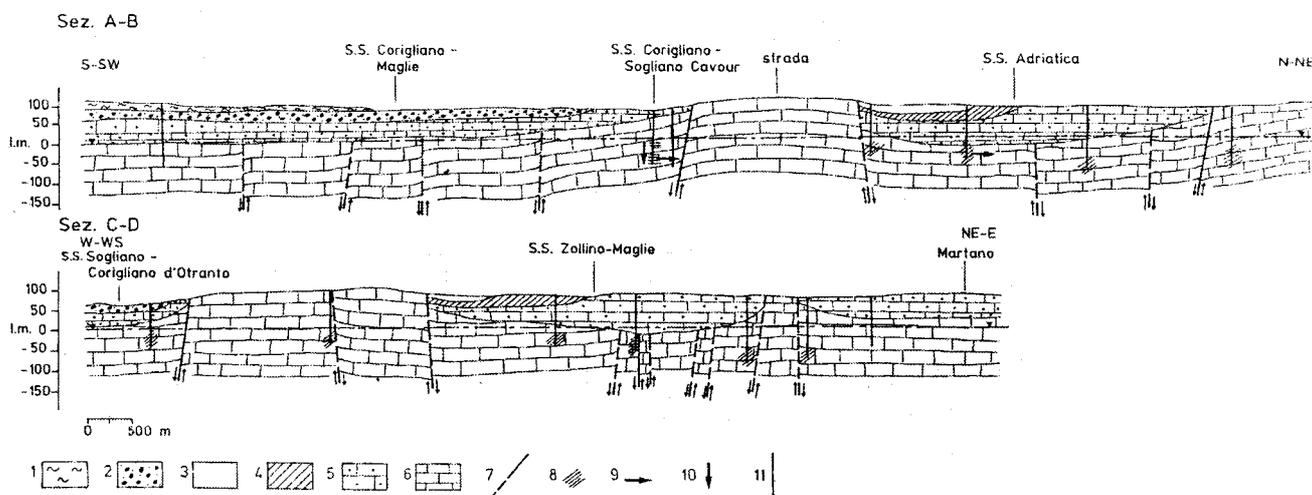


Fig. 2 - Sezioni Idrogeologiche. 1) Depositi marini terrazzati; 2) Calcareniti di Gravina; 3) Sabbie di Uggiano; 4) Calcareniti di Andrano; 5) Pietra leccese; 6) Calcare di Altamura; 7) faglia; 8) rinvenimento idrico; Determinazione mediante traccianti della 9) direzione prevalente della velocità di filtrazione e della 10) corrente idrica verticale; 11) pozzo.

denominate serre salentine, e delle aree strutturalmente depresse (graben) con le zone di pianura.

I versanti dei rilievi risultano conformati da una serie di ripiani e gradini, che possono essere spesso interpretati come forme strutturali derivate, corrispondenti a scarpate interamente modellate su preesistenti piani di faglia, in qualche caso anche con parziale esumazione dello stesso piano.

I gradini, i ripiani e le collinette sommitali risultano scolpite nelle rocce carbonatiche cretacee, e laddove presenti, anche nelle formazioni d'età più recente, sia paleogeniche-neogene che infrapleistoceniche (D'Alessandro et al., 1987).

La distribuzione e lo sviluppo parziale delle forme carsiche superficiali e sotterranee, particolarmente numerose nel Salento, hanno un rapporto diretto con la natura litologica e con l'assetto tettonico delle masse carbonatiche, benché siano molteplici gli altri fattori che intervengono nel meccanismo della dissoluzione carsica.

Le forme morfologiche carsiche predominanti sono le doline, di norma con perimetro subcircolare e forme a "piatto" e a "scodella", con fondo generalmente coperto da depositi terrosi eluviali o alluvionali; tali forme carsiche intaccano sia i depositi della piattaforma carbonatica, sia i termini miocenici (Pietra leccese) e Plio-pleistocenici (Calcareni di Gravina), sede queste ultime di manifestazioni propriamente dette paracarsiche (Palmentola, 1987).

La rete carsica è formata da cavità aventi forma e dimensioni differenti e variamente distribuite tanto in superficie quanto nel sottosuolo.

Laddove il deflusso superficiale e l'infiltrazione delle acque di pioggia si manifestano in forma diffusa, le cavità carsiche si distribuiscono in superficie senza alcun ordine apparente; viceversa, nelle zone caratterizzate da pendii più o meno acclivi e delimitati da spartiacque più o meno decisi, con linee di impluvio convergenti verso aree depresse, la circolazione idrica superficiale e l'infiltrazione delle acque meteoriche si esplica prevalentemente in forma concentrata.

Queste aree di assorbimento, che costituiscono di norma nel Salento delle zone endoreiche ben definite, fungono da veri e propri centri di attività carsica, con forme ipogee dotate di notevole sviluppo verticale (vore, pozzi, ecc.), mostrandoci una morfologia tipicamente isogravitazionale.

3 Idrogeologia

La falda idrica sotterranea del Salento, che ha sede nei calcari e nelle dolomie mesozoiche, è denominata "profonda" per distinguerla dalle falde idriche definite superficiali, contenute nei sovrastanti depositi quaternari.

Le rocce carbonatiche mesozoiche sono dotate di una permeabilità per carsismo e subordinatamente per fessurazione.

Il relativo acquifero si estende con continuità dalle paggini della Murgia fino a S. Maria di Leuca, interessando

l'intera penisola salentina.

Le acque sotterranee sono interessate dal fenomeno dell'intrusione marina che coinvolge con continuità l'intero acquifero, procedendo dalla costa ionica a quella adriatica, secondo modalità oggetto di numerosi studi (Cotecchia, 1977; Cotecchia et al., 1981; Cotecchia & Tadolini, 1993; Fidelibus & Tulipano, 1986; Tadolini, 1990).

Le quote piezometriche massime, rinvenibili nelle zone più interne, sono dell'ordine di 3 m s.l.m. mentre, la cadente piezometrica è al massimo 2% (Cotecchia, 1977).

Ai fini idrogeologici gli accidenti tettonici sofferti dal Salento hanno influito grandemente e favorevolmente sui caratteri di permeabilità delle formazioni acquifere. Essi hanno agito non solo in termini di fratturazione tettonica ma anche permettendo la rapida evoluzione della canalizzazione e della vascolarizzazione carsica.

L'alimentazione della falda idrica sotterranea, principalmente dovuta alle precipitazioni del semestre autunno-invernale, avviene nelle aree interne alla penisola prevalentemente ma non esclusivamente costituite dagli affioramenti calcarei e dolomitici. In Fig. 3 è riportata la distribuzione delle isoterme a livello del mare nell'area campiona; tale elaborazione deriva dall'analisi di dati di tempera-

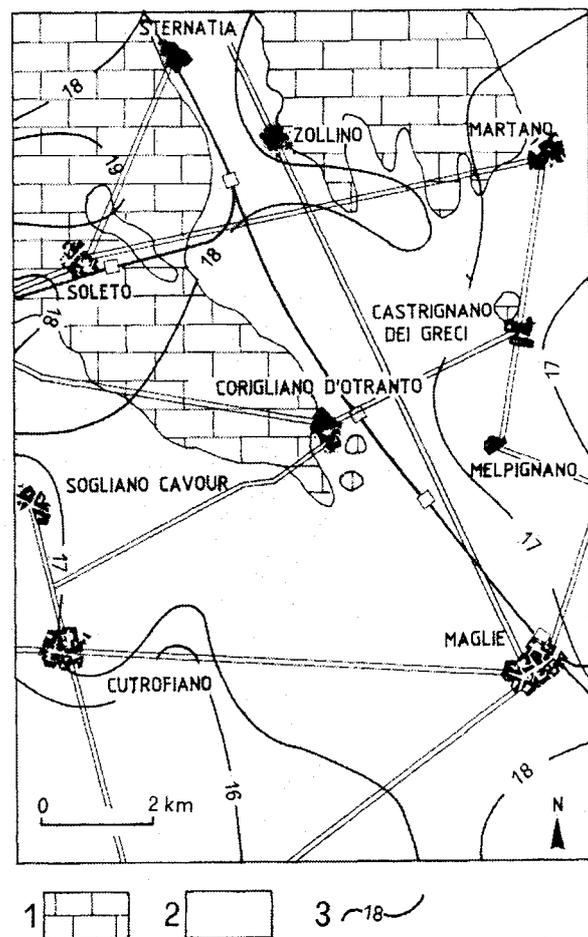


Fig. 3 - Andamento della temperatura nelle acque sotterranee a livello del mare (ricostruito mediante carotaggi della temperatura idrica). 1) Basamento mesozoico; 2) Depositi miocenici-pleistocenici; 3) Isotherma ($^{\circ}\text{C}$).

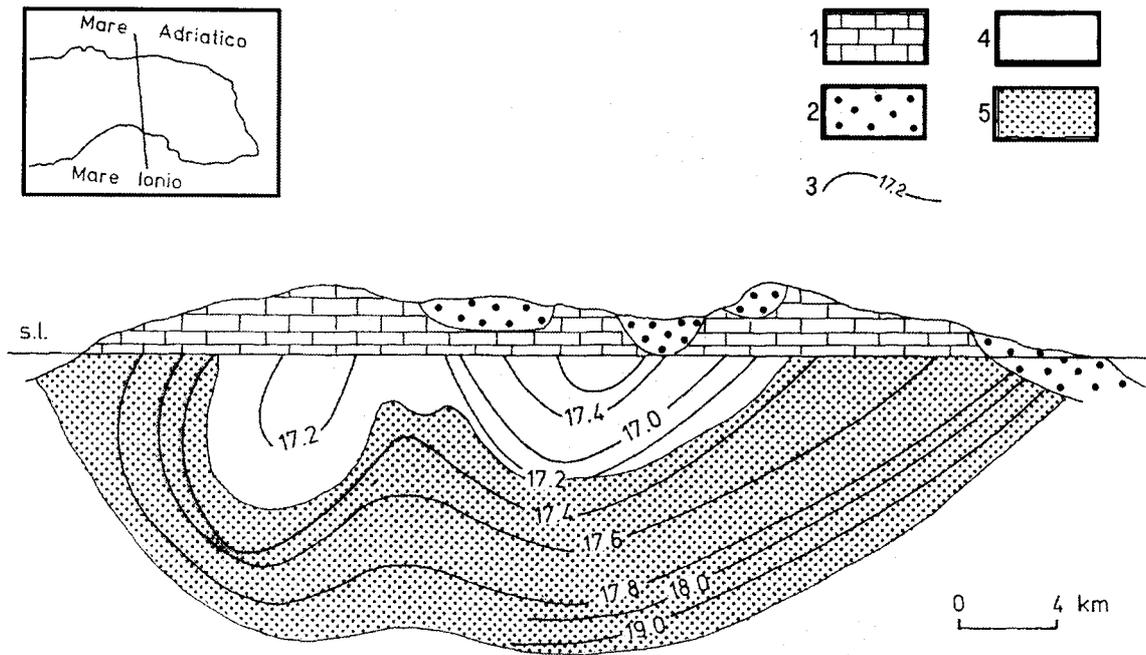


Fig. 4 - Distribuzione verticale della temperatura idrica nell'acquifero profondo (da Tulipano & Fidelibus, 1988, modificata). 1) Basamento mesozoico; 2) Depositi miocenici-pleistocenici; 3) Isotherma ($^{\circ}\text{C}$); Acque sotterranee 4) dolci e 5) saline.

tura idrica rilevati all'interno di pozzi attraverso l'ausilio di carotaggi termometrici.

Dall'andamento delle isoterme è possibile discernere le aree di alimentazione o, meglio, quelle a più rapida infiltrazione, a cui si associano le temperature idriche più basse, per quanto nel seguito descritto.

Le aree di alimentazione non sembrano corrispondere esclusivamente agli affioramenti di rocce mesozoiche.

Tale risultanza è coerente con quanto emerso a scala di unità idrogeologica, operando con metodologie analoghe.

In Fig. 4 è riportata, ad esempio, una sezione verticale dell'intera penisola salentina, sezione che include l'area oggetto di studio (Tulipano & Fidelibus, 1988).

Tale sezione permette di formulare ipotesi sulla circolazione idrica delle acque sotterranee (Carlin et al., 1973).

Le acque prossime alla superficie piezometrica hanno temperature più basse, ricevendo direttamente le acque di infiltrazione meteorica.

Dato che il periodo autunno - inverno è quello in cui si concentra l'infiltrazione, la stessa acqua può avere in media una temperatura di 8-10 $^{\circ}\text{C}$ all'inizio dell'infiltrazione stessa.

Ne consegue che le stesse si rinvengano nelle aree direttamente alimentate dalle acque di infiltrazione non ancora in equilibrio termico con la roccia, in virtù della rapida infiltrazione.

Dall'osservazione congiunta delle Figg. 3 e 4 è possibile ipotizzare che, ai fini dell'alimentazione della falda idrica sotterranea, parte della stessa si verifichi anche laddove non affiorano direttamente le rocce del basamento carbonatico. Ciò può essere spiegato in virtù della presenza di numerose fratture beanti, con orientamento subverticale,

nei depositi di copertura, con una maggiore concentrazione delle stesse soprattutto nella Pietra leccese, come osservato dagli Autori nei numerosi fronti di cava, presenti nell'area oggetto di studio, essendo fiorente l'attività estrattiva.

Le fratture presenti nella formazione miocenica, trasgressiva quest'ultima sul basamento carbonatico, spesso si spingono fino alla base della stessa, a diretto contatto quindi con il tetto delle rocce mesozoiche.

3.1 Idrogeologia dell'area campione

Al fine di valutare quantitativamente la vulnerabilità, sono state effettuate indagini specifiche nei numerosi pozzi presenti nell'area in esame.

In particolare, sono stati condotti rilievi piezometrici, articolati in più cicli, carotaggi multiparametrici nei pozzi (temperatura, conducibilità elettrica, pH, ossigeno disciolto e potenziale di ossido-riduzione delle acque sotterranee), misura delle velocità di filtrazione e delle correnti verticali, determinazioni analitiche complete su campioni d'acqua prelevati in condizioni dinamiche da pozzi nonché carotaggi della radioattività naturale dei terreni, ad integrazione delle informazioni litostratigrafiche a disposizione. Lo studio geologico ed idrogeologico condotto ed in particolare l'interpretazione dei dati stratigrafici a disposizione, integrati dalle risultanze emerse dalle prove di portata effettuate in numerose opere di captazione presenti nell'area oggetto di studio, ha evidenziato la presenza di un acquifero carbonatico la cui falda idrica circola generalmente in pressione, fatta eccezione per l'area nei dintorni di Soletto e di Corigliano d'Otranto, dove si rilevano condizioni freatiche (Fig. 1).

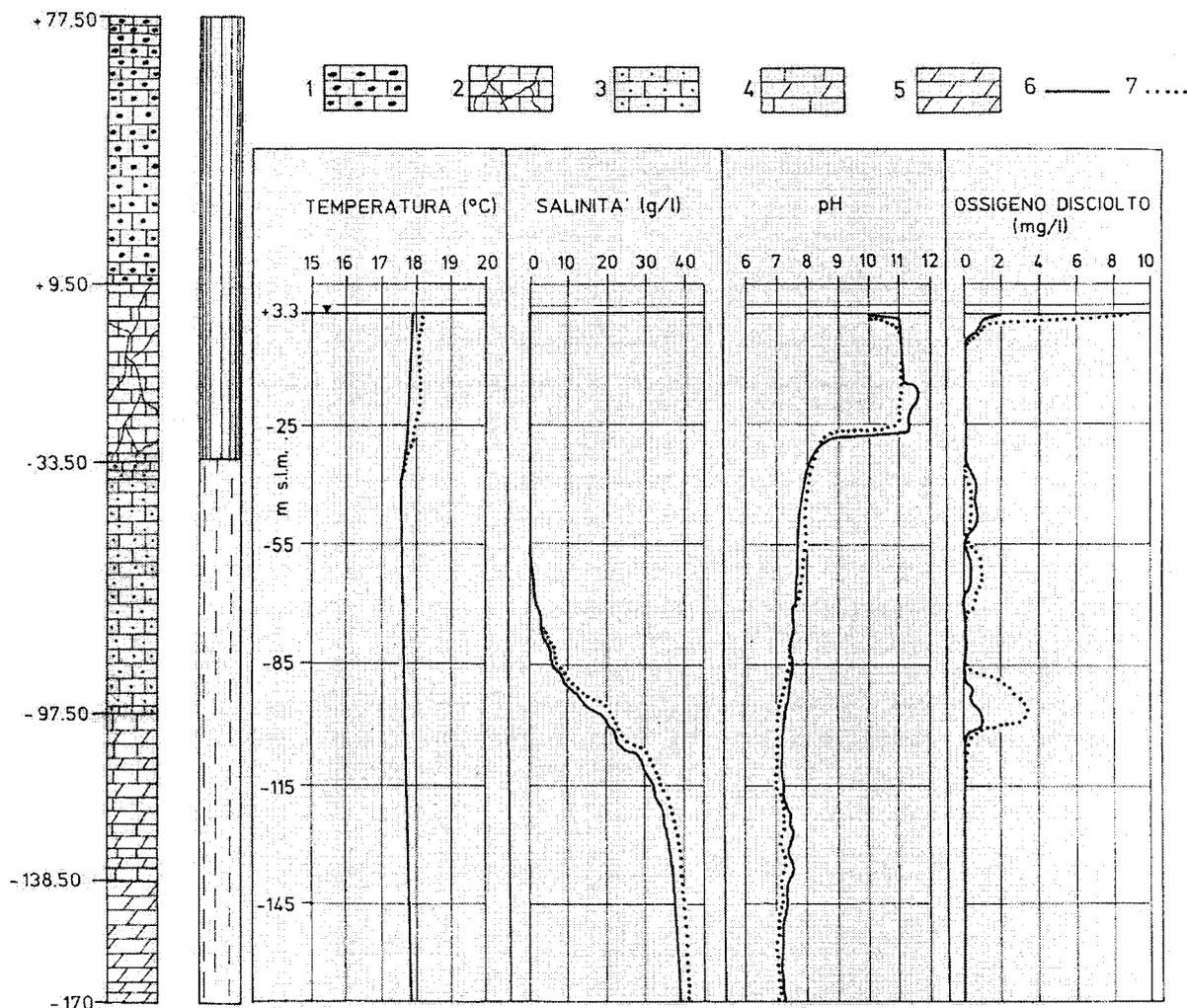


Fig. 6 - Pozzo C49; stratigrafia, tipica dell'area campione, ed andamento con la profondità di alcuni parametri chimico-fisici delle acque sotterranee dell'area di studio. 1) calcareniti con intercalazioni sabbioso-limose (Calcareniti di Gravina); 2) calcari micritici e calcari dolomitici a luoghi fratturati (Calcarenite di Andrano); 3) calcareniti tufacee con livelli macrofossiliferi (Pietra leccese); 4) calcari dolomitici e dolomie (Calcarea di Altamura); 5) dolomie (Calcarea di Altamura); carotaggio multiparametrico 6) del 16/04/1996 e del 7) del 04/11/1996.

A tale scopo sono stati valutati i sette parametri previsti dal metodo, avendo a disposizione informazioni adeguate. Si descrivono nel seguito le metodologie adottate e i parametri SINTACS, con riferimento all'area sperimentale.

4.1 Soggiacenza

L'area in oggetto dell'acquifero salentino è risultata essere interessata da una circolazione idrica sotterranea prevalentemente in pressione. Di conseguenza, al fine di valutare il parametro soggiacenza, sono state considerate generalmente le profondità dei rinvenimenti idrici (Fig. 2).

Per la stesura della carta parametrica sono stati stabiliti due intervalli di soggiacenza, non verificandosi grosse variazioni; ad ogni intervallo è stato poi assegnato il relativo punteggio (Tab. 1).

Dalla distribuzione dei valori di soggiacenza, schematicamente rappresentata in Fig. 7, si evince che i valori massimi, inferiori a 130 m dal piano campagna, si riscontrano nei settori ad ovest degli abitati di Corigliano d'Otranto,

nel settore a sud-est e nei pressi di Maglie, mentre i valori minimi, comunque superiori a 70 m dal p.c., si registrano in un ristretto settore compreso tra gli abitati di Sogliano Cavour e Cutrofiano.

4.2 Infiltrazione

L'evapotraspirazione reale media annua è stata calcolata mediante la formula di Turc (1954), considerando i dati pluviometrici e termometrici di alcune stazioni distribuite nel Salento e apportando correzioni al potere evaporante dell'atmosfera.

Sono stati elaborati i dati mensili relativi all'altezza di precipitazione e alla temperatura diurna dell'aria, per un periodo sufficientemente lungo, maggiore di 60 anni.

I dati utilizzati sono stati raccolti dal 1921 al 1994 dal Servizio Idrografico Mareografico Nazionale (SIMN), Sezione Autonoma di Bari.

Da una prima analisi si deduce che i valori delle piogge medie annue aumentano nell'area in modo sostanzialmen-

| Parametro | Punti |
|--|---------|
| Intervallo di soggiacenza (m) | |
| >100 | 1 |
| 50-100 | 2 |
| Infiltrazione efficace(mm/a) | |
| 61-90 | 4 |
| 91-110 | 5 |
| 111-130 | 6 |
| 131-160 | 7 |
| 161-200 | 8 |
| 201-240 | 9 |
| Classi litologiche | |
| sabbie argillose | 4-4,5 |
| calcareniti marnose | 4,5-5,5 |
| calcari detritici organogeni compatti | 6 |
| calcari fossiliferi | 7 |
| calcari dolomitici e dolomie | 7-8 |
| Tipologia suoli di copertura (s=spessore in cm) | |
| Roccia affiorante | 9 |
| Suolo da franco sabbioso a franco argilloso, s < 50 | 8 |
| Suolo da argilloso a franco argilloso, s > 50 | 2 |
| Suolo da sabbioso-franco ad argilloso, s fra 50 e 100 | 4-5 |
| Suolo argilloso e/o argilloso-sabbioso, s > 100 | 3 |
| Tipo di acquifero | |
| Dolomie fessurate | 5-7 |
| Calcari fessurati | 6-9 |
| Calcari carsificati | 9-10 |
| Conducibilità idraulica (m/s) | |
| $3 \cdot 10^{-5} - 7 \cdot 10^{-5}$ | 6 |
| $8 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$ | 7 |
| $3 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-4}$ | 8 |
| $8 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$ | 9 |
| $> 3 \cdot 10^{-3}$ | 10 |
| Acclività topografica (%) | |
| 0-2 | 10 |
| 2-4 | 9 |

Tab. 1 - Intervalli di soggiacenza, di infiltrazione efficace, classi litologiche e di copertura, classi di conducibilità idraulica, tipologia della roccia acquifera e classi di acclività proposti per l'acquifero murgiano e relativi punteggi assegnati.

te lineare procedendo da NW a SE, passando da 700 a 800 mm/anno circa.

Non si osservano variazioni significative della temperatura media annua da punto a punto (la temperatura media annua rientra in un range compreso tra 16 e 16,3°C).

La temperatura media annua nonché quelle mensili e i rispettivi valori pluviometrici non sono risultati influenzati in modo rilevante dall'altimetria. Sulla base di queste

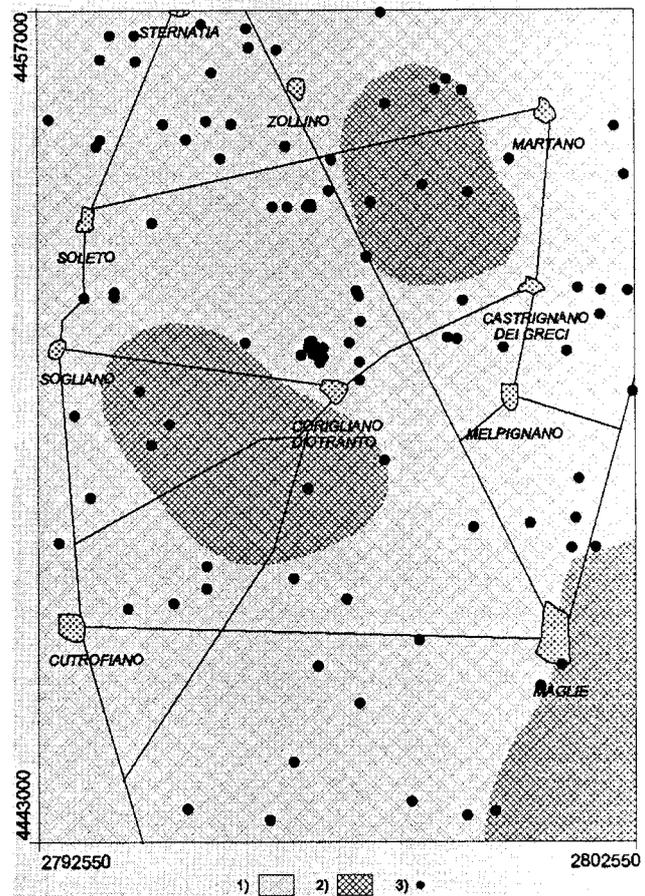


Fig. 7 - Distribuzione della soggiacenza (m s.l.m.); 1) 50-100m; 2) >100m; 3) pozzo di misura.

conoscenze, è stata calcolata l'evapotraspirazione reale media annua (E_r) per ogni cella dell'area di studio.

Determinata la piovosità efficace media annua (Q) sottraendo alla E_r la piovosità media annua (P), per ogni cella è stato ricavato un valore di infiltrazione efficace medio annuo (I).

Tale parametro dipende da Q in funzione di molti fattori quali, ad esempio, il tipo di suolo presente e la sua potenza, la pendenza della superficie topografica nonché la presenza di forme carsiche endoreiche (doline, voragini).

Per ogni cella l'effetto complessivo di questi termini viene espresso dal coefficiente di infiltrazione efficace χ .

Il prodotto tra il coefficiente d'infiltrazione efficace e le precipitazioni efficaci medie annue ha permesso di attribuire ad ogni cella un valore dell'infiltrazione efficace media annua (I).

Ad esempio, in riferimento alla tessitura dei suoli che ricoprono rocce calcaree e/o calcarenitiche nell'area di studio, χ assume valori via via crescenti passando da suoli argillosi a suoli sabbiosi.

Il massimo valore di χ , pari ad 1, è stato usato laddove sono presenti sia depressioni naturali carsiche (doline, voragini) sia cave. I valori assunti da I sono compresi tra 75 e 205 mm/anno.

La carta parametrica relativa all'infiltrazione è stata ela-

borata dopo aver attribuito ad ogni cella il relativo punteggio (Tab. 1).

Dall'osservazione di tale carta si nota che la minore ricarica dell'acquifero si verifica soprattutto nel settore sud-occidentale, in relazione alla presenza di suoli argillosi, aventi uno spessore maggiore di 100 cm, e ricoprenti i terreni sabbioso-argillosi dei depositi marini terrazzati.

4.3 Effetto autodepurante del no-saturo

L'intervallo di terreno compreso tra la base del suolo e la zona satura dell'acquifero, noto come insaturo, è stato valutato procedendo all'interpretazione delle stratigrafie delle numerose perforazioni esistenti nell'area di studio.

I dati utilizzati in questa fase di studio sono stati impiegati anche per stimare la tipologia dell'acquifero, come si vedrà più avanti (cfr. 4.5).

La litologia dell'insaturo, rappresentata da calcari, calcareniti e sabbie argillose, il tipo di porosità, dovuta essenzialmente al carsismo e alla fratturazione, e la permeabilità verticale, sono fattori indispensabili per valutare l'azione di autodepurazione esplicita dalla zona non-satura dell'acquifero.

Da queste caratteristiche dipende, infatti, la vulnerabilità del mezzo nei confronti degli inquinanti idrogeologici. Per determinare tale parametro si è proceduto ad attribuire ad ogni cella un punteggio relativo alla tipologia dei complessi idrogeologici caratterizzanti la zona non-satura, in relazione anche alla presenza di depressioni carsiche.

Le classi di valori del non-saturo, utili per l'elaborazione della carta parametrica, coprono un intervallo di punteggio da 4 a 8, con valori bassi dove il non-saturo è caratterizzato da calcareniti e sabbie argillose, e medio-alti in presenza di calcari.

4.4 Tipologia della copertura

Nell'area in esame sono presenti cinque tipologie di suoli, alle quali sono stati attribuiti, ai fini dell'elaborazione della carta della tipologia della copertura, i punteggi riportati in Tab.1.

L'azione di mitigazione svolta dalla copertura e quindi la rilevanza del parametro tipologia della copertura, è condizionata dalla circostanza che solo in una ristretta porzione di territorio, a SSE dell'abitato di Cutrofiano, sono presenti suoli con spessori superiori ai 50 cm.

Nella restante parte dell'area considerata, laddove non affiora il basamento calcareo, praticamente privo di copertura, si trovano suoli, da franco a franco argillosi, di modesto spessore.

4.5 Caratteristiche dell'acquifero

Nell'area oggetto di studio è presente un acquifero carbonatico, la cui falda idrica circola generalmente in pressione, fatta eccezione per l'area nei dintorni di Soletto e di

Corigliano d'Otranto, dove si rilevano condizioni freatiche, laddove affiora il basamento carbonatico.

Per la valutazione del punteggio da attribuire al parametro acquifero si è tenuto conto dei principali caratteri delle rocce acquifere presenti; in particolare, sono stati distinti tre complessi rocciosi (Calcari carsificati, Calcari fessurati e Dolomie fessurate), appartenenti entrambi all'unità litostratigrafica del Calcare di Altamura, ai quali sono stati attribuiti i punteggi riportati in Tab.1.

Ad ogni complesso individuato sono stati attribuiti dei punteggi compresi in un certo intervallo di variabilità, in funzione della trasmissività dell'acquifero, delle direzioni e velocità di flusso delle acque di falda.

Ai fini della vulnerabilità, il parametro acquifero incide in misura maggiore nelle parti più esterne dell'abitato di Corigliano d'Otranto, dove sono concentrate quasi tutte le opere di emungimento.

4.6 Conducibilità idraulica

L'acquifero in esame presenta una conducibilità idraulica da media ad alta, fatta eccezione per una porzione di territorio, a SE di Corigliano d'Otranto, dove la stessa varia da bassa a media. In linea generale, la stessa, pur essendo variabile da zona a zona, tende ad aumentare spostandosi dalle aree di affioramento del Calcare di Altamura a quelle laddove si rinvergono i depositi di copertura.

La conducibilità idraulica è stata stimata in prima approssimazione mediante le formule di Dupuit, per acquiferi confinati o freatici a secondo del caso osservato, utilizzando i dati di prove di emungimento condotte in regime di equilibrio.

Per quanto riguarda il raggio d'influenza, si dispone di pochi dati diretti, raccolti dagli autori, e di alcuni dati bibliografici (Cotecchia et al., 1999).

Pertanto è stata condotta un'analisi della sensitività della conducibilità idraulica al variare del raggio d'influenza nell'intervallo 150+450 m, con passo pari a 50 m. Il valore più attendibile, sulla base dei rilievi diretti e dell'analisi svolta, utilizzato nei calcoli della conducibilità idraulica, è risultato pari a 300 m.

In considerazione della variabilità del parametro conducibilità idraulica (Fig. 5), si è ritenuto opportuno attribuire allo stesso diversi punteggi in funzione del valore assoluto calcolato; sono state pertanto individuate cinque classi; i relativi punteggi sono riportati in Tab.1.

Essendo finalizzata alla distinzione in classi, le approssimazioni associate alla determinazione dei singoli valori puntuali della conducibilità idraulica non sono risultate in ogni caso rilevanti ai fini della valutazione della vulnerabilità.

4.7 Acclività della superficie topografica

L'acclività dell'area in esame è stata determinata mediante un DEM (Digital Elevation Model) dopo aver

digitalizzato la cartografia a scala 1:25.000 dell'I.G.M..

In linea di massima, la topografia dell'area risulta pianeggiante, con quota massima pari a 155m s.l.m. e con pendenza topografica compresa tra 0,1 e 3,3 %.

Essendo quindi l'area prevalentemente pianeggiante, è stato assegnato il massimo punteggio SINTACS, pari a 10, ricavando una carta parametrica.

5. Situazioni idrogeologiche e d'impatto

Nella Fig. 8 sono stati rappresentati gli scenari idrogeologici e di antropizzazione, a ciascuno dei quali si associa un'apposita linea di pesi. A seconda delle situazioni idrogeologiche e di impatto, sono state utilizzate 3 diverse linee di pesi relative a: aree in rocce fessurate, aree soggette ad impatto rilevante e aree carsiche (Civita & De Maio, 1997). In prevalenza, trattandosi di un'area litologicamente caratterizzata da rocce carbonatiche e calcarenitiche, in cui è diffusa la permeabilità per fessurazione, è stata applicata la stringa di pesi fessurato.

Le aree urbanizzate e/o industrializzate sono state rappresentate dalla stringa dei pesi ad impatto rilevante, mentre l'ultima stringa è stata attribuita alle aree in cui sono presenti depressioni naturali carsiche, situazioni che facilitano i possibili collegamenti tra la superficie e l'acquifero.

6. Influenza delle attività antropiche sulla qualità delle acque sotterranee

Il generalizzato sfruttamento della falda sta determinando un lento e progressivo degrado quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee dell'unità idrogeologica del Salento (Cotecchia & Polemio, 1997 e 1998; Daurù et al., 1999; Polemio, 2000; Polemio & Limoni, 2001).

In particolare, diffuso e generalizzato appare l'inquinamento rinveniente dalle numerose attività antropiche, che molto spesso utilizzano il sottosuolo come ricettore finale di reflui vari così come in evoluzione è il fenomeno dell'intrusione marina. In tale contesto si inserisce l'area di studio.

Nell'area sperimentale è stato eseguito un censimento dei centri di pericolo (CDP) al fine di evidenziare gli effetti generati dagli stessi sulla qualità delle acque sotterranee.

L'ubicazione dei CDP è riportata nella tavola allegata (Cotecchia et al., 2000).

Le analisi sono state effettuate su campioni prelevati in condizioni dinamiche da pozzi, operando a cadenza mensile nel periodo maggio-ottobre 1997.

I risultati hanno evidenziato che, anche nell'arco di un solo anno idrologico, l'evoluzione delle concentrazioni di alcuni parametri indicatori d'inquinamento antropico appare significativa. In particolare, si rileva un aumento generalizzato, nel corso del periodo di osservazione, della conducibilità elettrica dell'acqua, legato essenzialmente ad un aumento degli emungimenti; i valori massimi riscontrabili, si rilevano laddove sono presenti i pozzi utilizzati ad uso potabile (Fig. 9).

Le zone a maggior conducibilità elettrica dell'acqua coincidono con le zone a minore carico piezometrico, creato quest'ultimo proprio dagli emungimenti in atto. Nel periodo settembre-ottobre si crea un'ulteriore area a concentrazione elevata nella porzione a SW dell'area considerata.

Osservando invece la distribuzione dell'ammoniaca, si riscontra una forte variabilità della stessa nel tempo e da zona a zona; tale aspetto è sicuramente imputabile alla presenza di centri di pericolo da cui provengono scarichi nel sottosuolo.

Particolarmente preoccupante è tale situazione, se si relaziona alla presenza dei numerosi pozzi ad uso potabile che, per gli elevati emungimenti, determinano un'ampia zona di drenaggio. Infatti, confrontando la distribuzione dell'ammoniaca (Fig. 10), con l'andamento delle linee di flusso (Fig. 5), si nota come il pennacchio di concentrazione, presente a SE dell'abitato di Corigliano d'Otranto, si protende verso i pozzi utilizzati a scopo potabile, e che lo stesso, nell'arco di poche settimane, scompare in prossimità dell'area di immissione per ritrovarsi nell'area di emungimento.

La situazione sostanzialmente non cambia osservando la distribuzione dei nitrati (Fig. 10). E' evidente comunque un carattere di stagionalità nell'andamento delle concen-

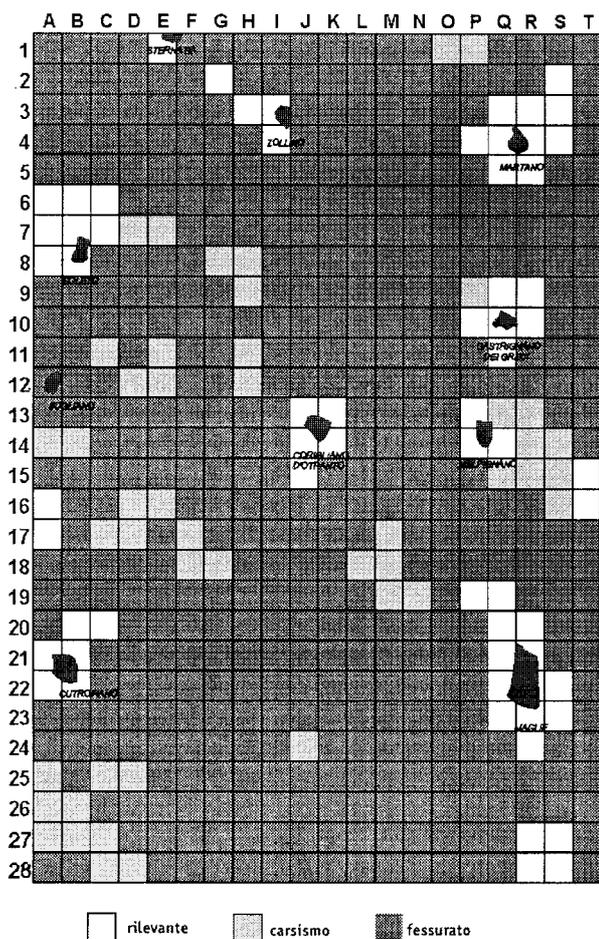


Fig. 8 - Scenari idrogeologici e di antropizzazione.

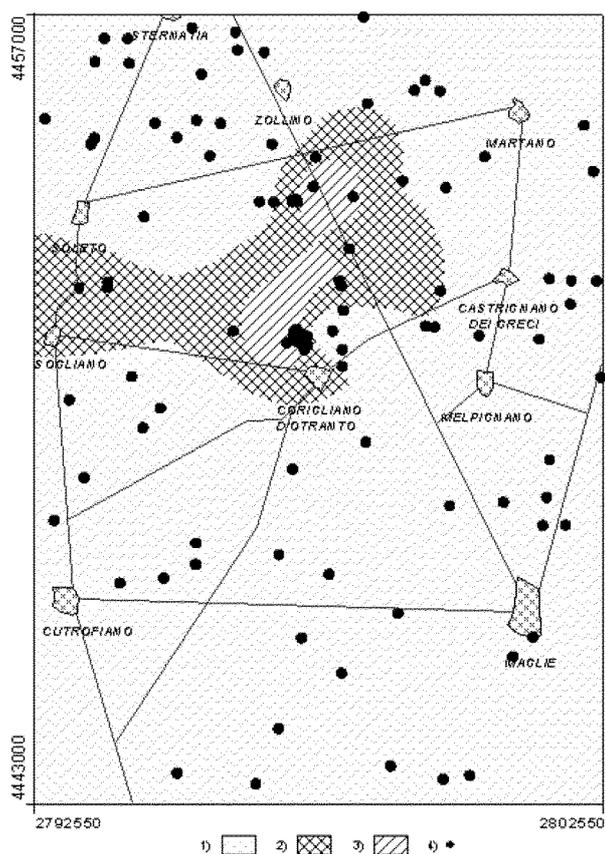


Fig. 9 - Distribuzione della Conducibilità elettrica delle acque sotterranee ad Aprile 1997 ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C). 1) 600-700; 2) 700-800; 3) >800; 4) pozzo di misura.

trazioni, ascrivibile alle attività agricole. L'area a maggior concentrazione si riscontra a nord di Corigliano d'Otranto, a differenza dell'ammoniaca, il cui massimo carico inquinante era presente a Sud del suddetto abitato.

Si rileva, anche se in forma puntuale, la presenza di insetticidi organo-alogenati, mentre gli insetticidi organo-fosforati e carbammati, i policlorofenili sono sempre al di sotto dei valori imposti dalla normativa vigente.

Anche per gli altri parametri analizzati (Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Ba^{2+} , Ag^+ , Cd^{2+} , Cr^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , $\text{Sb}^{\pm 3}$, Co^{2+} , As^{5+} , Be^{2+} , Hg^+ , Se^{6+} , V^{2+} , fenoli, cianuri, tensioattivi anionici e non) non si rileva la presenza di concentrazioni superiori a quelle prescritte dalla normativa vigente; fa eccezione lo zinco, che in alcuni campioni d'acqua supera i 0,2 mg/l. Le analisi batteriologiche espletate hanno evidenziato, in un numero discreto di campioni, la presenza di coliformi totali, spesso accompagnati da coliformi fecali e/o streptococchi; tali parametri, chiari indicatori d'inquinamento di natura organica, confermano la presenza attiva di centri di pericolo.

L'influenza sulla qualità delle acque delle attività antropiche, esplicatesi essenzialmente in forma concentrata, trova un'ulteriore conferma sulla presenza degli idrocarburi emulsionati o disciolti, rilevabili in concentrazioni talvolta superiori ai 200 mg/l.

Confrontando le recenti analisi chimiche (1997) con

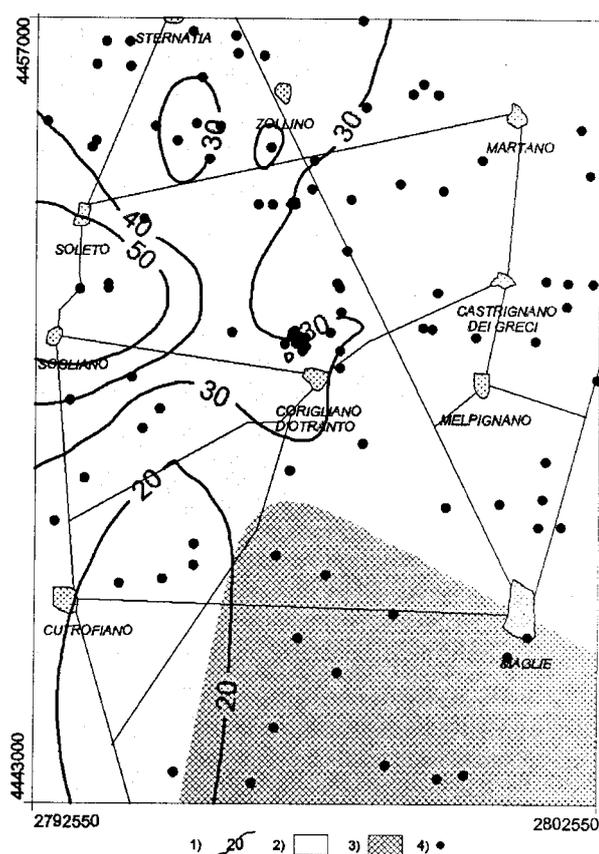


Fig. 10 - Distribuzione dell'ammoniaca e dei nitrati. 1) isolina NO_3^- (mg/L); 2) 0,05-0,5 mg/L di NH_4^+ ; 3) >0,5 mg/L di NH_4^+ ; 4) pozzo di misura.

quelle pregresse (1993, 1995), si può notare che, nelle prime sia oramai costante la presenza di ammoniaca, direttamente associabile allo scarico di acque reflue di origine civile nel sottosuolo, e dei nitrati, ascrivibili all'utilizzo di concimi chimici nelle attività agricole.

Anche batteriologicamente le acque hanno subito un certo degrado.

7. Considerazioni conclusive sulla carta della vulnerabilità intrinseca

Dall'esame dei risultati ottenuti sono state individuate 3 classi di vulnerabilità (Cotecchia et al., 2000): alta (A), elevata (E) e molto elevata (EE).

Da quanto risulta dalla tavola allegata, si evince che il grado di vulnerabilità intrinseca dell'acquifero è elevato in gran parte dell'area studiata, e passa a molto elevato in due zone ristrette, a NNW dell'abitato di Martano e a NW di Maglie.

In queste aree prevalgono condizioni morfologiche particolari in quanto sono presenti, oltre che doline, numerose depressioni artificiali ad utilizzo antropico, come le cave. In conseguenza di ciò, tale incremento è da attribuirsi al parametro infiltrazione, che ha mostrato valori elevati. L'alto grado di vulnerabilità intrinseca si registra soprattutto in corrispondenza dei centri abitati e nel settore sud

occidentale. Il minor grado di vulnerabilità rispetto alla restante parte del territorio studiato è funzione delle condizioni geologiche e pedologiche di tale settore, in quanto sono presenti terreni da argillosi ad argilloso-sabbiosi che, per la loro bassa permeabilità, giocano un ruolo importante nell'infiltrazione di eventuali inquinanti nel sottosuolo.

Le analisi condotte sulle acque sotterranee dell'area in esame hanno permesso di valutare l'effetto dei centri di pericolo sulla qualità delle acque sotterranee. In particolare, l'inquinamento presente nelle acque di falda analizzate è tendenzialmente maggiore nella porzione settentrionale del territorio, laddove è maggiore la densità dei centri abitati e di conseguenza dei centri di pericolo legati alle attività produttive.

In generale, la situazione che si è delineata desta una certa preoccupazione per la contemporanea presenza, anche a brevi distanze, di opere d'emungimento utilizzate a scopo potabile e di centri di pericolo, in un'area a vulnerabilità generalmente da elevata a molto elevata. Si rileva inoltre, esaminando l'andamento della concentrazione dei nitrati, un inquinamento diffuso, ma a carattere stagionale, legato sicuramente alla presenza di attività agricole.

✍ **articolo arrivato in dicembre 2001
e accettato in marzo 2002**

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1993)** – Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi – Pitagora Ed., Vol.1-2, Bologna.
- BOSSIO A., MAZZEI R., MONTEFORTI B., SALVATORINI G. & VAROLA A. (1987)** – Inquadramento bio-cronostratigrafico delle Calcareni del Salento di Porto Miggiano – S. Cesarea Terme – atti Conv. Con. Geol. Ter. Salentino, 89-126, Lecce.
- CARLIN F., MAGRI G., MONGELLI F. (1973)** – Temperatura delle acque sotterranee della Penisola Salentina – Geol. Appl. e Idrog., Vol.VIII, 155-197, Bari.
- CIARANFI N., PIERI P., RICCHETTI G. (1988)** – Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centro-meridionale) – Mem. Soc. Geol. It., 41, 449-460, 1 tav., Roma.
- CIVITA M. (1987)** – La previsione e la prevenzione del rischio d'inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le carte di vulnerabilità – Atti Conv. Inq. Acque Sotterranee, 9-17, Mantova.
- CIVITA M. & DE MAIO M. (1997)** – S.I.N.T.A.C.S. un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento – Pitagora Ed., Bologna.
- CIVITA M. (1994)** – Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento – Pitagora Ed., Bologna.
- COTECCHIA V. (1977)** – Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina). Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 20, 1-466.
- COTECCHIA V., DAURÙ M., LIMONI P.P., MITOLO D., POLEMIO M. (1999)** – La vulnerabilità intrinseca di un'area campione dell'acquifero della Murgia (Puglia) – Pubbl. GNDCI n.1964, Atti del 3° Conv. Naz. sulla Protez. e Gest. delle Acque Sotterranee per il III Millennio, Parma.
- COTECCHIA V., DAURÙ M., LIMONI P.P., MITOLO D., POLEMIO M. (2000)** – Carta della Vulnerabilità dell'acquifero salentino. Area campione a Sud di Lecce. – Pubbl. GNDCI n.1864, Tecnoprint, Bologna.
- COTECCHIA V. & POLEMIO M. (1997)** – L'inquinamento e il sovraccarico delle risorse idriche sotterranee pugliesi. VI Workshop del Progetto Strategico "Clima, Ambiente e Territorio nel

Mezzogiorno", Dicembre 1995, Taormina, I, 447-484.

COTECCHIA V. & POLEMIO M. (1998) – The hydrogeological survey of Apulian groundwater (Southern Italy): salinization, pollution and over-abstraction. Proc. Int. Conf. on "Hydrology in a changing environment", British Hydrological Society, Exeter, 6-10 July, 1998 United Kingdom, John Wiley & Sons, II, 129-136.

COTECCHIA V., TADOLINI T. & TULIPANO L. (1981) – Saline contamination phenomena in the Karstic and fissured carbonatic aquifer of the salentine peninsula (Southern Italy) and their evolution – 7th SWIM, Uppsala (Sweden).

COTECCHIA V. & TADOLINI T. (1993) – Problematiche ambientali in Murgia e Salento (Puglia) connesse alla contaminazione progressiva delle acque di falda ad opera dell'ingressione marina. V Workshop del Progetto Strategico "Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno", Aprile 1993, Amalfi, 489-501.

D'ALESSANDRO A., LOIACONO F., RICCHETTI G. (1987) – Note illustrative alla carta geomorfologica del Salento Meridionale – Quad. Ric. Centro Studi Ing., 11, Lecce.

DAURÙ M., LIMONI P.P., SPIZZICO M. (1999) – The impact of human agency on the quality of the salentin (Apulia) karst watertable: control and protection criteria. Proceedings of the XXIX IAH Congress on Hydrogeology and Land Use Management, Bratislava, Slovak Republic, 365-370.

FIDELIBUS M.D., TULIPANO L. (1986) – Mixing phenomena owing to sea water intrusion for the interpretation of chemical and isotopic data of discharge from the Apulian coastal carbonate aquifer (Southern Italy). Proceedings of 9th SWIM, Salt Water Intrusion Meeting, (591-600), 12/16 may, Delft (The Netherland).

GRASSI D., TADOLINI T. (1993) – Criteri adottati per la definizione del tipo e del grado di vulnerabilità dell'acquifero carsico mesozoico murgiano-salentino (Puglia) – Atti del 2° Convegno Internazionale di Geoidrologia. Firenze, 29 novembre 3 dicembre, (537/540).

GRASSI D., TADOLINI T. & TULIPANO L. (1975) – Influenza delle caratteristiche morfologico-strutturali e paleogeografiche sull'idrologia della zona situata a nord di Otranto (Penisola Salentina). Atti III Conv. Int. sulle Acque Sotterranee, Palermo 1-5 novembre 1975.

MARTINIS B. (1967) – Sull'età delle argille di Gallipoli – Acc. Naz. Lincei, 42, Roma.

PALMENTOLA G. (1987) – Lineamenti geologici e morfologici del Salento leccese - Quad. Ric. Centro Studi Ing., 11, Lecce.

PALMENTOLA G. & VIGNOLA N. (1980) – Dati di neotettonica sulla penisola Salentina: F.204 "Lecce", 213 "Maruggio", 214 "Gallipoli", 215 "Otranto" e 223 "Capo S. Maria di Leuca" – Estratto da Contr. prel. alla realizzazione della Carta Neot. d'Italia, Pubbl.n.356 del Prog. Final. Geodinamica.

POLEMIO M. (2000) – Degradation risk owing to contamination and overdraft for Apulian groundwater resources (Southern Italy) – Water resources management in a vulnerable environment for sustainable development, Edito da K. Andah, UNESCO – International Hydrological Programme, Grifo Publishers, Perugia, 185-194.

POLEMIO M. & LIMONI P.P. (2001) – L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento. Memorie Società Geologica Italiana, 56, 321-326.

POLEMIO M. & RICCHETTI E. (2001) – Vulnerability Mapping of an Apulian Deep Carbonate Aquifer Using GIS. Pubbl. GNDCI n. 2236, II Simposio "Protezione delle acque sotterranee dall'intrusione marina e dall'inquinamento", Istituto Italo-Russo di formazione e ricerche ecologiche", Bari 27/9-1/10/1999, 291-302.

TADOLINI T. (1990) – Salt concentration cyclic changes in the waters of the Salentine karstic aquifer (Puglia, Southern Italy) – Proceedings of the XI° Salt Water Intrusion Meeting. Gdansk, (42-54).

TULIPANO L. & TADOLINI T. (1982) – Metodologie di studi ed indagini per la protezione delle risorse idriche sotterranee presenti nell'acquifero costiero fessurato e carsico pugliese. Atti del II Simposio Int. sull'utilizzazione delle aree carsiche, Geol. Appl. e Idrog., 17/II, 397-410.

TULIPANO L. & FIDELIBUS M.D. (1988) – Temperature of groundwaters in coastal aquifers: some aspects concerning salt-water intrusion – 10th SWIM, Ghent (Belgium).