

Vulnerabilità intrinseca dell'acquifero costiero Pugliese valutata mediante modello parametrico SINTACS modificato

Nicola Lopez¹, Donato Sciannamblo¹, Valentina Spizzico²

¹Politecnico di Bari - Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale. E- mail: nicola.lopez@fastwebnet.it; d.sciannamblo@poliba.it

²Politecnico di Bari – Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica
m.spizzico@poliba.it, Via Orabona 4 - 70125 BARI, Fax: +390805963675

Intrinsic Vulnerability Assessment for Apulian Coastal Aquifer Using the SINTACS Model

ABSTRACT: The evaluation of the intrinsic vulnerability in a part of the Apulian deep aquifer has been investigated on a wide area between Plateau of Murge and Salentine Serre (Southern Italy). The Apulian aquifer is deep, fissured, karstified, and coastal in type. Groundwater flows over intruding seawater. The aquifer is largely homogeneous, but small scale features may vary. The vulnerability has been assessed by means of a parametric model based on SINTACS. The main difference from original version of model consists on introduction of a new weights string which considers the phenomenon of seawater intrusion. The final results consist on a intrinsic vulnerability map which better reflects the particular features of investigated aquifer. The acquired data, all georeferenced, and vulnerability map have been stored in a GIS thought for optimisation of the apulian deep groundwater monitoring and management activities.

Key terms: karst aquifer, vulnerability, SINTACS.

Termini chiave: acquifero carsico, vulnerabilità, SINTACS.

Riassunto:

Un'ampia zona del territorio pugliese compreso tra l'altopiano delle Murge e le Serre Salentine è stata studiata al fine di valutare la vulnerabilità intrinseca della falda profonda pugliese, con sede in rocce carbonatiche mesozoiche. L'acquifero studiato è fessurato e carsificato, di tipo costiero, per cui le acque di circolazione sotterranea sono superimposte alle acque salate di intrusione marina. Nell'insieme l'acquifero presenta una certa omogeneità, sebbene localmente può essere caratterizzato da una notevole variazione delle proprie caratteristiche. La vulnerabilità è stata valutata mediante un modello parametrico basato sul SINTACS¹ e che prevede alcuni accorgimenti e modifiche rispetto al metodo originario. La modifica più sostanziale è costituita dall'introduzione di un'apposita stringa di pesi definita per adeguare i parametri di valutazione della metodica agli scenari localmente riconosciuti ovvero per tenere conto del fenomeno di contaminazione naturale legato all'intrusione marina; tutto ciò ha consentito di operare un'elaborazione della carta della vulnerabilità, più rispondente a quelle che sono le caratteristiche dell'acquifero esaminato. Tutti i dati acquisiti, georeferenziati, nonché i risultati finali sono stati inseriti in un GIS, che può essere costantemente aggiornato, finalizzato alle attività di controllo e monitoraggio della

falda profonda pugliese e rivolto agli Enti amministrativi locali operanti nel settore ambientale.

1. Introduzione

Per valutare la vulnerabilità intrinseca di un acquifero è ben noto che occorre disporre di una metodologia di valutazione codificata e della possibilità di reperire dati, ben distribuiti, di tipo geologico e idrogeologico.

Negli ultimi anni il modello di riferimento è stato il SINTACS (Civita e De Maio, 1997); il metodo, largamente utilizzato nella definizione della maggior parte dei contesti idrogeologici nazionali, è stato tuttavia poco applicato in sistemi acquiferi, particolari come quelli carbonatici fessurati e carsici, soggetti anche all'inquinamento da acque marine di intrusione continentale.

Tale forma di inquinamento è uno dei principali problemi dell'acquifero carbonatico pugliese che vede la presenza e la qualità della risorsa idrica sotterranea condizionata dagli equilibri, variabili, tra le stesse acque dolci di falda e quelle salate di intrusione marina.

Per far fronte a tale problematica la metodologia di riferimento è stata parzialmente modificata ed applicata, per l'opportuna calibrazione, ad una ristretta area costiera inglobante la città di Brindisi (Spizzico et al., 2004).

Gli esiti positivi conseguiti e la possibilità di poter acquisire dati litostratigrafici, idrodinamici e di salinità delle acque, per una zona molto più ampia ha motivato l'applicazione della modificata metodica ad un'ampia fascia

¹ Modello parametrico a punteggi e pesi su struttura modulare (per maglie), che analizza sette specifici parametri per definire il grado di vulnerabilità.

della penisola salentina definita tra la costiera ionica tarantina e quella adriatica brindisina.

L'insieme delle informazioni raccolte, tutte preliminarmente georeferenziate e codificate per l'archiviazione e la gestione in ambiente G.I.S., è stato successivamente modellato alle situazioni idrogeologiche e di impatto risultante in ciascun elemento di maglia, dalle stringhe dei pesi che lo stesso metodo propone e da un'altra espressamente definita che meglio evidenzia, nelle maglie interessate, gli effetti prodotti dall'intrusione marina.

2. Inquadramento geologico ed idrogeologico

L'area oggetto di studio, con un perimetro di circa 230 km ed un'estensione di 2250 kmq, ricade in quella porzione di Puglia compresa tra l'altopiano delle Murge e la Penisola Salentina e delimitata a N dalla congiungente Ostuni-Statte, ad E dal Mare Adriatico, a S dalla congiungente Maruggio-S. Pietro Vernotico e a O dal Mar Ionio.

Si tratta di un territorio per buona parte (85%) pianeggiante o subpianeggiante, ad eccezione di alcuni tratti più ripidi e di limitata estensione, localizzati lungo i versanti dell'altopiano murgiano e delle sue propaggini a SW (Murge Tarantine). Le quote sono comprese tra il livello del

mare e i 425 metri del M.te Trazzonara, nel settore occidentale. Nel settore nordorientale presso Torre Guaceto, sulla costa adriatica, si rinviene un'ampia zona morfologicamente depressa che favorisce l'emergenza delle acque sotterranee (Gualdi e Tadolini, 1990).

Il reticolo idrografico è, in generale, poco sviluppato. Sulle Murge è rappresentato da brevi incisioni (lame), solcanti le scarpate carbonatiche, a carattere torrentizio e riempite da depositi residuali. Nella piana attorno a Brindisi le principali incisioni fluviali, lunghe al massimo 30 km e anticamente convertite in canali di bonifica nei tratti terminali, sono sviluppate in direzione circa perpendicolare alla costa adriatica e spesso, a luoghi, raccolgono anche le acque reflue degli insediamenti urbani ed agricoli dislocati lungo il loro percorso. La geologia del territorio studiato (fig. 1a) rispecchia, in generale, i peculiari aspetti geotettonici regionali (Ciaranfi et al, 1992). La formazione più antica presente (figg. 1b, 1c), che affiora sulle Murge, è quella calcarea e calcareo-dolomitica del Cretaceo sup. (*Calcarea di Altamura*) che, come è noto, costituisce il basamento regionale ove ha sede la più importante risorsa idrica sotterranea pugliese.

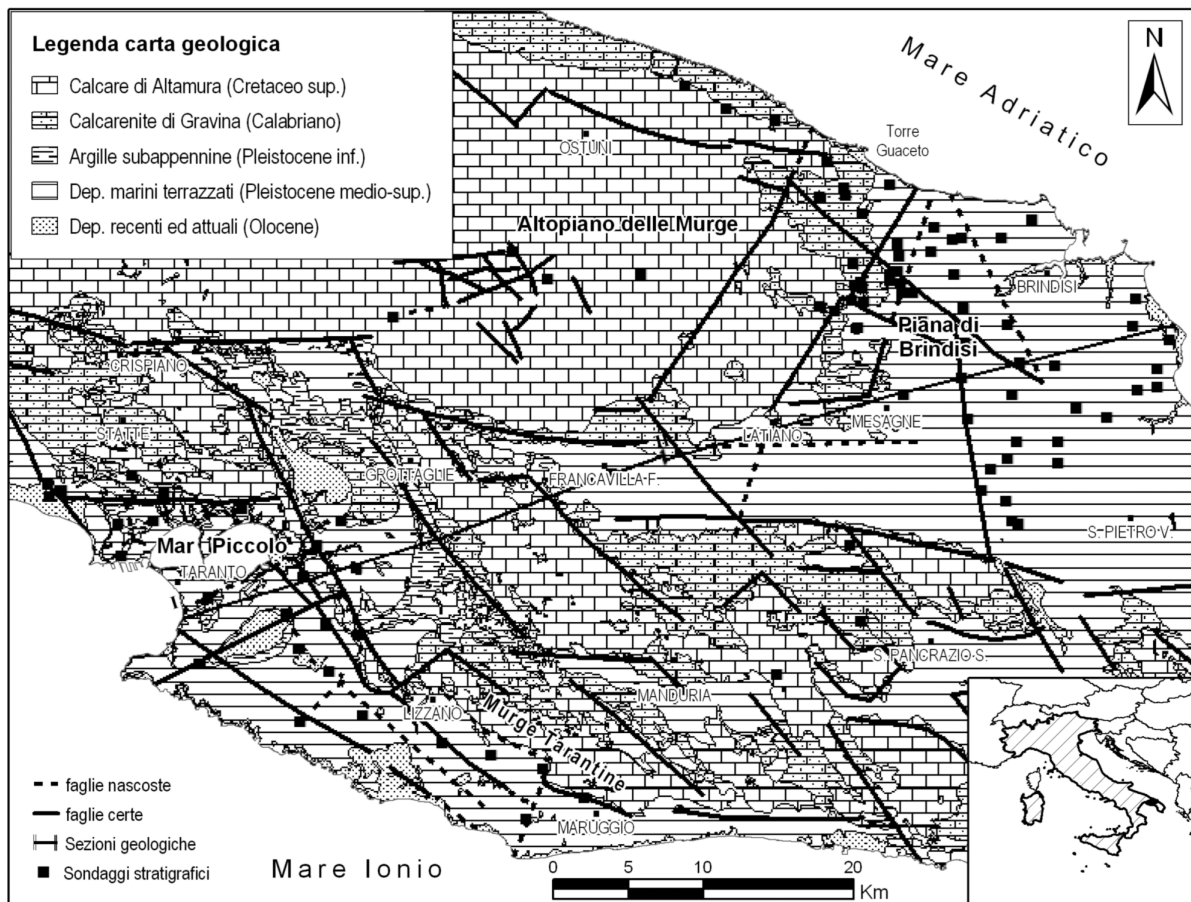


Figura 1 a – Carta geologica.
Geological map

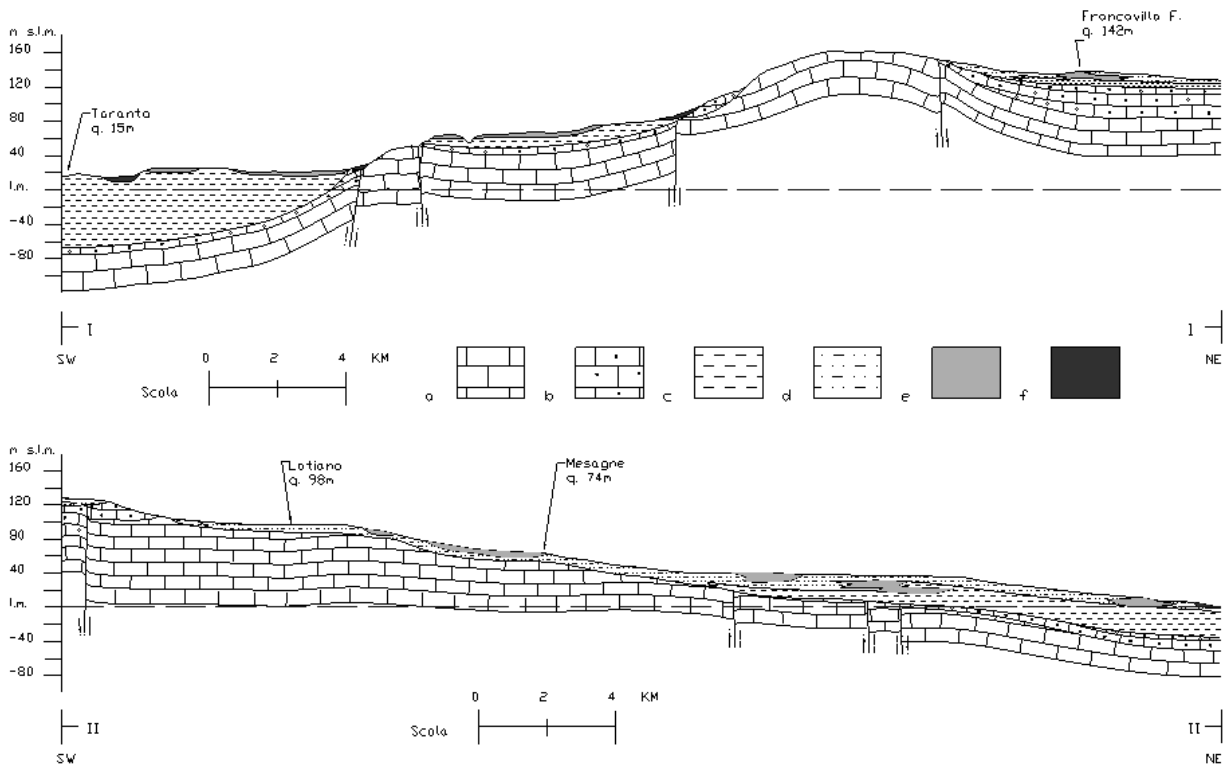


Figura 1 b, c - sezioni geologiche.

- Calcarei (Cretaceo);
- Calcareniti (Calabriano);
- Argille (Calabriano)
- Sabbie e sabbie argillose dei *Depositi marini terrazzati* (Pleistocene medio-sup.);
- Calcareniti ed arenarie dei *Depositi marini terrazzati* (Pleistocene medio-sup.);
- Depositi di copertura (Olocene).

Cross-sections.

- Limestones (Cretaceous);*
- Calcarenites (Calabrian);*
- Clay (Calabrian);*
- Sand and clay sand of Sea Terraced Deposits (middle-upper Pleistocene);*
- Calcarenites and sandstones of Sea Terraced Deposits (middle-upper Pleistocene);*
- Cover deposits (Holocene)*

La formazione carbonatica cretacea, che digrada sino a quote di circa -60 metri sul lato adriatico e di oltre -200 m su quello ionico, risulta coperta trasgressivamente da depositi sabbioso-calcarenitici di età calabriana (*Calcareniti di Gravina*), caratterizzati da un grado di cementazione variabile e da spessori massimi di 30-40 metri. La formazione calcarenitica al tetto e lateralmente passa, con continuità di sedimentazione, ad argille marnose grigio-azzurre del Pleistocene inf. (*Argille subappennine*), affioranti con continuità in una fascia ad E di Taranto e in piccoli lembi attorno al Mar Piccolo. Lo spessore della formazione argillosa varia da alcune decine di metri a 100-150 m.

Ove non affiorante, la formazione argillosa si rinviene al di sotto delle formazioni del Pleistocene medio-sup., raggruppate sotto il nome di *Depositi marini terrazzati* e

comprendenti sia calcareniti, affioranti sul versante ionico, sia sabbie fini calcaree più o meno argillose, con intercalazioni calcarenitiche, affioranti diffusamente tra Francavilla F. e Brindisi. In questi depositi, di spessore variabile da pochi metri a circa 10 metri, molto spesso hanno sede falde idriche, piuttosto contenute, a carattere stagionale e localmente indicate come falde sospese.

I depositi olocenici principali, di estensione e spessori modesti, sono costituiti da sabbie calcaree poco cementate (dune costiere) oppure da limi e argille (area paludosa di Torre Guaceto ed incisioni fluviali, Sciannamblo et al., 1992; Tadolini et al., 1994).

Per quanto concerne i caratteri strutturali, nella zona il basamento carbonatico è dislocato da due sistemi di faglie (Ciaranfi et al., 1983): quello "principale", con orientazioni NW-SE ed E-W, e quello secondario, con direzione SW-

NE. Si tratta di faglie dirette, che configurano il basamento carbonatico a “gradinata” con blocchi digradanti verso il mare. Studi strutturali pregressi (Cotecchia, 1977), hanno altresì evidenziato un sistema prevalente di fratture, orientate NW-SE, quasi sempre bene aperte, subverticali e, spesso, totalmente o in parte, riempite di Terra Rossa.

Viene confermato anche lo stretto rapporto tra gli elementi tettonici e le cavità carsiche restando, quest’ultime, essenzialmente condizionate dal tipo e grado di fessurazione della roccia, dalla locale presenza di litotipi poco o non carsificabili, nonché dalle ripetute variazioni di quota che i livelli basali subiscono, nel tempo, ad opera dei movimenti eustatici. Il fenomeno carsico, pur caratterizzato da una marcata distribuzione anisotropica, aerale e verticale, degli apparati carsici, sia epigei che ipogei, evidenzia un loro sviluppo prevalentemente suborizzontale.

Ne consegue che l’ambiente carbonatico ha un grado di permeabilità, per fessurazione e carsismo, sostanzialmente variabile da zona a zona e, comunque, più elevato presso le coste rispetto a zone più interne (Spizzico e Sciannamblo, 2003). Altrettanto variabili risultano le capacità di immagazzinamento, la capacità drenante e quella degli stessi parametri idrodinamici con cui le acque sotterranee, sorrette dalle acque salate di ingressione marina, defluiscono verso le due linee di costa (Grassi e Tadolini 1985; Zezza, 1978).

Nell’area indagata le acque di falda profonda circolano prevalentemente in pressione nel litorale ionico e attorno a Brindisi, ove il livello argilloso, sovrapposto alle calcareniti, costituisce una barriera al libero deflusso verso mare, e nell’altopiano murgiano, ove i calcari sono in banchi compatti o poco fratturati. Viceversa la circolazione è di tipo freatico nell’ampia fascia compresa tra le Murge Baresi e le Murge Tarantine e nei suoi prolungamenti in direzione di Mesagne e di Torre Guaceto (Tadolini et al. 1994).

L’alimentazione della falda avviene prevalentemente nelle zone murgiane più interne; tuttavia non sono trascurabili apporti idrici concentrati in corrispondenza di fratture tettoniche, piani di faglia e inghiottitoi carsici presenti nel territorio in esame.

La ricostruzione della morfologia della superficie piezometrica, operata con studi recenti, ha evidenziato come il deflusso della falda idrica sotterranea verso il mare sia significativamente condizionato dalle caratteristiche di permeabilità della formazione rocciosa e come le direzioni principali di tale deflusso convergano, sul lato adriatico, prevalentemente sul fronte drenante costiero nord-orientale (Sciannamblo et al., 1992), e su quello ionico prevalentemente nel Golfo di Taranto e attorno al Mar Piccolo (Pagliarulo e Bruno, 1990).

Nell’area è stato possibile definire anche la variabilità spaziale e temporale del contenuto salino delle acque di falda prelevando campioni da oltre 400 punti acqua rappresentati da pozzi a scavo e trivellati.

Le indagini, espletate in due momenti diversi, ciascuno

dei quali caratterizzante un aspetto specifico del ciclo idrologico della falda, quello di fine ricarica (marzo-aprile) e quello di fine utilizzo-inizio esaurimento (ottobre-novembre), evidenziavano nel periodo di massimo utilizzo: una generale progressiva salificazione delle acque e l’espandersi delle zone di acquifero maggiormente interessate dal fenomeno dell’intrusione salina. A luoghi, infatti, le acque mostrano un diverso tasso di miscelamento con le acque di mare passando da un residuo salino di 1,5 g/l ad oltre 2,5/g/l (Spizzico et al., 2003; Spizzico e Sciannamblo, 2003).

3. Metodologia

Per l’applicazione del metodo, l’area di studio è stata suddivisa in Elementi Finiti Quadrati (E.F.Q.) costituiti da maglie quadrate con lato di 500 metri; per ogni E.F.Q. si è preparata una scheda informativa caratterizzante l’ambiente sottostante, la tipologia del suolo, del non saturo, dell’idrostruttura.

Tabella 1 – Punteggi SINTACS assegnati a ciascun parametro.
Point score for each parameter of SINTACS model.

Soggiacenza (m)	Punti	Non saturo	Punti
0-1	10	Calcari carsificati e inghiottitoi carsici	9-10
1-4	9	Calcari da molto a poco fessurati	6-8
4-6	8	Calcareniti	5-6
6-8	7	Argille sabbiose	3-4
8-10	6	Argille	1-2
10-20	5	Tipologia della copertura	Punti
> 20	4	Suolo scarso o assente	10
Infiltrazione efficace		Suolo sabbioso	8
Litologia	χ	Suolo franco-sabbioso	6
Calcari carsificati	0,9	Suolo franco o limoso	4-5
Sabbie	0,8	Suolo franco-argilloso	3
Calcari fessurati	0,7	Suolo argilloso e “terre rosse”	1-2
Calcareniti	0,5	Acquifero	Punti
Argille e limi	0,2	Calcari carsificati	9
Tessitura suolo	χ	Calcari fessurati e poco carsificati	8
Sabbiosa	0,5	Calcari poco fessurati	7
Franco-sabbiosa	0,4	Conducibilità idraulica (m/s)	Punti
Franca e limosa	0,1-0,2	$5*10^{-3} - 10^{-2}$	10
Franco-argillosa	0,05	$10^{-3} - 5*10^{-3}$	9
Argillosi	0,01-0,02	$5*10^{-4} - 10^{-3}$	8
		$10^{-4} - 5*10^{-4}$	7
Ricarica attiva (mm/a)	Punti	$5*10^{-5} - 10^{-4}$	6
201-325	9	$10^{-5} - 5*10^{-5}$	5
176-200 e 326-350	8	$5*10^{-6} - 10^{-5}$	4
151-175 e 351-375	7	Superficie topografica (pendenza %)	Punti
126-150 e 376-400	6	0-2	10
101-125 e >400	5	2-4	9
81-100	4	4-6	8
61-80	3	6-9	7
41-60	2	9-12	6
< 40	1	12-15	5

Successivamente, per ciascuna cella, le informazioni raccolte sono state convertite in punteggi (tab. 1) attribuiti in funzione dell'importanza che ciascuno dei sette parametri utilizzati assume nella valutazione complessiva finale.

Ciascun elemento di maglia è stato poi discretizzato con la stringa dei pesi per identificarlo alla situazione-scenario riconosciuta; l'attribuzione dei codici dei colori realizzava, in ambiente GIS, sia le otto carte tematiche proposte che la vulnerabilità dell'acquifero.

3.1 Soggiacenza

La soggiacenza è stata valutata sulla base delle osservazioni effettuate su oltre 150 punti acqua. Ove la falda circola in pressione, si è considerata la profondità di rinvenimento del letto del confinante superiore, misurata dal piano campagna e dedotta dalle schede tecniche dei sondaggi stratigrafici. Nella zona a circolazione freatica, la soggiacenza è stata calcolata, per ciascuna cella, come differenza tra la quota media del piano campagna e la superficie piezometrica della falda, rilevata nel periodo marzo-aprile del 2002.

Si è ritenuto di attribuire un minimo di 4 punti a tutte quelle celle con una soggiacenza superiore a 20 metri; diminuendo gli spessori, in alcuni tratti di costa i punteggi crescono seguendo la rapida variazione della cadente piezometrica e raggiungono i valori più alti.

3.2 Infiltrazione efficace

L'area studiata viene interessata completamente o in parte dai topoieti definiti delle stazioni pluviometriche di: Massafra, Crispiano, Taranto, Lizzano, Grottaglie, Manduria (versante ionico), Ostuni, Latiano, S. Pancrazio Salentino, Brindisi e S. Pietro Vernotico (versante adriatico). Di tali stazioni, tutte gestite dal Servizio Idrografico Italiano, si è considerata la precipitazione media dell'ultimo trentennio e con i metodi tradizionali si è determinata l'evapotraspirazione (Regione Puglia, 1994).

Il punteggio per ogni cella è stato ricavato stimando l'infiltrazione effettiva in falda, espressa in funzione di un coefficiente di infiltrazione χ che tiene conto delle caratteristiche lito-pedologiche. Per ciascuna maglia, nella valutazione dell'infiltrazione si è tenuto conto di aspetti geologici e antropici particolari quali: la presenza di doline e inghiottitoi carsici, zone urbanizzate e, soprattutto, delle diverse articolazioni litostratigrafiche del non saturo. Per quanto descritto in precedenza, infatti, segue che, ove il banco di argilla è superimposto all'acquifero carbonatico e ove la continuità stratigrafica di tale banco non abbia subito interruzioni per effetto delle attività antropiche, l'apporto in falda sia piuttosto scarso e quindi basso il punteggio attribuito. E' il caso di buona parte del versante ionico e della pianura tra Francavilla F., Brindisi e S. Pietro Vernotico.

3.3 Non saturo

Per tale parametro la metodica tradizionale attribuisce un punteggio basso ai litoidi con buone funzioni autodepuranti, alto allorché si riconoscono condizioni di massima

vulnerabilità come forme carsiche e inghiottitoi, ai quali vengono attribuiti i punteggi più alti (9-10), ad evidenziare, in tal modo, la massima comunicabilità tra l'ambiente esterno e quello sotterraneo.

Nell'area esaminata sono stati individuati, da stratigrafie di pozzi e sondaggi meccanici a carotaggio continuo, quattro principali tipi litologici: calcari con diverso grado di fessurazione e carsificazione, calcareniti, argille sabbiose e argille; fatta eccezione per le zone caratterizzate interamente da rocce carbonatiche, il punteggio del "non saturo", nelle celle con presenza di formazioni pleistoceniche, è stato desunto dalla media pesata, dei relativi punteggi attribuiti dalla metodica ai diversi tipi di litoidi.

3.4 Tipo di copertura

Le informazioni relative a questo parametro sono state ricavate dalla Carta pedologica della Puglia (Regione Puglia, 2001) e da numerosi riscontri diretti.

E' risultato che, a grandi linee, le aree di affioramento dei calcari mesozoici e delle calcareniti infrapleistoceniche sono caratterizzate da una copertura sottile e discontinua talora completamente assente; fanno eccezione alcune limitate zone, in corrispondenza di doline, dove i suoli hanno spessori che superano il metro e sono argillosi.

Nelle aree di affioramento delle argille e dei depositi marini terrazzati, invece, i suoli sono profondi, con spessori superiori al metro, ed hanno tessitura variabile da limosa a sabbiosa; talora, in lembi isolati, si rinvengono suoli a tessitura più fine, franco-argillosa.

3.5 Acquifero e Conducibilità idraulica

Stante l'esigenza operativa di parametrizzare per ogni cella il grado di fessurazione e carsismo dell'ambiente carbonatico, si è cercato di ricavare informazioni analizzando gli effetti prodotti sulla falda dalle acque marine di intrusione continentale (Spizzico e Sciannamblo, 2003). Nello specifico si è analizzata la salinità media delle acque a fine periodo di massimo utilizzo della falda.

Come può notarsi dalla Fig. 2 l'andamento molto sinuoso delle isoaline visualizza il diverso grado di contaminazione delle acque di falda a parità di distanza dalla costa, diversità dipendente ovviamente dalla maggiore o minore comunicabilità dell'acquifero con il mare. In particolare, le maggiori situazioni critiche si riscontrano: 1) sul versante ionico, in una zona subcircolare, di ampiezza variabile attorno al Mar Piccolo, con un prolungamento verso S in una stretta fascia orientata NW-SE, parallelamente ad alcuni principali lineamenti tettonici; 2) sul versante adriatico in una fascia grosso modo parallela alla linea di costa e di ampiezza compresa tra i 4 e 10 km.

Sulla base di tali riscontri si è potuto operare con discrezionalità, prendendo a riferimento l'evoluzione della isoalina 2,0 g/l nelle condizioni di massima criticità, sul grado di fessurazione e carsismo dell'acquifero in ogni E.F.Q. e attribuirne il relativo punteggio.

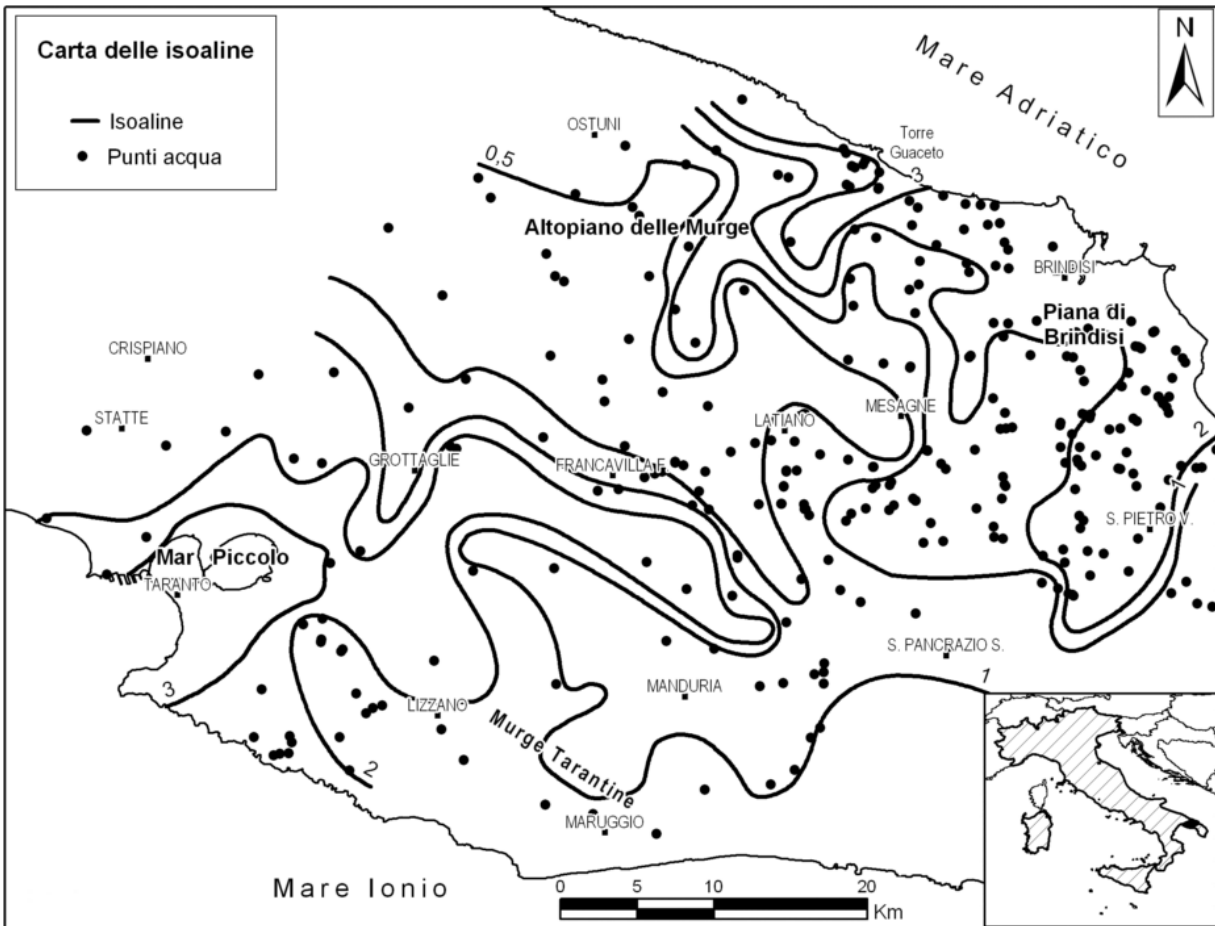


Figura 2 – Mappa della salinità.
Salinity map.

Alla definizione della conducibilità idraulica nell'area si è pervenuti determinando le "portate specifiche relative" desunte da numerose prove di emungimento effettuate su oltre 200 pozzi tutti riconosciuti e classificati del tipo "incompleto" e pertanto utilizzando nella elaborazione dei dati le espressioni di Babouchkine-Guirinsky (Castany, 1963).

E' risultato che la conducibilità idraulica nella zona varia tra un minimo di $1 \cdot 10^{-6}$ m/s e un massimo di $8 \cdot 10^{-2}$ m/s e che aumenta avvicinandosi alle due linee di costa, come era del resto prevedibile, dato il restringersi dello spessore della falda; l'eccezione è data dalla fascia costiera a S di Taranto, dove una faglia, mettendo a diretto contatto l'acquifero con le argille, frena il deflusso delle acque sotterranee verso mare. Emerge inoltre che il massimo delle conducibilità coincide nelle zone maggiormente interessate dalla vascolarizzazione carsica.

3.6 Superficie topografica

Le informazioni relative a questo parametro sono state ottenute utilizzando un DEM (Digital Elevation Model) disponibile per la zona con risoluzione di 100 m ed

opportunitamente ricampionato per ottenere il valore della pendenza media di ogni singola cella. Sono state così individuate le diverse classi di pendenza a cui sono stati assegnati i relativi punteggi (tab.1).

3.7 Stringhe di pesi

Nell'area studiata l'uso del territorio è così ripartito: 10% di insediamenti urbani, industriali e turistici; 45% di suolo agrario, per lo più sottoposto a pratiche di agricoltura intensiva; 45% tra suolo incolto e suolo utilizzato a colture arboree (in prevalenza oliveti). Negli ultimi anni le attività produttive si sono maggiormente diversificate e incrementate, soprattutto attorno alle città di Brindisi e Taranto, tanto che l'area in oggetto viene potenzialmente considerata di estrema importanza per lo sviluppo socio-economico del territorio salentino. In virtù delle considerazioni fin qui esposte nell'area studiata si sono riconosciute cinque particolari condizioni territoriali; ciascuna di tali condizioni è stata formalizzata da una stringa di pesi, elaborati in modo da esaltare alcuni dei parametri indagati rispetto ad altri. Per uniformare la modificata metodica ai dettami di quella originale sono stati

rispettati la sommatoria totale "ventisei" e il valore massimo "cinque" per il singolo moltiplicatore (tab. 2).

Tabella 2 - Stringhe di pesi moltiplicatori adottate per l'applicazione del modello.

Weights strings for adopted model.

	S	I	N	T	A	C	S
I. normale	5	4	5	3	3	3	3
I. rilevante	5	5	4	5	3	2	2
Carsismo	2	5	1	3	5	5	5
Fessurato	3	3	3	4	4	5	4
Costiero	1	5	2	5	5	5	3

Delle cinque stringhe di pesi (fig. 3), le prime due, impatto "normale" e "rilevante", sono state applicate ove si sono riconosciuti scenari di antropizzazione, distinguendo con la seconda quelle aree caratterizzate dalla presenza di poli industriali e interessate da un'agricoltura intensiva.

La stringa "fessurato" è stata applicata principalmente in quelle zone prive di suolo e dove il calcare è affiorante e non carsificato o con carsismo sviluppato solo in superficie.

Nelle zone estesamente carsificate, sia in superficie che in profondità, e in quelle caratterizzate da situazioni "holokarst" (pozzi carsici, inghiottitoi), è stata adottata la stringa "carsismo".

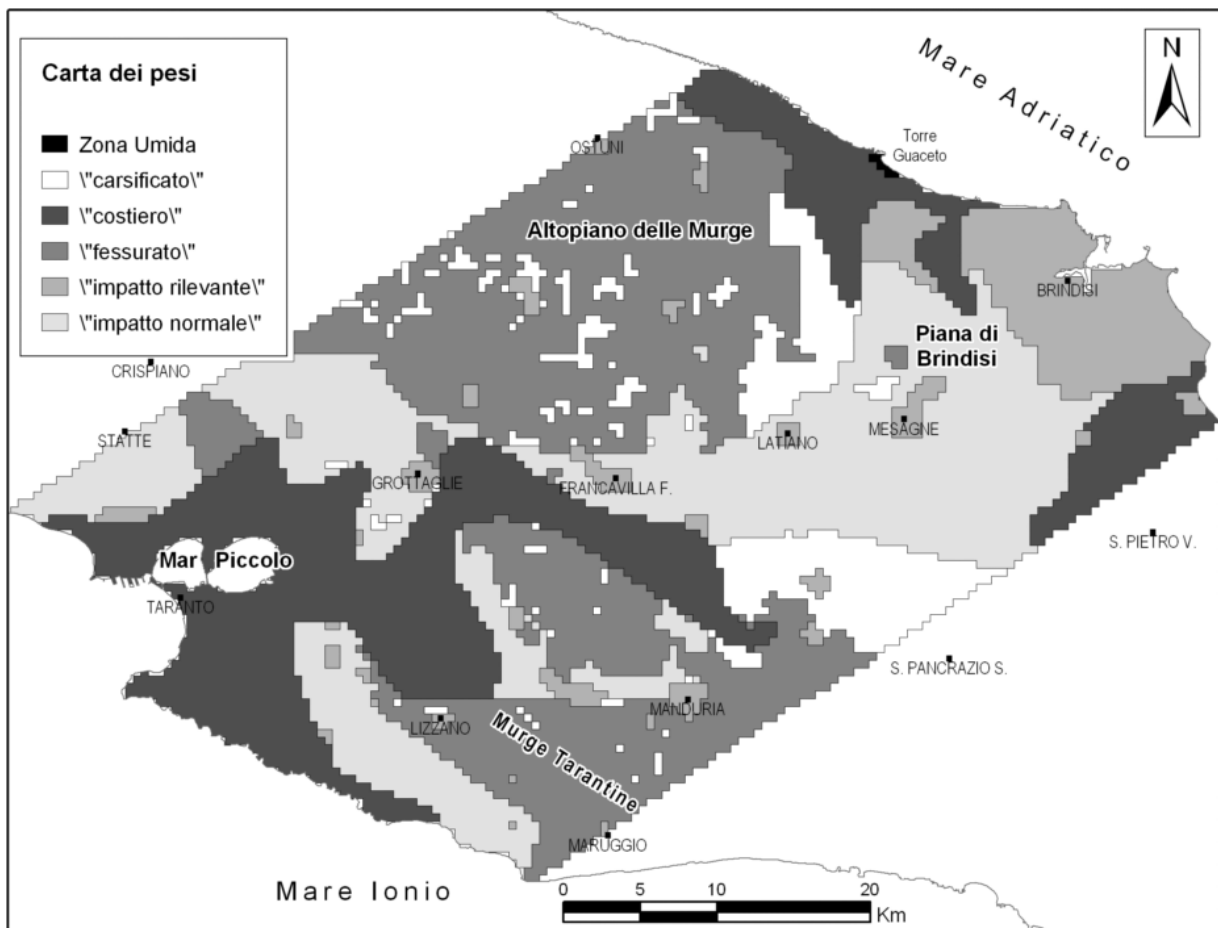


Figura 3 – Carta dei pesi.

Weights map.

La quinta stringa di pesi corrisponde al "costiero", ed è stata elaborata per quelle celle interessate da acque sotterranee con un residuo salino maggiore di 2 g/l al fine di evidenziare la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero all'intrusione marina. Con tale stringa si è data la massima enfasi all'infiltrazione efficace, quindi all'azione di ricarica, alle caratteristiche dell'acquifero ed alla sua permeabilità, per esaltare l'importanza della comunicabilità col mare. Appena minore è stata l'enfasi attribuita alle azioni, di prima barriera, della tipologia del suolo e della pendenza

stante la notevole influenza di questi due parametri combinati sulla capacità di ingestione del sistema; si è considerata poi poco influente l'azione di mitigazione combinata soggiacenza-non saturo.

Nelle celle in cui concorreva l'applicabilità di più stringhe di pesi si è applicata quella che prevedeva un impatto relativamente più severo o comunque una situazione idrogeologica più aderente alla realtà.

Terminata la fase analitica di assegnazione dei punteggi e delle stringhe di pesi per ciascuna cella, si è effettuato il

calcolo dell'indice di vulnerabilità intrinseca. Successivamente, l'indice grezzo è stato normalizzato per semplicità di lettura, ottenendo come risultato finale una mappa della vulnerabilità per il sito studiato (fig. 4).

4. Risultati

Lo studio svolto ha contribuito a definire la valutazione della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento anche in un'area particolare come quella del Salento settentrionale. Sono stati riscontrati, ad eccezione della zona umida ove si ha l'emergenza della falda e, pertanto, non è stato applicato il modello, cinque gradi di vulnerabilità dell'acquifero: da "basso" ad "estremamente elevato".

Un grado di vulnerabilità "medio-basso" si riscontra attorno a Brindisi, nella parte della Piana brindisina compresa tra Francavilla F. e Mesagne, a NE e a S di

Taranto. Tale condizione, indipendentemente dall'impatto che caratterizza ciascuna singola area, è certamente conseguenza della situazione geologico-stratigrafica e principalmente della protezione esercitata dal banco di argilla, localmente molto potente, superimposto alla falda profonda. Un grado di vulnerabilità "medio-basso" si riscontra anche, a luoghi isolati, sull'altopiano murgiano in corrispondenza delle doline il cui fondo è colmato da materiali residui (terre rosse).

Il grado di vulnerabilità "alto", il più diffuso nell'area indagata, si raggiunge nelle zone murgiane, nelle aree pianeggianti ove il banco argilloso è discontinuo o assente e dove, a parità di altre condizioni, diventa più accentuato il fenomeno dell'intrusione marina, come nel caso della fascia costiera che si sviluppa attorno al Mar Piccolo e si prolunga nell'entroterra nelle direzioni SE ed E.

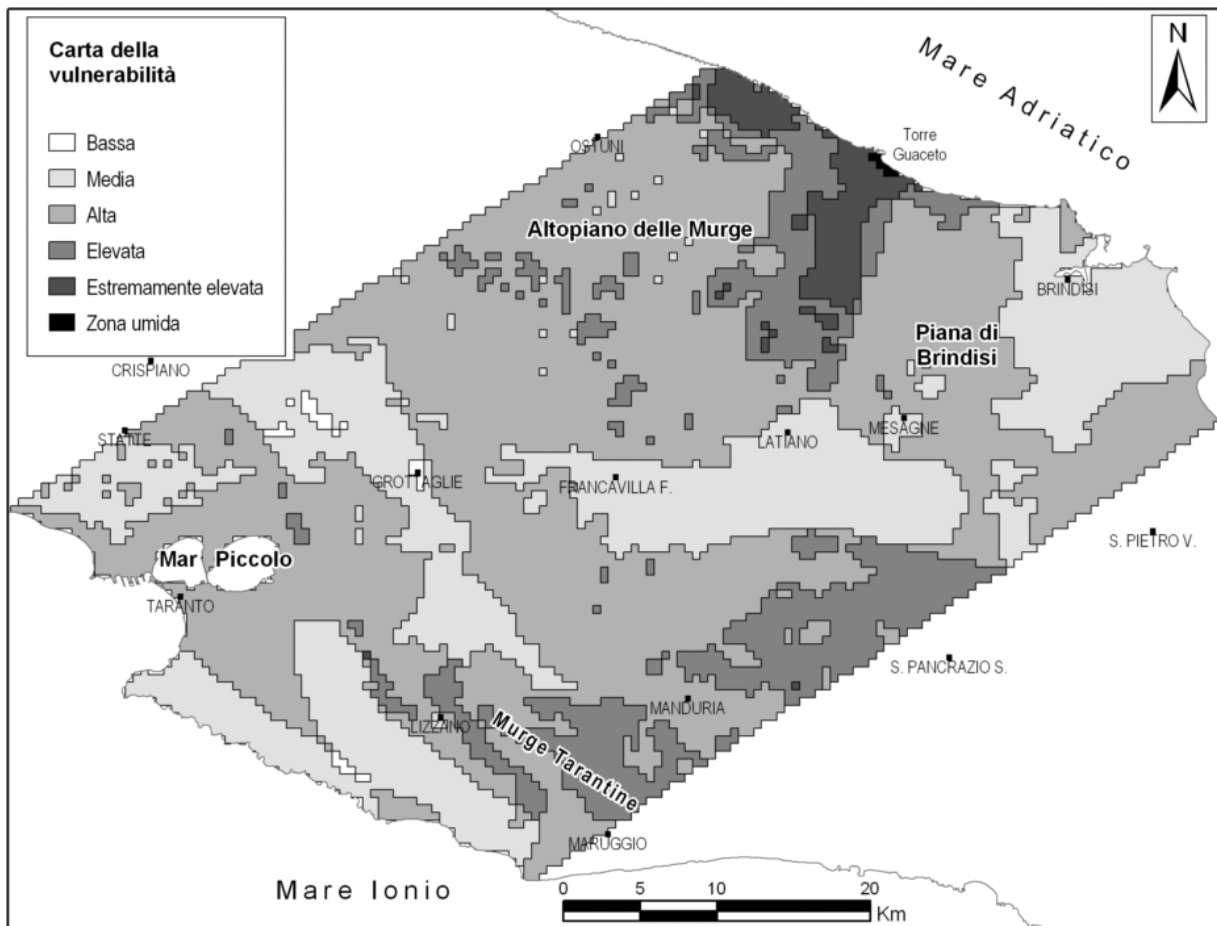


Figura 4 – Mappa della vulnerabilità.
Vulnerability map.

Le aree a vulnerabilità "estremamente elevata" ed "elevata" si riscontrano sia lungo la fascia costiera adriatica a NW di Brindisi, connesse alla presenza di un'elevata conducibilità idraulica e di una bassa soggiacenza e protezione superficiale dell'acquifero, sia nella parte

centromeridionale dell'area esaminata, dove la vulnerabilità all'inquinamento marino si manifesta anche a diversi chilometri dalle due linee costa. Un grado di vulnerabilità "estremamente elevato" ed "elevato" si riscontra anche nelle zone di comunicazione diretta tra la superficie e la falda

profonda, ossia attorno agli inghiottitoi carsici delle aree murgiane.

I risultati del presente lavoro rappresentano un valido strumento di riferimento per sviluppi futuri. Infatti l'integrazione in un G.I.S. dei dati adoperati dal modello permette un costante aggiornamento ed un continuo miglioramento della mappa della vulnerabilità, che può rappresentare, per un'area così particolare, un valido

strumento di supporto per tutti coloro che operano nel campo della pianificazione territoriale e della gestione della risorsa.

5. Ringraziamenti

La presente ricerca è stata svolta con il contributo del Progetto 10 del Cluster 11/b Ambiente terrestre.

Bibliografia

- Castany G., 1963. *Tratté pratique des eaux souterraines*. Ed. Dunod, Paris.
- Ciaranfi N., Ghisetti F., Guida M., Iaccarino G., Lambiase S., Pieri P., Rapisardi L., Ricchetti G., Torre M., Tortorici L. & Vezzani L., 1983. *Carta Neotettonica dell'Italia Meridionale*. C.N.R., Prog. Finaliz. Geodin., Pubbl. 515, pp. 62, Bari.
- Ciaranfi N., Pieri P. & Ricchetti G., 1992. *Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centromeridionale)*. Mem. Soc. Geol. It., 41:449-460, Roma.
- Civita M. & De Maio M., 1997. *SINTACS - Un sistema parametrico per la valutazione e la cartografia della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: metodologia e automatizzazione*. Pitagora Ed., Bologna.
- Cotecchia V., 1977. *Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)*. Quad. Ist. di Ricerca sulle Acque, 20.
- Grassi D. & Tadolini T., 1985. *Hydrogeology of the mesozoic carbonate platform of Apulia (South Italy) and the reasons for its different aspects*. International Symposium on karst water resources, 293-306, Ankara, Turchia.
- Gualdi V. & Tadolini T., 1990. *Studio interdisciplinare per l'istituzione di un'area protetta nella zona di Torre Guaceto in territorio di Carovigno (BR) e Brindisi*. Atti Convezione Regione Puglia - Università degli Studi di Bari, 60-75, Bari.
- Pagliarulo R. & Bruno G., 1990. *Implicazioni tettonico strutturali nella circolazione idrica profonda nell'area del Mar Piccolo di Taranto (Puglia)*. Boll. Soc. Geol. It., 109, 307-312, Roma.
- Regione Puglia, 1994. *Piano regionale di risanamento delle acque*.
- Regione Puglia, 2001. *Sistema informativo dei suoli della Regione Puglia, in scala 1:50000: Carta pedologica. Progetti ACLA I, ACLA II e INTERREG II Italia-Albania*.
- Sciannamblo D., Spizzico M., Tadolini T. & Tinelli R., 1992. *Lineamenti idrogeologici della zona umida di Torre Guaceto (Br)*. *Geologica Romana*, 30, 754-760.
- Spizzico M., Lopez N. & Sciannamblo D., 2003. *Anthropic impact on deep karst aquifer within Torre Guaceto area (Brindisi - Italy)*. *RMZ-M&G*, 50, 357-360, Ljubljana, Slovenia.
- Spizzico M. & Sciannamblo D., 2003. *On 226Ra and 222Rn concentrations in the brackish water of coastal aquifers: lab-investigations and confirmation in the carbonate aquifer of Brindisi (Italy)*. *Proceedings of 1st ICGGE*, Bled, Slovenia.
- Spizzico M., Lopez N., Sciannamblo D., 2004. *Applicazione del modello parametrico SINTACS all'acquifero costiero pugliese*. *Atti XXIX Conv. Idr. e Costr. Idr.*, 2, 641-649, Trento.
- Tadolini T., Spizzico M. & Sciannamblo D., 1994. *Time course of radon concentration in the coastal belt North-East of S. Vito dei Normanni (Brindisi, ITALY)*. *13^o Salt-Water Intrusion Meeting*, 155-162, Cagliari.
- Zeza F., 1978. *Lithological properties and geological conditions of carbonatic platform deposits related to karstic groundwater circulation in Southern Italy*. *Geol. Appl. ed Idrogeol.*, 13: 393-416, Bari.