

ANTONIO CIMINO¹, CLAUDIO ARTINO², SANTINO ORECCHIO³

¹ Dipartimento di Fisica e Tecnologie Relative, Università di Palermo,
viale delle Scienze, Edificio 18 - 90128 Palermo

² Libero professionista, collaboratore esterno

³ Dipartimento di Chimica Inorganica ed Analitica, Università di Palermo,
viale delle Scienze, Edificio 17- 90128 Palermo

**GLI ACQUIFERI COSTIERI DEL SETTORE
BONAGIA-CORNINO NEL TRAPANESE:
PRIME ANALISI DEI PROCESSI DI CONTAMINAZIONE
IN RELAZIONE CON LA VULNERABILITÀ SINTACS**

SUMMARY

A large part of water destined to potable needs is usually satisfied by groundwater; consequently, in the last years, the researches aimed to assess the vulnerability of aquifers are increased, with the first goal to protect these appreciated resources. So, the investigation of possible pollution sources, mainly derived by human activities, becomes significant. The problem often involves the coastal areas, which are more and more populated, as in the case of the Bonagia - Cornino locality (N-W Sicily).

Here water resources receive important supplies by the fractured and karst units surrounding the plain. These formations constitute a pathway of sea encroachment too.

The study, articulated in the usual, preliminary geological and hydrogeological phases, has led to a cartography of aquifer vulnerability to pollution as well as of the base quality of groundwater. Maps of *transit* parameters, relevant to SINTACS method of vulnerability evaluation, have also been realized, together with a group of binary diagrams and contouring maps relevant to the principal chemical constituents of groundwater.

The aquifer contamination processes in the investigated area, in this paper described, depend upon natural as well as artificial phenomena, which have deeply altered the water quality. Finally, this note hints at the correlation procedures between vulnerability of the area and quality of groundwater, proposing their survey by means of statistical procedures: aim could be also the enhancement of the systems currently experimented for the estimation of the intrinsic vulnerability to pollution.

INTRODUZIONE

La conoscenza dei dati idrogeologici, fino agli anni '80, era quasi esclusivamente finalizzata allo sfruttamento delle risorse idriche per soddisfare i bisogni dell'uomo, trascurando gli aspetti legati all'esaurimento e/o alla contaminazione delle stesse. Negli ultimi anni, l'utilizzazione delle informazioni idrogeologiche ha subito una diversificazione, venendo opportunamente indirizzata pure alla gestione delle risorse stesse, nell'ottica dello sviluppo durevole.

Le Risorse Idriche Sotterranee (R.I.S.) sono sovente interessate da fenomeni naturali che possono renderle inutilizzabili per uso potabile e, se consumate, produrrebbero gravi rischi - oltre che economici - per la stessa salute dei consumatori. A volte la qualità delle acque naturali è talmente degradata, come nel caso della presenza di elevate concentrazioni saline, che queste non possono neppure essere adoperate per un uso irriguo. Inoltre, gli eventi antropici generalmente costituiscono una seria minaccia per la qualità delle R.I.S.

Un esempio è dato dall'impiego di ingenti quantitativi di prodotti chimici in agricoltura i quali riescono a penetrare nel sottosuolo, veicolati dalle acque meteoriche e di dilavamento, fino a raggiungere e a contaminare le falde. Se a tutto ciò si aggiunge la contaminazione proveniente dagli scarichi civili, urbani e industriali, sempre più diffusi nel territorio a seguito del decentramento produttivo, si comprende l'importanza di redigere delle carte che permettano non soltanto di ottenere importanti informazioni sulla qualità e, quindi, sulle possibilità di utilizzo delle risorse idriche sotterranee in una certa area, ma di verificare le condizioni di effettiva contaminazione in rapporto sia alla vulnerabilità intrinseca degli acquiferi presenti, sia alla diffusione dei centri di pericolo di potenziale inquinamento.

Sotto questi punti di vista si mostra di particolare interesse il settore costiero compreso fra Bonagia e Cornino (Trapani) dove i pochi studi precedenti (GIANNOTTI *et al.*, 1972; CUSIMANO *et al.*, 2002; PRATELLI and AIELLO, 2002) mettono in evidenza come il controllo della qualità delle R.I.S., in particolare nell'ottica dello sviluppo sostenibile, sia stato negli anni notevolmente trascurato. Lo studio geochimico delle acque sotterranee e la conseguente redazione di una carta di qualità di base si aggiunge al quadro delle conoscenze sul rischio idrogeologico d'inquinamento in quest'area, per la quale è stata inoltre elaborata la carta di vulnerabilità all'inquinamento SINTACS (SIMONE, 2004).

La caratterizzazione dell'area, che comprende la fascia costiera ricadente nel territorio del comune di Valderice ed in parte in quello di Custonaci, ai piedi del monte Erice, si è articolata in diverse fasi, che hanno preliminarmente condotto ad un approfondimento delle conoscenze geologiche e idrogeologiche di base, essenziali per la redazione degli elaborati geochimici.

L'AREA INVESTIGATA E I METODI IMPIEGATI

Inquadramento del sito in studio

La piana oggetto dello studio (Fig. 1) s'identifica nella parte settentrionale della tavoletta "ERICE", foglio n. 248 III SE della carta topografica d'Italia I.G.M. in scala 1:25.000. Si tratta di un'ampia fascia costiera che si estende nel territorio del comune di Valderice e per una piccola porzione nel comune di Custonaci, a pochi Km da Trapani. Tale area, per larga parte invasa da abitazioni di tipo turistico, comprende gli abitati di *Bonagia*, *S. Andrea Bonagia*, *S. Andrea Bassa* e *Lido Valderice*, tutte frazioni del comune di Valderice, ma include anche diverse aree industriali, come *Cortigliolo* e *C.da Sciare*.

L'area è delimitata a N dal Mar Tirreno, ad W dal massiccio del Monte Erice, a S dall'abitato di Valderice e ad E dall'abitato di Custonaci. Il confine tra i due citati comuni è rappresentato dal Rio Forgia, il maggior corso d'acqua della zona, che ha carattere torrentizio. Questo presenta una lunghezza massima di circa 5 Km ed è alimentato da un bacino idrografico (*C.da Cofanello*) posto ad una quota media di 150 m s.l.m.

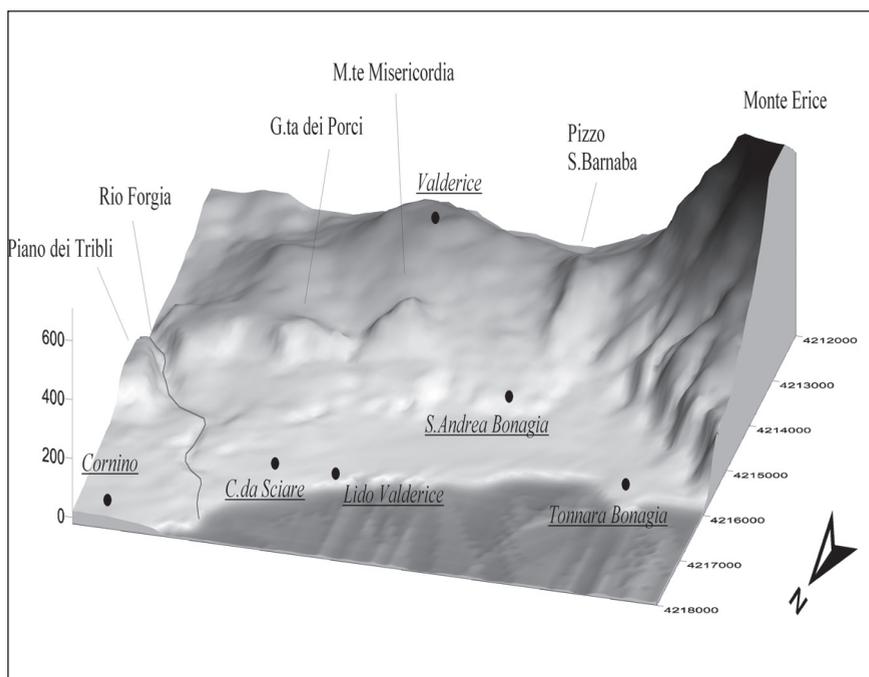


Fig. 1 - Schema tridimensionale del litorale costiero tra Bonagia e Cornino, nei comuni di Valderice e Custonaci, a pochi Km da Trapani. Vengono qui mostrati i principali rilievi che caratterizzano l'area, insieme al principale corso d'acqua ed ai più importanti centri abitati.

Le risorse idriche sotterranee nel Trapanese

Il settore costiero fra Bonagia e Cornino è ricco di acquiferi facilmente sfruttabili dall'uomo, così come dimostrano i numerosi pozzi di captazione, sparsi lungo tutta la fascia costiera. A questi punti d'acqua ormai da decenni si attinge sconsideratamente, per gli usi domestici, agricoli e industriali. In particolare, nella fascia pianeggiante comprendente le località di Lido Valderice, Bonagia e Contrada Sciare, le caratteristiche di permeabilità degli acquiferi, dipendenti dalla porosità e/o dalla fratturazione e dal carsismo delle unità presenti, unitamente ai loro rapporti con i rilievi circostanti, consentono la formazione di consistenti falde (Fig. 2).

L'assetto idro-strutturale è piuttosto articolato, a causa della presenza di litotipi diversi, quali ad esempio rocce carbonatiche e formazioni sabbiose ed argillose, le quali hanno reagito in maniera differente agli stress che hanno interessato l'area (CATALANO *et al.*, 2002). Alcune unità si sono opposte a tali sforzi tettonici duttilmente, altre in maniera rigida (ABATE *et al.*, 1990; 1993). Sono proprio queste ultime reazioni che influenzano notevolmente l'idrogeologia dei terreni, sia per

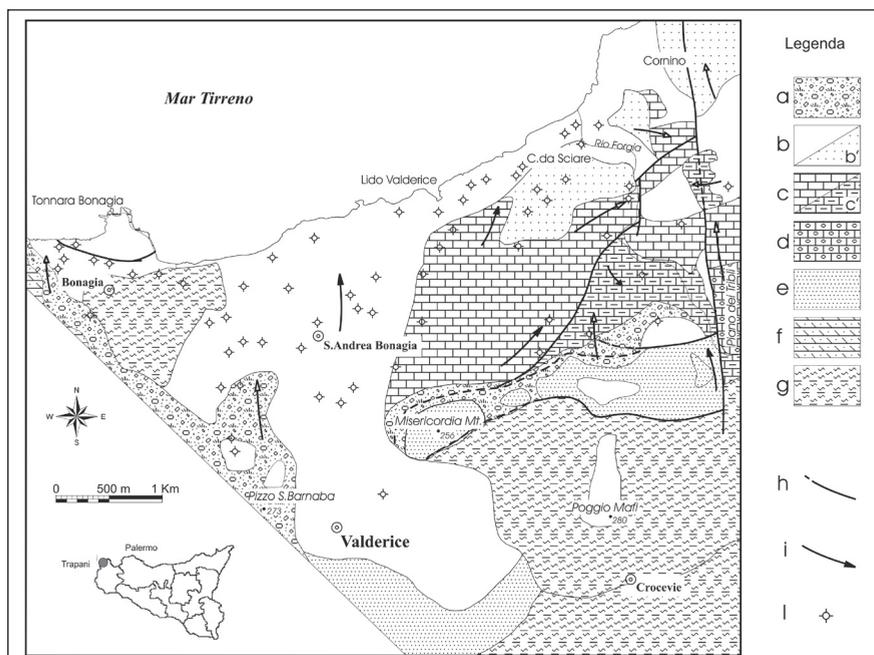


Fig. 2 - Schema idrogeologico del settore costiero tra Bonagia e Cornino (TP). a, b: permeabilità per porosità; detriti di falda (a), calcareniti bioclastiche (b) passanti a calcareniti eoliche (b') del Pliocene-Quaternario. c, d, e, f: permeabilità per fratturazione e/o carsismo; calcilutiti (c) con a luoghi livelli di lave basaltiche a pillow (c') e calciruditi (d), del Mesozoico; megabrecce calcaree intercalate nella "scaglia rossa" (e) dell'Eocene-Cretaceo, dolomie e calcari dolomitici (f) del Mesozoico. g: scarsissima permeabilità; argille sabbiose e marne del Tortoniano. h: principali lineamenti tettonici di importanza idrogeologica; i: principali direzioni di scorrimento delle acque sotterranee; l: pozzi di captazione.

la presenza di fratturazioni, che rappresentano vie preferenziali per l'infiltrazione delle acque, sia per la conseguente giacitura dei terreni permeabili, quali i calcari, su terreni impermeabili come le argille, le quali rappresentano in buona parte dell'area il letto delle falde idriche.

Campionamento, analisi ed elaborazione dei dati

Lo studio idrogeochimico dell'area è iniziato con le consuete fasi di censimento dei punti d'acqua, cui ha fatto seguito il campionamento, unitamente alla simultanea misurazione *in loco* del livello freatico e dei parametri chimico-fisici quali il pH, la conducibilità elettrica e la temperatura.

I campioni d'acqua raccolti, opportunamente conservati a 4 C°, sono stati condotti in laboratorio entro le 24 ore successive, per evitare che potessero intervenire variazioni chimico-fisiche e biologiche che potessero alterare i risultati delle analisi di laboratorio. Le analisi chimiche sono state quindi effettuate presso i laboratori dell'azienda A.M.A.P. di Palermo, con la determinazione delle concentrazioni dei principali costituenti delle acque sotterranee.

Il punti d'acqua oggetto del campionamento sono stati georeferenziati attraverso l'uso di opportuni programmi GIS, con l'ausilio preliminare di un supporto cartografico a scala 1:10.000, ottenendone così l'inserimento nella cartografia di rischio idrogeologico d'inquinamento dell'area Bonagia-Cornino. L'elaborazione della mappa di qualità è stata, infatti, eseguita con le stesse procedure informatizzate adoperate per la carta di vulnerabilità intrinseca SINTACS cui s'è accennato, procedure che fanno continuo e stretto riferimento a programmi CAD, di contouring e di discretizzazione del territorio in esame.

VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE: RISULTATI

La rappresentazione grafica della composizione chimica dei campioni prelevati nell'area di Bonagia-Cornino, tramite la costruzione di un diagramma di LANGELIER-LUDWIG (1942) (Fig. 3), ha consentito di discriminare tre principali tipologie di acque: acque bicarbonato-alcalino-terrose, acque clorurato-solfato-alcaline e acque clorurato-solfato-alcalino-terrose.

Il diagramma di SCHOELLER (1962) (Fig. 4) permette, invece, una visione simultanea della concentrazione di ogni specie ionica considerata per ciascun pozzo campionato, mostrando come sia possibile fare una leggera distinzione fra due principali tipologie di acque, relative ai punti ricadenti, rispettivamente, nell'area Bonagia - S. Andrea e nella zona industriale di Contrada Sciare.

La qualità delle acque sotterranee è - come si sa - determinata fondamentalmente dalla loro composizione chimica e biologica, oltre che dalle sostanze in

sospensione e dalla temperatura. Viene, a questo proposito, rammentata una corretta definizione proposta da CELICO (1988), secondo la quale per inquinamento delle acque sotterranee s'intende *il fenomeno di contaminazione che interessa i corpi idrici per la presenza naturale o per l'immissione di sostanze chimiche oltre determinati limiti.*

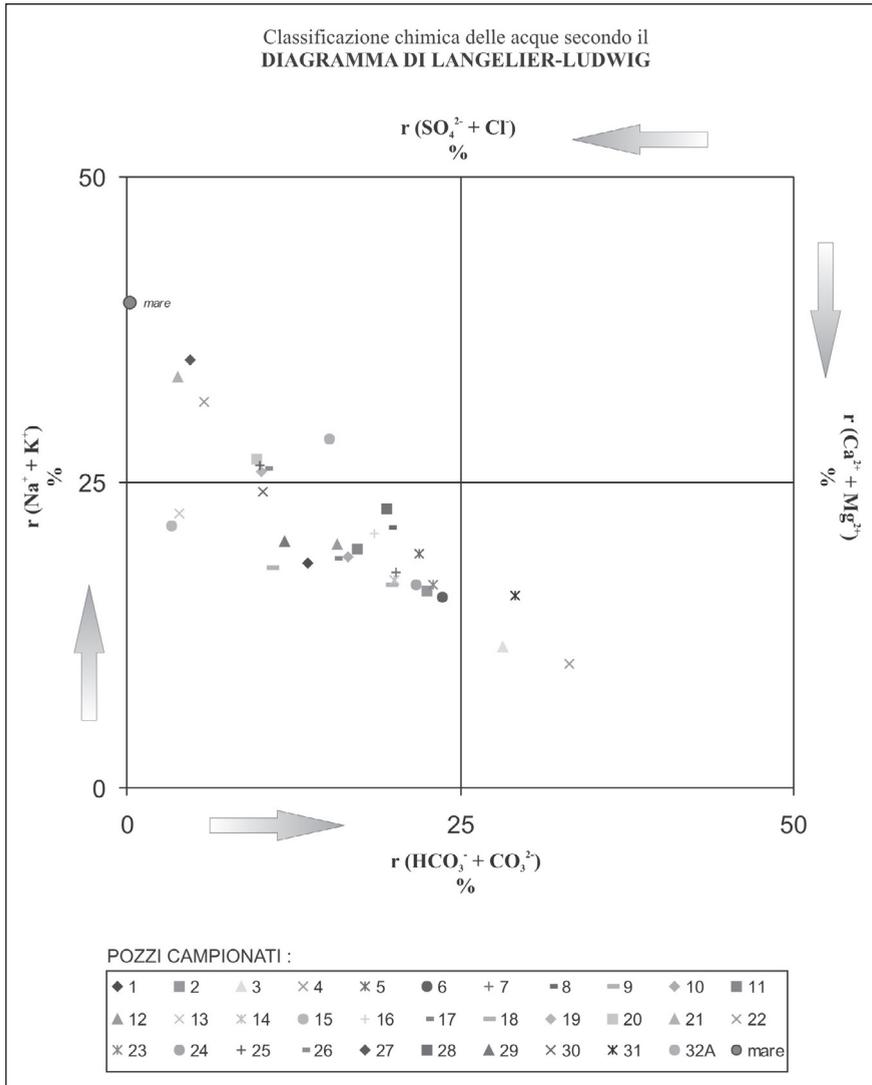


Fig. 3 - Diagramma di LANGELIER-LUDWIG (1942), mostrandone la classificazione chimica delle acque sotterranee del settore costiero Bonagia - Cornino; il trend seguito dai punti mostra un progressivo avvicinamento alla composizione dell'acqua di mare.

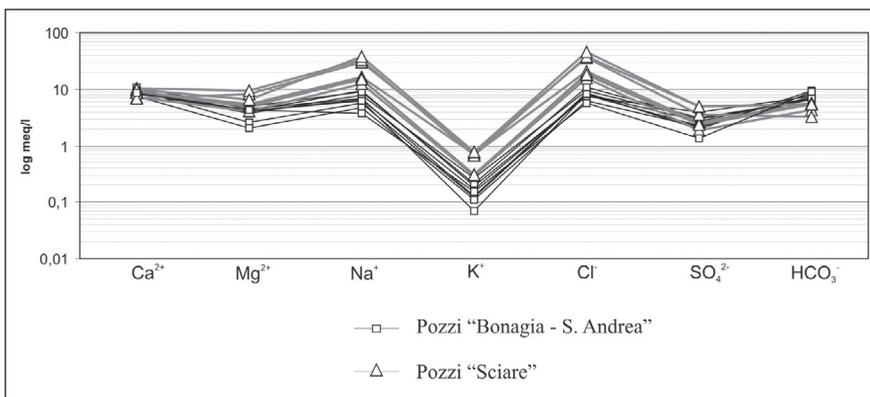


Fig. 4 - Diagramma di SCHOELLER (1962), riportante i pozzi più significativi dell'area in studio. Dall'esame delle concentrazioni di ogni specie ionica per ciascun pozzo campionato è possibile distinguere, nell'area, due principali tipologie di acque, relative ai punti ricadenti rispettivamente nell'area Bonagia - S. Andrea e nella zona industriale di Contrada Sciare.

È importante ricordare, inoltre, che nelle aree costiere, tra le molteplici cause d'inquinamento, vi è anche la possibilità d'intrusione marina, la quale altera sensibilmente il chimismo delle acque. Il fenomeno dell'ingressione marina è sostanzialmente un fenomeno naturale, che nella fascia costiera investigata coinvolge per lo più le aree più orientali, da Lido Valderice fino a Contrada Sciare (Fig. 5). Qui intervengono diversi fattori, come la presenza di formazioni carbonatiche notevolmente fratturate, nonché i continui e imprevedibili emungimenti dai pozzi che occupano tale area ad opera degli innumerevoli insediamenti turistici e industriali, questi ultimi adibiti alla lavorazione delle pietre ornamentali per l'edilizia comunemente definite *marmo*. Difatti, le misurazioni *in loco* dei livelli freatici, eseguite in due diversi periodi dell'anno per consentire un confronto tra fasi di differente ricarica degli acquiferi, hanno messo subito in evidenza un generale, significativo abbassamento dei livelli freatici in corrispondenza dei punti d'acqua ricadenti nelle aree più orientali della zona studiata.

Il chimismo delle acque è notevolmente influenzato anche da fenomeni naturali come lo scambio ionico (CIMINO *et al.*, 1987), secondo la nota reazione:



Gli effetti dell'intrusione marina portano, nelle acque sotterranee, ad un aumento dello ione sodio, spingendo di conseguenza la reazione verso lo scambio ionico con il calcio delle argille.

Alcuni punti d'acqua, campionati nei pressi dell'abitato di Bonagia, presentano un *deficit* nello ione sodio rispetto alla retta della composizione media del mare, come mostrato dal diagramma binario di Fig. 6.

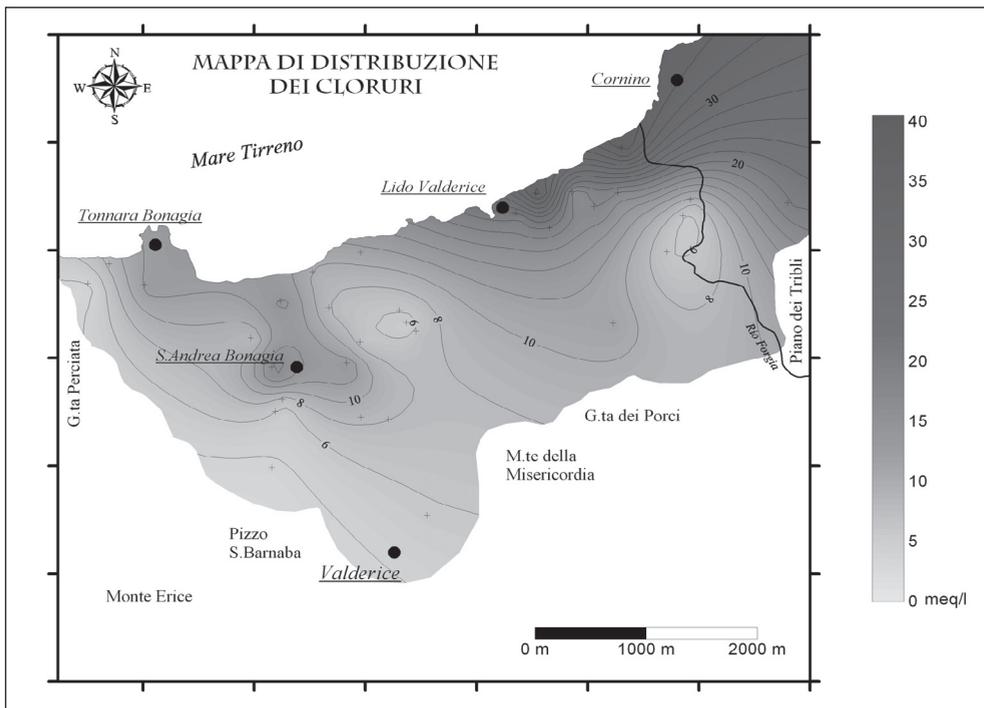


Fig. 5 - Mappa mostrante la distribuzione dello ione cloruro nel settore costiero fra Bonagia e Cornino. Le più alte concentrazioni dello ione si hanno nel settore più orientale della fascia costiera, da Lido Valderice fino a Contrada Sciare.

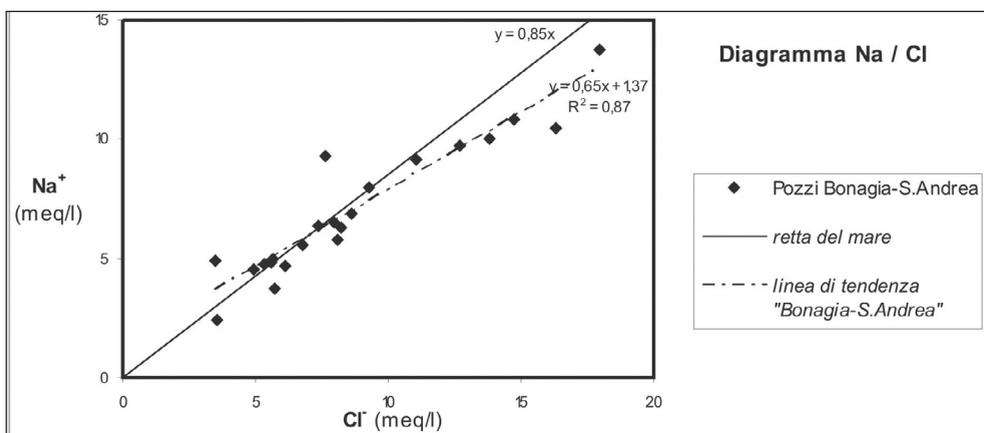


Fig. 6 - Diagramma binario Na-Cl con i soli pozzi ricadenti nell'area Bonagia - S. Andrea. Alcuni punti, campionati nei pressi dell'abitato di Bonagia, stanno al di sotto della retta del mare, evidenziando un deficit nello ione sodio rispetto a quest'ultima.

Nei fatti, tale mancanza è legata alla rimozione di questo catione attraverso il già menzionato processo di scambio ionico, specificatamente con le argille del Langhiano-Tortoniano che, proprio nella zona compresa fra gli abitati di Bonagia e S. Andrea Bonagia, costituiscono il substrato impermeabile su cui poggia l'acquifero carbonatico. La conferma viene dalle alte concentrazioni dello ione calcio nelle acque dei pozzi ricadenti nel settore occidentale Bonagia - S. Andrea dove, infatti, al calcio generato dalla dissoluzione dei carbonati va ad aggiungersi quella frazione fornita dallo scambio ionico con il substrato argilloso (Fig. 7).

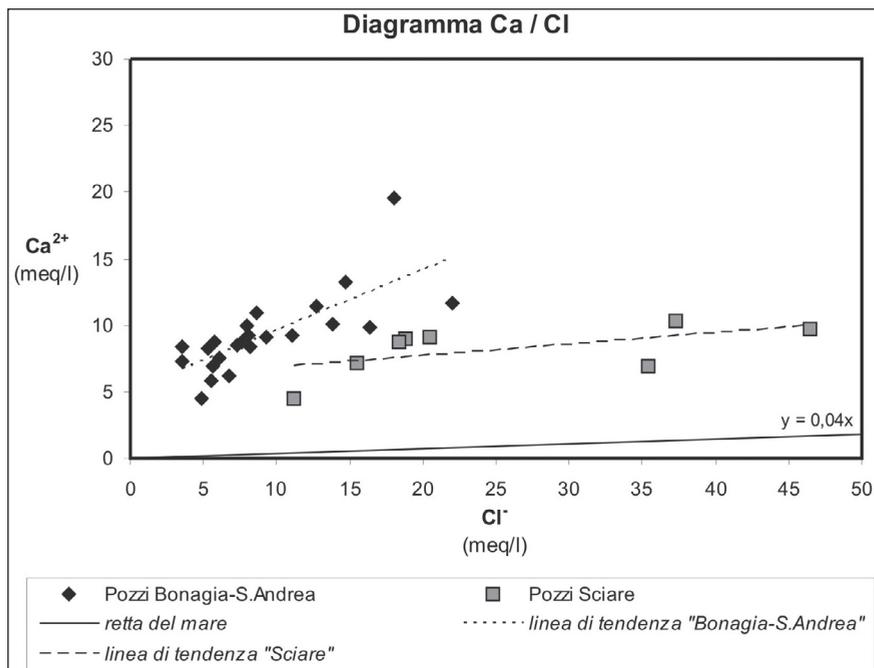


Fig. 7 - Diagramma binario Ca-Cl relativo ai pozzi ricadenti nel settore costiero Bonagia - Cornino. Le alte concentrazioni dello ione calcio nel settore Bonagia - S. Andrea sono da attribuire alla dissoluzione dei carbonati delle unità circostanti.

Inoltre, per discriminare il calcio prodotto dalla dissoluzione dei carbonati da quello proveniente invece da altri processi, come il già citato scambio ionico, si è prodotto il diagramma binario fra le specie ioniche calcio - bicarbonato (Fig. 8). Il grafico mostra che i campioni ricadenti nell'area di Contrada Sciare ed alcuni di quelli ricadenti nel settore Bonagia - S. Andrea si distribuiscono lungo due distinte *linee di tendenza*, con coefficienti di correlazione, in entrambi i casi, prossimi all'unità, segnalando una stretta dipendenza fra i due costituenti. Ciò evidenzia che il calcio presente è in gran parte originato dalla dissoluzione delle rocce carbonatiche dell'unità calcarea di Contrada Sciare, Bonagia e S. Andrea (vedasi ancora la Fig. 2). Dal *trend* appena esposto si discostano alcuni punti appartenenti al settore

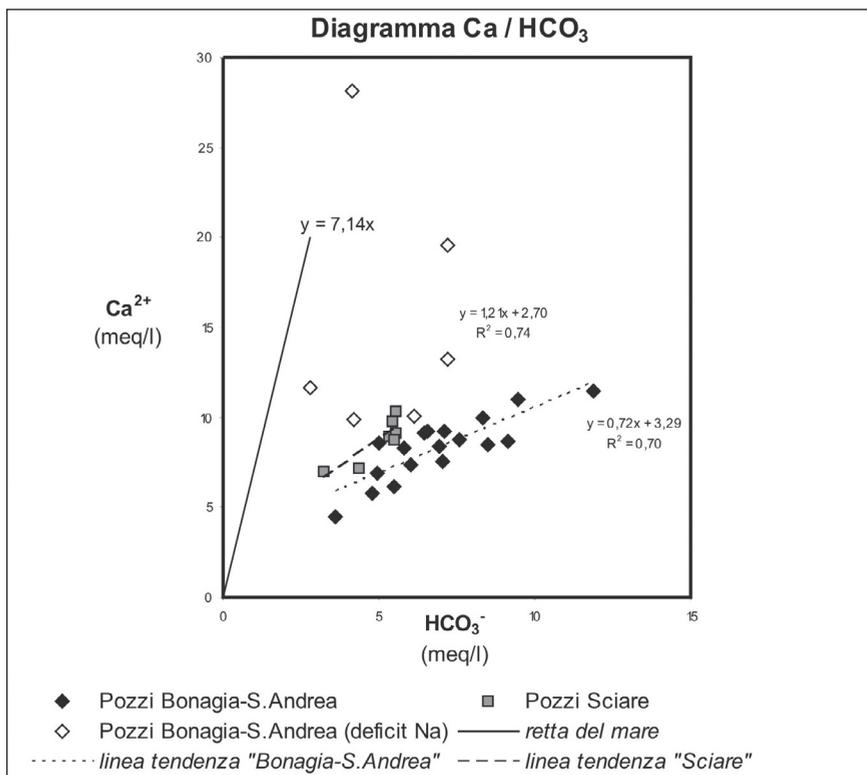


Fig. 8 - Diagramma binario Ca-HCO₃ riguardante i punti d'acqua ricadenti nel settore costiero Bonagia - Cornino. I punti ricadenti nei pressi di Bonagia hanno una più alta concentrazione dello ione calcio per effetto del processo di scambio ionico con le argille.

Bonagia - S. Andrea per i quali, come già detto, il maggior contenuto in calcio è dovuto allo scambio ionico con le argille.

PRIMO CONFRONTO TRA LE CARTOGRAFIE DI QUALITÀ E DI VULNERABILITÀ

In altre aree della Sicilia, come nel settore costiero del Palermitano, erano già state realizzate diverse carte sulla qualità di base delle acque sotterranee (ADORNI *et al.*, 1998), sulla base dell'allegato I del D.P.R. 24 maggio 1988, n. 236, G.U. 30 giugno 1988, n. 152 e, utilizzando lo schema proposto successivamente da CIVITA *et al.* (1993) (ANDOLINA *et al.*, 2001). V'è da aggiungere che lo schema è stato adottato per la classificazione e la mappatura della qualità di base delle acque sotterranee in numerosi altri casi, come ad esempio nella Pianura Padana e in quella Veneto-Friulana (GIULIANO *et al.*, 1997).

Tale classificazione raggruppa i vari parametri in tre classi qualitative (A, B e C). Per determinare gli intervalli di ogni classe si sono utilizzati le C.M.A. (Concentrazione Massima Ammissibile) ed i V.G. (Valori Guida) previsti dalla normativa per ciascun parametro considerato. Nel caso di parametri o di valori non descritti in maniera esplicativa dalla normativa, gli A.A. si sono affidati alla *norma* e sui *criteri di buona tecnica*. Tutti i parametri presi in esame vengono così suddivisi in due gruppi, distinguendo i parametri *chimico-fisici* del gruppo 1 (Durezza, Conducibilità, Solfati, Cloruri, Nitrati), da quelli del gruppo 2, concernenti *sostanze indesiderabili* (Ferro, Manganese, NH_4^+).

Anche nel presente studio si è utilizzato lo schema di classificazione proposto nei lavori sopra citati, riportando tuttavia i relativi adeguamenti secondo la normativa vigente (D.Lgs. 2 febbraio 2001, n. 31, G.U. 3 marzo 2001, n. 52) e successive modifiche (D.Lgs. 2 febbraio 2002, n. 27), ovvero riformulando gli intervalli di ogni classe attraverso le C.M.A. ed i V.G. per ciascun parametro considerato, previsti dal decreto.

Per i campioni d'acqua raccolti nel settore costiero fra Bonagia e Cornino è stata rilevata una qualità nettamente scadente, così come risulta dalla mappa della qualità di base delle R.I.S. e dal grafico a torta di Fig. 9.

Valutato il degrado degli acquiferi nelle aree esaminate ed elaborata la citata cartografia della qualità di base, viene qui proposta una correlazione, utile alla determinazione del rischio idrogeologico, con la vulnerabilità intrinseca all'inquinamento, già valutata in separata sede. Difatti, nello stesso territorio di Bonagia e Cornino è stato simultaneamente condotto uno studio sulla vulnerabilità intrinseca all'inquinamento, studio orientato alla valutazione a tutto territorio con l'intento di creare un potente strumento per la pianificazione e la protezione globale, allo stesso modo di come ne è stata trovata applicazione nei più svariati sistemi geologici e idrogeologici dell'isola (CIMINO and SIRAGUSA, 2006).

Mediante tale strumento è stata realizzata nel settore costiero Bonagia - Cornino la carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento mostrata in Fig. 10 (SIMONE, 2004), elaborata facendo riferimento all'ultima versione del sistema SINTACS (CIVITA and DE MAIO, 2000). Si riporta a tal proposito una delle definizioni più accreditate del concetto di vulnerabilità, che così viene espresso: *la vulnerabilità rappresenta la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e a diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idrovesicolato tale da produrre impatto sulla qualità delle acque sotterranee nello spazio e nel tempo* (CIVITA, 1987). Tale suscettibilità può evolvere dinamicamente e, seppur entro certi limiti, può variare in seguito a mutamenti ambientali che il più delle volte possono essere apportati dall'uomo, ad esempio con l'apertura di cave, il depauperamento delle falde, il disboscamento, ecc.

La nota rende evidente alcuni episodi di correlazione tra aree vulnerabili ed aree vulnerate (si vedano ancora rispettivamente le figg. 10 e 9), suggerendone lo studio attraverso procedimenti statistici tesi ad affinare lo stesso sistema di valutazione della vulnerabilità intrinseca qui applicato. Infatti, non sempre ad aree molto

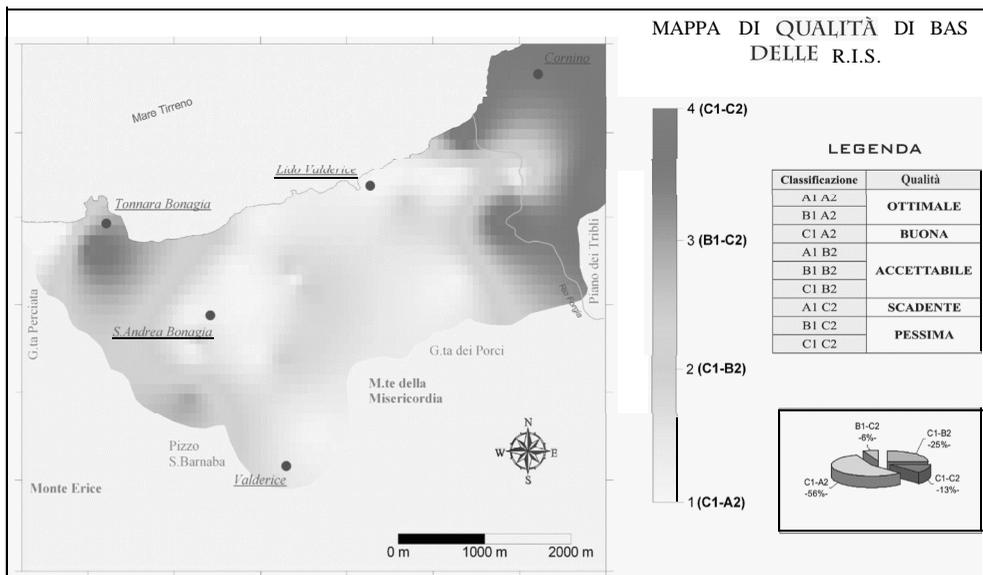


Fig. 9 Mappa e diagramma mostranti la distribuzione delle classi di qualità delle R.I.S. nel settore costiero fra Bonagia e Comino, secondo lo schema proposto da CIVITA *et al.* (1993) sulla base dei parametri esposti nel D.P.R. 236/88, modificato con i relativi adeguamenti secondo il testo vigente (D.Lgs. 31/2001). C1-A2, C1-B2: acque non potabili e con limitazioni per altri usi, da sottoporre a trattamenti specifici; B1-C2, C1-C2: acque non potabili e con limitazioni per altri usi, da sottoporre a trattamenti di ossidazione semplice o spinta.

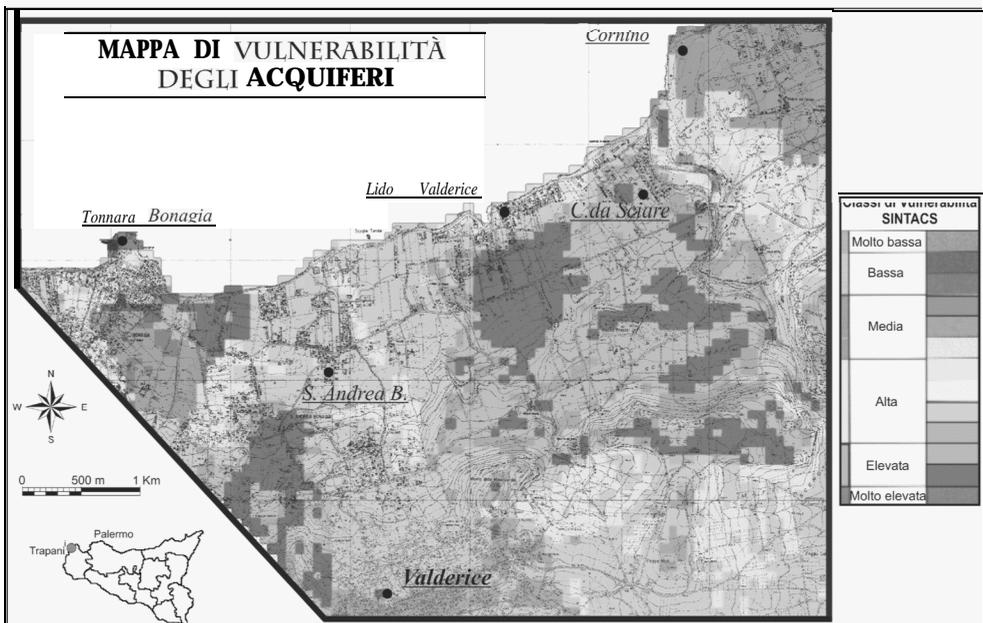


Fig. 10 Mappa di vulnerabilità intrinseca SINTACS all'inquinamento delle R.I.S. del settore costiero fra Bonagia e Comino (da SIMONE, 2004).

vulnerabili corrispondono aree altrettanto vulnerate, come accade, ad esempio, nel settore centro-orientale dell'area investigata, dove il procedimento SINTACS non tiene evidentemente conto degli episodi di contaminazione marina attraverso la linea di costa.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente lavoro ha interessato un'area in cui, fino ad oggi, la gestione delle R.I.S. è stata notevolmente trascurata. La concomitanza di fenomeni di contaminazione, naturali e relativi alle intense attività antropiche che insistono nel territorio, ha alterato la qualità delle acque sotterranee, in particolare nella porzione più orientale, dove insistono numerose abitazioni stagionali e diverse industrie adibite alla lavorazione di materiali per il rivestimento edilizio. L'uomo, sia con il moltiplicarsi di manufatti industriali e civili, sia con l'uso intensivo di concimi chimici, diserbanti e fitofarmaci per l'agricoltura, grava pesantemente sulla "salute" delle risorse idriche sotterranee. Infatti, anche se nell'area di Bonagia - Cornino sono presenti, come si può vedere dalla cartografia prodotta, tutte le classi di vulnerabilità intrinseca all'inquinamento, gran parte del territorio è classificata come molto vulnerabile. In particolare, le aree che presentano vulnerabilità *bassa e molto bassa* rappresentano soltanto il 10% del territorio e sono localizzate nella parte occidentale, in corrispondenza degli affioramenti argillosi di Bonagia. Il 28% del territorio mostra una vulnerabilità *alta* e, precisamente, nei terreni posizionati lungo il Rio Forgia e presso il litorale costiero. La maggior parte dell'area in esame (circa il 55%), presso gli abitati di Valderice e Bonagia e lungo la fascia costiera, ricade infine nella classe di vulnerabilità *elevata*, in corrispondenza degli affioramenti delle calcilutiti fratturate e delle megabrecce carbonatiche.

La distribuzione dei gradi di vulnerabilità appare in parte ben correlata con le classi di qualità sopra definite. Il confronto, in questa fase della ricerca esclusivamente qualitativo, è solo in parte positivo, contraddistinto cioè da elevata correlazione e, quindi, da una effettiva coerenza tra la vulnerabilità degli acquiferi e l'effettiva vulnerazione delle R.I.S. Una ragione può essere certamente ricercata nella reale presenza - nei corrispondenti settori individuati nelle mappe di vulnerabilità e di qualità - di sorgenti di pericolo di potenziale contaminazione (CIMINO *et al.*, 2002).

L'area studiata desta in ogni caso notevole preoccupazione perché notevolmente urbanizzata, sussistendo in ogni caso tutti quei fattori che possono favorire il fenomeno dell'inquinamento delle R.I.S.

Inoltre, se da un lato la presenza di coperture carbonatiche fornisce un apporto idrico di buona qualità agli acquiferi, dall'altro essa impone una maggiore attenzione riguardo la protezione verso queste aree molto vulnerabili, a causa dell'elevata velocità di percorso in tali formazioni di eventuali contaminanti idroveicolati verso la falda.

In conclusione, tenendo conto dei parametri di legge in materia di qualità delle acque da destinarsi al consumo umano, si può ritenere che le acque in questione mostrano complessivamente una *qualità estremamente scadente* e che solo in alcuni casi, previo adeguato trattamento, si può attingere ad esse per i differenti fabbisogni, essenzialmente industriali ed irrigui. È per questo, quindi, che si rende necessario eseguire delle opere – ove possibile – di risanamento e, comunque, di prevenzione dalla contaminazione degli acquiferi, cercando quindi di mitigare il più possibile tutti quei fattori che condizionano la qualità delle risorse idriche, soprattutto di quelle destinabili al consumo civile. Si può in definitiva affermare che il monitoraggio dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee, nonché l'adozione di cartografie aggiornabili quali quelle illustrate in questo contributo, costituiscono senz'altro strumenti indispensabili per la caratterizzazione ed il controllo del rischio idrogeologico all'inquinamento in settori costieri dell'isola come quello esaminato, sottoposto a pesante e crescente pressione antropica.

RINGRAZIAMENTI

Doverosi ringraziamenti vanno a persone ed enti che hanno fornito contributi al lavoro: l'azienda A.M.A.P. di Palermo, presso la cui sede sono state effettuate le analisi chimiche delle acque; l'E.S.A.; l'ufficio tecnico del Comune di Valderice; l'ufficio del Genio Civile di Trapani; l'A.R.P.A., Dipartimento Provincia di Trapani; il prof. Attilio Sulli del Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo per i preziosi consigli durante i rilievi geologici; il geol. Salvatore Simone che ha condiviso con gli autori di questa nota alcune fasi della ricerca; i proprietari dei pozzi censiti.

BIBLIOGRAFIA

- ABATE B., DI MAGGIO C., INCANDELA A., RENDA P., 1993 - Carta geologica dei monti di Capo San Vito, Scala 1:25.000. Dipartimento di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo.
- ABATE B., INCANDELA A., RENDA P., 1990 - Elementi strutturali dei rilievi del Monte Erice e Rocca Giglio (Sicilia occidentale). Rend. Soc. Geol. It., 13: 99-102.
- ADORNI G., BATTAGLIA M., BONFANTI P., CIMINO A., 1998 - Classificazione e mappatura della qualità di base delle acque sotterranee della Piana di Palermo. Inquinamento, Jackson Editore, Milano, XL, 1: 52-56.
- ANDOLINA F., CIMINO A., ORECCHIO S., SAMBATARO S., 2001 - La qualità delle acque sotterranee ed il pericolo di contaminazione nella valutazione del rischio idrogeologico: la piana di Palermo. Geologi di Sicilia, IX: 3-10.
- CATALANO, R., MERLINI, S., SULLI, A., 2002 - The structure of Western Sicily, Central Mediterranean. Petrol. Geosci., 8: 7-18.
- CELICO P., 1988 - Prospezioni idrogeologiche, vol. 2. Liguori Ed., Napoli: 528 pp.
- CIMINO A., DONGARRÀ G., ABBATE R., MARCHESE B., 1987 - L'uso integrato di metodi geofi-

- sici e geochimici nello studio e controllo di acquiferi in aree costiere. Mem. Soc. Geol. It., 37: 427-437.
- CIMINO A., ANDOLINA F., 2002. The territorial contamination danger in the hydrogeological risk cartography of the Palermo plain. Mem. Soc. Geol. It., 57: 561-568.
- CIMINO A., SIRAGUSA E., 2006 - Il razionale sfruttamento delle risorse idriche sotterranee in Sicilia e il ruolo dei recenti sistemi di rappresentazione degli acquiferi. Atti del 4° Congresso Regionale dei Geologi di Sicilia, Giardini Naxos (Me), 16-19 dicembre 2004: 177-189.
- CIVITA M., 1987 - La previsione e la prevenzione del rischio di inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le Carte di Vulnerabilità. Atti del Convegno "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova: 9-18.
- CIVITA M., DAL PRÀ A., FRANCANI V., GIULIANO G., OLIVERO G., PELLEGRINI M., ZAVATTI A., 1993 - Proposta di classificazione e mappatura della qualità delle acque sotterranee. Inquinamento, 35, 12: 8-17.
- CIVITA M., DE MAIO M., 2000 - SINTACS R5. Pitagora Ed., Bologna: 226 pp.
- CUSIMANO G., FRIAS FORCADA A., GATTO L., INCANDELA A., 2002 - Assetto idrostrutturale dei monti di Trapani (Sicilia nord occidentale) e valutazione delle risorse idriche immagazzinate. Atti del 4° Convegno di Speleologia della Sicilia, Custonaci (TP), 1-5 maggio 2002. Speleologia Iblea, 10: 117-124.
- GIANNOTTI G.P., LOMBARDI L., SIDOTI G., 1972 - Schema idrogeologico della Sicilia occidentale. Riv. Min. Sic., XXIII: 133-135, 3-20.
- GIULIANO G., RIGHI S., ZAVATTI A., CAGGIATI G., PIAZZA D., 1997 - La carta della qualità di base delle acque sotterranee della pianura padana e veneto-friulana (acquifero principale). Quaderni di Geologia Applicata, 4, 1: 75-98.
- LANGELIER W.F., LUDWIG H.F., 1942 - Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters - J.A. Water Works Ass.: 335 pp.
- PRATELLI W., AIELLO M.C., 2002 - Aspetti idrogeologici in relazione alla fenomenologia carsica dei Monti di Custonaci-San Vito Lo Capo. Atti del 4° Convegno di Speleologia della Sicilia, Custonaci (TP), 1-5 maggio 2002. Speleologia Iblea, 10: 125-131.
- SCHOELLER H., 1962 - Les eaux souterraines - Masson & C.ie Ed., Paris: 642 pp.
- SIMONE S., 2004 - La vulnerabilità SINTACS degli acquiferi in Sicilia occidentale: il settore costiero tra Bonagia e Cornino (Trapani). Tesi di Laurea in Scienze Geologiche, Università degli Studi di Palermo, A.A. 2003-2004, Palermo: 120 pp.