

ANTONIO CONTINO¹, GIOACCHINO CUSIMANO¹, ANTONINO DI CARA¹,
CIPRIANO DI MAGGIO¹, ALFONSO FRIAS FORCADA¹, SERGIO HAUSER²

¹Dipartim. di Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo,
Corso Tüköry 131, 90134 Palermo, kelin@unipa.it

²Dipartim. di Chimica e Fisica della Terra dell'Università di Palermo,
Via Archirafi 36, 90123 Palermo.

IL RUOLO DEL CARSIAMO NELLA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ POTENZIALE ALL'INQUINAMENTO DEGLI ACQUIFERI CARBONATICI DEI MONTI DI PALERMO

SUMMARY

The *Monti di Palermo* are a Sicilian segment of the *Appenninico-Maghrebide* chain, where different tectonic units, primarily made up of calcareous rocks (Late Triassic-Early Oligocene) are present. These calcareous rocks are covered by clay deposits (*Flysch Numidico*, Late Oligocene-Early Miocene). The tectonic units are characterised by a very complicated geometrical arrangement influencing their geomorphologic features and consequently the groundwater flow and its relationship with the seawater. Calcareous rocks, particularly limestone, are characterised by karstic forms with diversified dimensions and different evolution stadiums. Particularly, the great karstic forms are located on tectonic or morphoselected depressions and along geostructural lines. The water chemical aspects reflect the aquifer rock characteristics (limestone and dolomitic limestone) and the actual hydrogeochemical processes (ionic exchange with argillitic minerals). The large amounts of karstic forms determine a very fast infiltration and groundwater flow. In the *Monti di Palermo* some hydrostructures are used intensively for the water supply of urban areas and agricultural use. The over exploitation of the hydrostructures has caused great seawater intrusion, present along the coastal zone, fault lines and associated karstic channels.

INTRODUZIONE

L'edificio strutturale dei Monti di Palermo è costituito di una serie d'unità tettoniche sovrapposte. Questa costruzione è il risultato della deformazione (14 m. a.) di terreni, afferenti alla Piattaforma Carbonatica Panormide (Trias sup.-Oligocene inf.) ed al Bacino Imerese (Trias sup.-Oligocene inf.). Recenti studi hanno evidenziato la sovrapposizione dei terreni imeresi su quelli panormidi (CATALANO e DI MAGGIO, 1996). Sono riconoscibili due fasi plicative. La più antica, con andamento NNW-SSE, è legata alla formazione di fronti di sovrascorrimento; la seconda (3 m. a.) ha prodotto pieghe NNE-SSW, deformando il sistema precedente. È riconoscibile anche un sistema, più recente, di faglie distensive NE-SW, intersecato da uno NW-SE. I terreni carbonatici, dei domini panormide ed imerese, costituenti i principali acquiferi dei Monti di Palermo (Fig. 1 e Fig. 2), sono interessati da diversi sistemi di frattura, d'età diversa, alcuni dei quali subparalleli ai sistemi di dislocazione tettonica. Sono altresì presenti fratture beanti con andamento N-S, che svolgono un importante ruolo idrogeologico inducendo lo sviluppo della rete carsica ipogea e condizionando il deflusso idrico sotterraneo nelle idrostrutture.

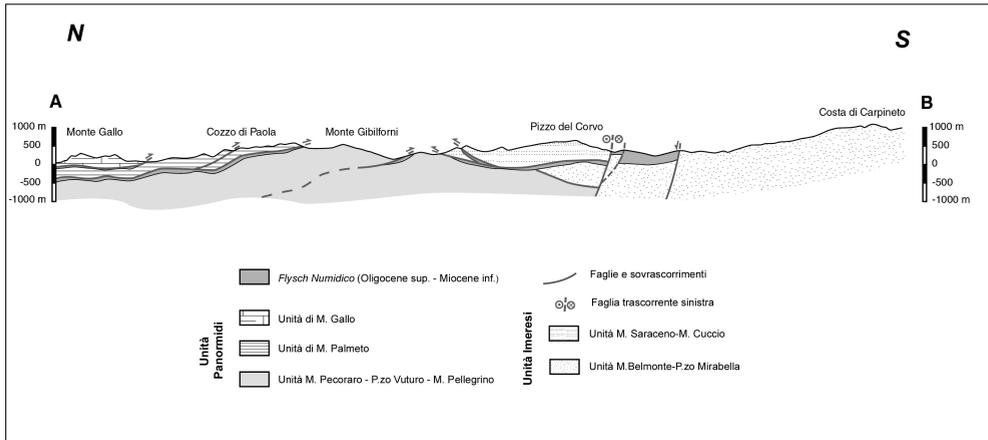


Fig. 2 - Sezione strutturale schematica.

Le macroforme carsiche dei Monti di Palermo sono solitamente costituite da depressioni per lo più aperte che, talvolta, raggiungono dimensioni chilometriche. Generalmente il loro fondo è ricoperto da discreti spessori di prodotti eluviali del tipo *terre rosse*, a volte rimaneggiati.

Depressioni di tipo *polje* sono presenti a SE di M. Colombrina, a S di Pizzo Cirina e nelle aree di Piano della Stoppa e Pianetto (Fig. 3). Il *polje* aperto situato a SE di M. Colombrina è impostato su una depressione tettonica complessa, la cui origine è dovuta ad un sistema di faglie ENE-WSW a componente orizzontale. I suoi margini settentrionali e meridionali risultano costituiti da grandi versanti e scarpate di faglia, la cui altezza è stata in parte accentuata dall'erosione selettiva. La spianata carsica che costituisce il fondo è estesa poco più di 3 km²

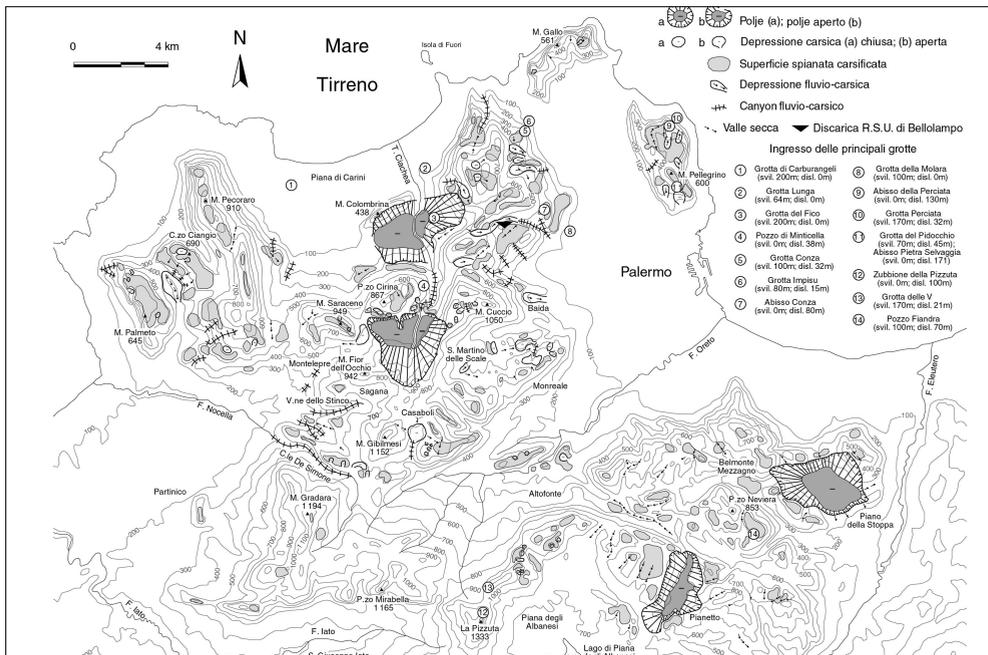


Fig. 3 - Carta delle forme carsiche.

e presenta diametro massimo di 2,5 km. La presenza di depositi fluvio-lacustri (spessi fino a 10 m), intercettati da sondaggi realizzati lungo il pianoro carsico, è indicativa della preesistenza di un modesto specchio d'acqua la cui formazione è stata resa possibile dalla presenza di depositi argillosi oligo-miocenici del Flysch Numidico. L'apertura della depressione è dovuta all'erosione retrogressiva del Torrente Ciachea (margine settentrionale) e all'arretramento dei versanti per erosione marina e per processi di denudazione (margine occidentale). Il *polje* aperto di Pizzo Cirina occupa una grande depressione di morfoselezione incarsita, la cui origine è stata condizionata dall'interposizione delle argille numidiche, fra le sovrastanti dolomie imeresi di M. Fior dell'Occhio (margine meridionale) e i sottostanti calcari panormidi di Pizzo Cirina (margine settentrionale). Il fondo di questa grande depressione occupa un'area di circa 2,8 km² e presenta diametro massimo E-W di 2,2 km. A causa dei processi di corrosione marginale, i versanti calcarei occidentali, settentrionali e orientali sono fortemente inclinati e al loro piede sono contraddistinti da scarpate e gradini che si raccordano bruscamente con il fondo. Il margine meridionale, impostato su rocce dolomitiche, è invece disseccato da frequenti incisioni fluviali che producono, allo sbocco della spianata carsica, la formazione di conoidi talora coalescenti. I processi di erosione retrogressiva del Vallone Torretta sono invece responsabili dell'apertura del margine NE del *polje*. Rilievi ruiformi del tipo città di roccia, dovuti alla presenza di superfici di discontinuità sub-verticali, sono presenti al fondo della depressione. I *polje* di Piano della Stoppa e di Pianetto sono impostati in corrispondenza di depressioni tettoniche complesse (HUGONIE, 1979) riconducibili rispettivamente a sistemi di faglia E-W, NW-SE, ENE-WSW e, nel caso di Pianetto, NNE-SSW. Il fondo di Piano della Stoppa ha un'estensione di circa 2,6 km², con diametro maggiore di 2,5 km; il pianoro carsico di Pianetto copre un'area di circa 0,6 km², dalla forma allungata NNE-SSW, con diametro maggiore di 1,1 km. Le pendici che delimitano queste conche costituiscono dei versanti di linea di faglia.

Doline o *uvala* sono state riconosciute in vaste aree costituite dai terreni calcarei panormidi e, in minor misura, in quelli calcareo-dolomitici imeresi più ricchi in calcite, quest'ultimi presenti a M. Saraceno, M. Cuccio e nell'area de La Pizzuta. Si tratta di conche per lo più di soluzione normale, con forme solitamente a piatto e, esclusivamente per quelle più piccole, a scodella. Generalmente il diametro massimo è compreso fra 100 e 500 m, mentre le forme più grandi (*uvala*), solitamente allungate, presentano un diametro maggiore di poco inferiore a 1,0 km (versante orientale di M. Castellaccio, area di San Martino delle Scale, Casaboli e settore a SE di M. Saraceno). La maggior parte di queste forme sono costituite da grandi depressioni chiuse, sebbene non manchino esempi di conche aperte in seguito all'arretramento dei versanti per processi di corrosione marginale o di erosione regressiva dei corsi d'acqua. Le depressioni localizzate su spianate mostrano spesso uno sviluppo areale omogeneo con forme sub-circolari, mentre le forme più estese, talora aperte, sono contrassegnate da accrescimenti lungo direttrici tettoniche preferenziali. Lungo i versanti carbonatici si rinvengono invece modeste depressioni, per lo più aperte, allungate secondo l'inclinazione dei pendii.

Fra le forme la cui genesi è imputabile alla dissoluzione carsica e a processi fluviali, le più frequenti sono i *canyon* che dissecano essenzialmente le rocce calcaree panormidi e, in minor misura, i terreni carbonatici imeresi (area di Montelepre - M. Gibilmesì). Queste profonde incisioni, impostate talvolta lungo linee di debolezza tettonica o talora riconducibili a processi di sovrimposizione (DI MAGGIO, 2000), devono comunque la loro origine al progressivo abbassamento del livello di base carsico o, più generalmente, dell'erosione. Altre forme di origine fluvio-carsica, aventi un diametro massimo superiore a 1,0 km, sono presenti nei

settori di M. Palmeto-Cozzo Ciangio e di M. Castellaccio-Pizzo Vuturo. Si tratta di depressioni aperte e allungate, situate lungo valli fluviali relitte, sviluppatasi in corrispondenza di linee strutturali e, successivamente, inattivate e incarsite. La depressione di M. Palmeto - Cozzo Ciangio e quella di Baida, occupano il fondo di antiche valli inattive, impostate su originarie depressioni di morfoselezione e ampliate da processi carsici. Le conche allungate del settore di M. Castellaccio-Pizzo Vuturo appaiono impostate su depressioni tettoniche complesse, determinate da faglie sintetiche listriche NE-SW, immergenti a NW e da faglie antitetiche immergenti a SE. Per le notevoli dimensioni e per la presenza di una discarica di RSU assume notevole importanza, in località Bellolampo, la conca di Piano Vurrairie (oltre 1,0 km) che ad E si immette nel *canyon* fluvio-carsico del Vallone Celona. Vanno segnalate numerose valli secche, isolate e sospese rispetto all'idrografia attuale sia per l'approfondimento della rete fluviale, sia per il progressivo ingrottamento delle acque superficiali, quest'ultimo testimoniato dalla presenza di alcuni inghiottitoi lungo gli alvei inattivi. Queste valli mostrano profili trasversali a conca, con versanti notevolmente addolciti, dovuti probabilmente alla dissoluzione carsica e, in parte, a lunghi periodi di stasi del livello di base dell'erosione. L'analisi complessiva delle valli relitte, attualmente impostate su rocce carbonatiche, evidenzia l'esistenza di un paleodrenaggio alquanto articolato, indicativo di una preesistente copertura argillosa che ne ha prima consentito lo sviluppo e che è stata successivamente smantellata (DI MAGGIO, 2000).

Negli affioramenti carbonatici dei Monti di Palermo sono state individuate delle forme relitte debolmente ondulate o addirittura pianeggianti, genericamente indicate con il termine di *superfici sub-orizzontali* (DI MAGGIO, 2000), probabilmente dovute ad un insieme di processi erosionali, condizioni climatiche e situazioni topografiche favorevoli. Si tratta di spianate sommitali, o localizzate lungo i versanti, a quote comprese fra 200 e 950 m s.l.m. e formatesi durante condizioni di prolungata stasi del livello di base dell'erosione (cfr. AMATO e CINQUE, 1999; BOSI, 2002). Esse costituiscono forme di erosione che troncano rocce diverse, strutture tettoniche e piani di stratificazione. A causa della loro limitata estensione areale e frammentarietà, risulta problematico risalire ai meccanismi genetici, che comunque sono legati a processi di prevalente erosione laterale. Il processo genetico di alcune delle superfici relitte, situate lungo i versanti o in aree di fondovalle, sembra essere riconducibile a fenomeni di spianamento connessi con la morfogenesi carsica del fondo delle grandi depressioni, i cui versanti sono periodicamente soggetti ad arretramento parallelo per corrosione marginale. Ad ogni modo va sottolineato che le superfici sub-orizzontali in esame sono intenzionalmente carsificate.

Viene altresì segnalata la presenza di diffusi *karren* liberi, semilibri o coperti (scannellature, vaschette, solchi, crepacci, fori), riferibili a processi di dissoluzione particolarmente attivi sui terreni panormidi (M. Pellegrino, M. Gallo e area tra M. Castellaccio e M. Palmeto) e sui carbonati imeresi prevalentemente calcarei. Le fasce interessate da contatti geometrici, contraddistinti dalla sovrapposizione di rocce solubili e permeabili su terreni insolubili e/o impermeabili, sono invece interessate da grotte, incavi e ripari dovuti essenzialmente a fenomeni di corrosione accelerata (M. Gallo, versanti di Pizzo Manolfo, margine meridionale di M. Castellaccio e area di M. Palmeto-Montelepre). Condizioni di maggiore umidità incrementano questi processi di dissoluzione.

L'esistenza di più di duecento grotte nei calcari panormidi (MANNINO, 1986; MESSANA e PANZICA LA MANNA, 1994), alcune delle quali costituite da un insieme di pozzi e gallerie prodottisi a differenti quote, è indicativa di un sistema carsico ipogeo ben sviluppato. Fra

le cavità sotterranee si segnalano l'Abisso della Pietra Selvaggia (pozzo profondo 171 m), la Grotta del Pidocchio (sviluppo orizzontale di 70 m e dislivello di 45 m), l'Abisso della Perciata (pozzo con sviluppo di 130 m) e la Grotta di Carburangeli (sviluppo orizzontale di 200 m). Alcune di queste cavità sono state intercettate dall'erosione marina durante le fasi di *highstand* del Pleistocene (Grotta di Carburangeli, Grotta Lunga, Grotta della Molara, Grotta Perciata). I carbonati imeresi sono invece interessati da rare grotte, a testimonianza di un sistema carsico ipogeo poco evoluto e, in alcuni casi, del tutto inesistente. Oltre a qualche cavità sotterranea poco significativa, nella zona di Pizzo Mirabella e nelle località di Baida, Monreale e Sagana, le uniche forme ipogee conosciute, circa una decina ed esclusivamente concentrate nel settore Pizzo Neviera-La Pizzuta, presentano in ogni caso uno sviluppo medio, orizzontale e verticale, di poche decine di metri. Fanno eccezione lo Zubbione della Pizzuta (pozzo profondo 100 m), il Pozzo Fiandra (sviluppo orizzontale e verticale rispettivamente di 100 m e 70 m) e la Grotta delle Volpi (sviluppo orizzontale di 170 m e verticale di 21 m).

ASPETTI IDROGEOLOGICI

Le diverse unità litologiche presenti nei Monti di Palermo sono riconducibili a due complessi idrogeologici: a) complesso calcareo dolomitico, costituente i principali acquiferi dei Monti di Palermo, dotato di porosità primaria molto bassa e di permeabilità medio alta per fratturazione e carsismo, localmente ben sviluppato; b) complesso, sostanzialmente impermeabile, delle argille, argilliti, radiolariti e marne, che può ospitare acquiferi con falde idriche effimere o inglobare occasionalmente corpi permeabili di dimensioni variabili (megabrecce calcaree). La circolazione idrica sotterranea nel complesso calcareo dolomitico si realizza solo attraverso reti di fratture e condotti carsici; inoltre è condizionata dalle caratteristiche litostratigrafiche delle successioni e dalle geometrie dei fronti di sovrascorrimento che costituiscono limiti e soglie di permeabilità delle manifestazioni sorgentizie. I rapporti relativi tra le coperture argillose (*Flysch* Numidico) e le successioni carbonatiche definiscono le geometrie delle idrostrutture, alcune delle quali idraulicamente autonome (Fig. 1 e Fig. 2). La geometria dei sistemi di drenaggio, all'interno delle idrostrutture, è resa più articolata dalla interazione di più famiglie di fratture e dalla loro, densità, forma e dimensione, nonché dall'eventuale presenza di materiali occludenti e dallo sviluppo dei processi di carsificazione. Fra le unità strutturali riconosciute, si distinguono sei unità idrogeologiche (CONTINO *et al.*, 1998; CALVI *et al.*, 2000):

-Unità Belmonte Mezzagno - Pizzo Mirabella e Unità M. Gradara, che presentano flusso idrico predominante N-S.

-Unità M. Saraceno - M. Cuccio, suddivisa nelle seguenti idrostrutture: 1) M. Saraceno, *klippe*, idraulicamente isolato, con flusso idrico divergente verso nord, che alimenta le sorgenti del fianco settentrionale dell'idrostruttura; 2) M. Cuccio, sinclinorio, isolato per tamponamento dalle argille numidiche affioranti sia a est (Piana di Palermo) che a sud (bacino del F. Oreto), interessato da flusso idrico, W-E, che alimenta le sorgenti di S. Martino delle Scale, Monreale, Baida-Boccadifalco e Gabriele (Piana di Palermo).

-Unità M. Pecoraro - Pizzo Vuturo - M. Pellegrino suddivisa nelle seguenti idrostrutture: 1) Pizzo Vuturo - M. Pellegrino, con flusso NW-SE, che in direzione di M. Pellegrino ruota verso est. Fenomeni d'intrusione marina si manifestano lungo la fascia costiera di M. Pellegrino, seguendo poi una direttrice verso Pizzo Vuturo, a 7 km della costa, interessando l'acquifero calcarenitico della Piana di Palermo ed i sottostanti calcari, provocando la salinizzazione di pozzi, che registrano livelli dinamici di -1 o -2 m s. l. m.; 2) Cozzo Cirina

dove il flusso idrico N-S, in parte ricarica l'acquifero calcarenitico della Piana di Carini; 3) M. Pecoraro, ritagliata da faglie dirette, N-S, che costituiscono lo spartiacque sotterraneo. I flussi idrici vanno sia verso la Piana di Carini sia verso Punta Raisi; 4) Cozzo Sciuscia dove il flusso idrico è diretto a SSW.

-Unità M. Palmeto - M. Castellaccio, in cui si distinguono le seguenti idrostrutture. 1) M. Castellaccio che presenta flussi divergenti: verso la Piana dei Colli, verso il mare (Punta Matese), verso il settore est della Piana di Carini e verso sud in corrispondenza dell'idrostruttura di Pizzo Vuturo con cui è in collegamento idraulico. Il settore SE dell'idrostruttura è interessato da fenomeni di salinizzazione delle acque sotterranee, da mettere probabilmente in relazione con l'idrostruttura Pizzo Vuturo - M. Pellegrino. 2) M. Palmeto, *klippe* con flusso diretto a SO, con scarico diretto verso mare.

-Unità M. Gallo, il cui flusso idrico procede sia verso la Piana dei Colli sia verso il mare (CUSIMANO *et al.*, 1996).

La definizione di queste unità idrogeologiche è confermata da studi idrogeochimici (CALVI *et al.*, 2000). Dalle analisi effettuate risulta una predominanza di Ca^{++} nelle acque circolanti nelle idrostrutture a Nord del sovrascorrimento di M. Cuccio - M. Saraceno, che ben si accorda con la prevalenza di rocce calcaree. La maggior presenza di Mg^{++} nel settore sud, riflette invece la composizione dolomitica delle rocce delle idrostrutture alimentatrici di M. Cuccio, M. Saraceno, M. Gradara e Belmonte Mezzagno.

PRODUTTORI REALI E POTENZIALI D'INQUINAMENTO

I pochi depuratori dei centri urbani dell'area dei Monti di Palermo, scaricano i reflui nei corsi d'acqua, non assolvendo alle loro funzioni per l'assenza di collaudi o manutenzione. Inoltre, lungo le principali vie di comunicazione, si riscontra una diffusa presenza di discariche abusive, di RSU e di materiali di risulta (CUSIMANO e DI CARA, 1995) spesso ubicate in cave dismesse di rocce carbonatiche fratturate e carsificate. L'urbanizzazione incontrollata e la conseguente realizzazione di un gran numero di pozzi idrici, spesso abusivi, comportano uno sfruttamento eccessivo della risorsa idrica ed un suo grave depauperamento evidenziato dalla drastica diminuzione delle portate dei pozzi e dal prosciugamento di alcune sorgenti. Nelle pianure costiere, inoltre, lo sfruttamento selvaggio delle acque sotterranee ha determinato un deterioramento della loro qualità, a causa dell'intrusione marina che è arrivata ad interessare le fasce pedemontane dei rilievi carbonatici costieri (da 100 a 150 m s.l.m.).

Il più importante tra i produttori reali e potenziali d'inquinamento è costituito, in località Bellolampo, dalla vecchia discarica di RSU del Comune di Palermo, che interessa una struttura carbonatica intensamente fratturata e carsificata. La discarica (8 ha, 470 m s.l.m.), infatti, occupa la conca fluvio-carsica di Piano Vurraine ostruendo l'area di testata del Vallone Celona e contiene almeno 1,2 hm³ di RSU distribuiti in tre aree di accumulo, di cui una non impermeabilizzata. Allo scopo d'evidenziare eventuali fenomeni d'inquinamento provocati dalla discarica, nell'idrostruttura ospitante e/o in quelle adiacenti, è stata definita una rete di monitoraggio (29 pozzi, 1 sorgente e 1 punto di prelievo delle acque del Vallone Celona) che copre un'area di 50 km². Il monitoraggio (CALVI *et al.*, 1999) è stato eseguito in due fasi (Novembre 1998 e Marzo 1999) e su ogni campione d'acqua sono state effettuate quattro determinazioni *in situ* (T, Eh, pH, conducibilità) e 28 in laboratorio: costituenti maggiori (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃, CO₃), costituenti minori (F, Br, PO₄, NH₄, NO₂, NO₃, O₂, H₃BO₃, SiO₂, CN) e metalli in traccia (As, Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Al, V). I metodi d'analisi adottati sono stati: cromatografia in fase liquida (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, F, Br, NO₂, NO₃),

polarografia (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Co), spettrofotometria Vis-Uv (PO_4 , NH_4 , H_3BO_3 , SiO_2 , CN, As, Al, Cr, V) e titolazione volumetrica (HCO_3 , CO_3 , O_2). In base ai costituenti maggiori, le acque sono state classificate come bicarbonato alcalino terrose e clorurato solfato alcaline (LANGELIER e LUDWIG, 1942). Le loro caratteristiche chimiche non hanno subito variazioni, nei 2 campionamenti. La presenza di acque bicarbonato alcalino terrose è compatibile con le litologie presenti, mentre il passaggio ad acque clorurato alcaline riflette la presenza di acque saline. La forte correlazione positiva tra Na e i cloruri è stata attribuita a intrusioni marine provenienti da E (da M. Pellegrino a Bellolampo) e da N, attraverso M. Gallo (CALVI *et al.*, 2000), anche se altri rapporti tra specie chimiche hanno evidenziano scambi ionici tra minerali argillosi, del substrato della Piana di Palermo, e l'acqua. Fra i costituenti minori NO_3 ha mostrato, solo in due punti di prelievo, valori che superano di poco quelli legali. Stabilire l'origine del nitrato nelle acque è ben difficile, infatti potrebbe rappresentare sia lo stadio finale di un processo disagregativo della sostanza organica sia un apporto di fertilizzanti. La mancanza di fosfati fa propendere per la prima ipotesi, compatibile, peraltro, con i valori di O_2 . Nel Vallone Celona si riscontra un valore di richiesta di O_2 , nettamente maggiore, che indica una forte presenza di sostanza organica. I metalli in traccia, non presentano valori superiori a quelli legali. Nel percolato della discarica le concentrazioni dei vari elementi sono enormemente più alte di quelle osservate nei punti di campionamento. Inoltre, nel percolato si osservano variazioni chimiche dovute a variabilità del materiale avviato a discarica e/o degli agenti atmosferici. Quest'ultima ipotesi è sostenuta dal fatto che le analisi eseguite in periodi, climaticamente, corrispondenti presentano valori di concentrazione simili. Confrontando questi valori con quelli riscontrati nel Vallone Celona si osserva che gli inquinanti, pur variando in intervalli di concentrazione nettamente differenti, presentano valori simili. Ciò indica che i metalli riscontrati nelle acque del Vallone Celona provengono essenzialmente dal percolato della discarica. Invece non sembra che attualmente vi siano tracce d'inquinanti nelle falde. Le ipotesi possibili sono: 1) il percolato prodotto non s'infiltra negli acquiferi; 2) il percolato s'infiltra negli acquiferi ma il flusso idrico sotterraneo, l'idroveicola verso nord (Mare Tirreno); 3) il percolato resta bloccato a quote superiori all'attuale livello piezometrico dell'idrostruttura. Lo stato attuale delle conoscenze ed il modello di flusso idrico sotterraneo proposto rendono più plausibile la seconda ipotesi.

CONSIDERAZIONI FINALI

L'area comprendente i Monti di Palermo e le pianure costiere adiacenti, ospita diversi centri urbani in cui risiedono oltre un milione d'abitanti. Negli ultimi decenni si è verificato uno sviluppo abnorme ed incontrollato delle aree urbanizzate, oltre che nelle piane costiere e nelle zone pedemontane, anche nelle aree montane. Queste ultime, costituite da terreni carbonatici, rappresentano le principali aree d'alimentazione degli acquiferi carbonatici, in cui altresì lo sviluppo urbano non è stato accompagnato dalla realizzazione dei servizi a rete (fognature, acquedotti, ecc.). Una conseguenza dell'assenza o dell'inadeguatezza di queste reti è stata il proliferare incontrollato di pozzi idrici e pozzi perdenti, che spesso ha prodotto gravi fenomeni d'inquinamento. Considerando che le aree carbonatiche più fortemente fratturate sono quelle dove i processi di dissoluzione sono più intensi, il loro grado di vulnerabilità è essenzialmente controllato dal carsismo. In questo senso le aree più vulnerabili sono costituite dagli estesi affioramenti prevalentemente calcarei delle unità panormidi (dove si ha la presenza di un sistema carsico ben sviluppato) e, soprattutto, dalle grandi depressioni chiuse (dove vengono drenate abbondanti quantità di acque). Ulteriori impatti sull'ambiente idrico sotterraneo sono

costituiti dagli estesi fenomeni d'ingressione marina spesso amplificati dalle principali dislocazioni tettoniche e dalla diffusa presenza di cavità carsiche sotterranee, oltre che dalla dislocazione improvvida della discarica di RSU di Bellolampo.

BIBLIOGRAFIA

- AMATO A., CINQUE A., 1999 – Erosional landsurface of the Campano-Lucano Appenines (S. Italy): genesis, evolution and tectonic implications. *Tectonophysics.*, 315: 251-267.
- BOSI C., 2002 – L'interpretazione delle superfici relitte nell'Appennino Centrale: il caso della zona di Colfiorito (prov. Perugia e Macerata). *Il Quaternario*, 15 (1): 69-82.
- CALVI F., CONTINO A., CUSIMANO G., DI CARA A., DI MAGGIO C., FRIAS FORCADA A., HAUSER S., PELLERITO S., 1999 – Impact of the Palermo's urban solid waste disposal site on its surrounding acquifers. An hydrogeologic and hydrogeochemical approach. Italo-Russian Institute of Education and Ecological Research. Proceedings of the 2nd Symposium on protection of groundwater from pollution and seawater intrusion, Bari September 27 - October 1 1999, 6 ff., 2 tabb: 225-239.
- CALVI F., CONTINO A., CUSIMANO G., DI CARA A., FRIAS FORCADA A., HAUSER S., PELLERITO S., 2000 – Hydrostructures related to the Piana di Palermo aquifers and their hydrogeochemical characteristics. *Mem. Soc. Geol. It.*, 55 (2000), 1 f., 2 tabb., 2 tavv. f.t.: 473-481.
- CATALANO R., DI MAGGIO C., 1996 – Sovrapposizione tettonica delle unità imeresi sulle panormidi nei Monti di Palermo (Sicilia). *Il Naturalista Siciliano*, s.4, XX (3-4), 147-166, Palermo.
- CONTINO A., CUSIMANO G., FRIAS FORCADA A., 1998 – Modello Idrogeologico dei Monti di Palermo. *Atti del 79° Congresso nazionale della Società Geologica Italiana*, Palermo 21 - 23 Settembre 1998, Vol. A: 212-215.
- CUSIMANO G., DI CARA A., 1995 – Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi del territorio del Comune di Palermo (note illustrative). *Quaderni di Geologia Applicata*, Suppl. 3 - 1/1995, 3: 3.203-3.216.
- CUSIMANO G., FRIAS FORCADA A., HAUSER S., 1996 – Processi di salinizzazione caratterizzanti gli acquiferi della Piana di Palermo - Acque sotterranee, a, XIII, 13-25, Edizioni Geograph, Segrate (Milano).
- DI MAGGIO C., 1997 – Assetto morfostrutturale ed evoluzione geomorfologica di un settore dei Monti di Palermo. Tesi di dottorato, Università degli Studi di Napoli "Federico II": 175 pp.
- DI MAGGIO C., 2000 – Morphostructural aspects of the central northern sector of Palermo Mountains (Sicily). *Mem. Soc. Geol. It.*, 55 (2000), 8 ff: 353-361.
- HUGONIE G., 1979 – L'évolution géomorphologique de la Sicile septentrionale. Thèse Lettres (Géomorfologie), Univ. de Paris-Sorbonne, 2: 565-884.
- HUGONIE G., 1982 – Mouvements tectoniques et variations de la morphogenèse au Quaternaire en Sicile septentrionale. *Revue de Géologie Dynamique et Géographie Physique*, 23: 3-14.
- LANGELIER W.F., LUDWIG H. F., 1942 – Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters - *American Water Works Association Journal*, 34: 335-352.
- MANNINO G., 1986 – Le grotte del palermitano. *Quaderni del Museo Geologico G. G. Gemmellaro*, 2: 13-62.
- MESSANA E., PANZICA LA MANNA M., 1994 – Consistenza attuale del catasto delle grotte della Sicilia. *Boll. Acc. Gioenia Sc. Nat.*, 27, n. 348: 373-376.

INDICE

M. T. CARROZZO, M. DELLE ROSE, A. FEDERICO, G. LEUCCI, V. MARRAS, S. NEGRI, L. NUZZO Osservazioni geologiche e indagini geofisiche sul carsismo della costa neretina.....	3
R. RUGGIERI Paleomorfologie carsiche nel Sahara egiziano.....	11
M. T. CARROZZO, S. MARGIOTTA, S. NEGRI, G. RICCHETTI La morfologia carsica della provincia di Lecce e la sua influenza sulla idrografia superficiale e profonda (studio preliminare).....	23
G. SAVINO, F. DIDONNA, M. PARISE, D. SGOBBA La ricerca speleo-carsica in Albania: risultati e prospettive.....	33
S. LAZZARI, M. LAZZARI, A. DE SANTIS Rischi geomorfologici ed ambientali in un'area carsica urbanizzata del Salento leccese...	41
R. ONORATO, P. FORTI, G. BELMONTE, M. POTO, A. COSTANTINI La grotta sottomarina <i>lu Lampiune</i> : novità esplorative e prime indagini ecologiche.....	55
R. ABBATE, S. CAPPADONA IGNAZZITTO, A. CIMINO, C. DI PATTI, S. ORECCHIO Indagini integrate per la valorizzazione delle risorse ambientali nell'area carbonatica di Monte San Fratello (zona b del Parco dei Nebrodi).....	65
F. ANDOLINA, A. CIMINO, S. ORECCHIO, S. SAMBATARO La qualità delle acque sotterranee in aree carsiche costiere del palermitano e sua relazione con la vulnerabilità all'inquinamento.....	77
G. GALIERO, R. PERSICO, M. SACCHETTINO, G. M. SIGNORE Nuove tecniche di prospezione archeologica mediante strumenti multifrequenza.....	87
A. ARGENTIERI, P. VECCHIA, R. SALVATI, G. CAPELLI, S. LORETELLI La pericolosità da sinkhole nel territorio della provincia di Roma: il caso di Marcellina...	95
G. LAZZARI, S. BEKAKOS A proposito del toponimo "Zinzinusa", la celebre grotta di Castro in Terra d'Otranto.....	107
S. PORTALURI, P. SANSÒ Morfologia carsica e fenomeni di alluvionamento nel Salento leccese sud-orientale.....	113
E. CENTENARO, G. MASTRONUZZI, G. SELLERI Le grotte della fascia costiera: geositi nel Salento leccese.....	121