

CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA DI UN ACQUIFERO SUPERFICIALE: IL CASO DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA NEI CORPI DI FRANA NELLA DORSALE CARBONATICA DI M. PIETRALATA – M. PAGANUCCIO (APPENNINO MARCHIGIANO)

Bruno Capaccioni¹, Olivia Nesci², Enrico Maria Sacchi², Daniele Savelli² & Francesco Troiani²

¹Istituto di Vulcanologia e Geochimica, Università degli Studi "Carlo Bo",
Campus Scientifico, Loc. Crocicchia, 61029 Urbino – b.capaccioni@uniurb.it

²Istituto di Geologia, Università degli Studi "Carlo Bo",
Campus Scientifico, Loc. Crocicchia, 61029 Urbino – d.savelli@uniurb.it

RIASSUNTO: Capaccioni B., Nesci O., Sacchi E. M., Savelli D. & Troiani F., *Caratterizzazione idrochimica di un acquifero superficiale: il caso della circolazione idrica nei corpi di frana nella dorsale carbonatica di M. Pietralata - M. Paganuccio (Appennino Marchigiano)*. (IT ISSN 0394-3356, 2004).

Nella presente nota sono descritti i risultati di una ricerca sulle caratteristiche idrochimiche delle acque di sorgente emergenti dai corpi di frana che interessano i fianchi della dorsale anticlinale di M. Pietralata – M. Paganuccio. Il collasso gravitativo di gran parte dei fianchi della dorsale, legato principalmente all'assetto morfostrutturale e litostratigrafico dell'area, coinvolge generalmente il substrato e ha prodotto vasti e spessi accumuli di frana, variamente dislocati e disarticolati. Le masse franate, avendo sviluppato una elevata permeabilità secondaria, hanno costituito acquiferi propri e sensibilmente condizionato la circolazione idrica sotterranea più superficiale. Ciò ha generato numerosi punti di scaturigine distribuiti sia alla base del rilievo, ai margini dei principali corpi di frana, sia all'interno dei corpi stessi. In certi casi, invece, gli accumuli di frana probabilmente ricoprono sorgenti legate a circuiti più profondi, all'interno delle rocce del substrato. I risultati delle analisi chimiche effettuate sulle acque di sorgente nelle campagne di monitoraggio del 1984 e del 2004, oltre a caratterizzare facies idrochimiche sub-superficiali direttamente legate ai corpi di frana, sottolineano proprio una loro probabile miscelazione con acque di provenienza più profonda.

ABSTRACT: Capaccioni B., Nesci O., Sacchi E. M., Savelli D. & Troiani F., The hydrochemical feature of surficial groundwaters: the groundwaters from landslide deposits of the carbonatic ride of Mts. Pietralata-Paganuccio (Marche Apennines). (IT ISSN 0394-3356, 2004). Geological-geomorphological and hydrochemical studies have been carried out throughout the anticline ridge of Pietralata-Paganuccio Mts. (northern Umbria-Marche Apennines, Central Italy) in order to find a possible correlation between the large landslides almost affecting the entire mountain flanks and spring-water characteristics. The study area embraces the northernmost sector of a much longer calcareous anticline ridge extending all along the Marche Region. The Furlo Gorge, a narrow transverse canyon deeply cut by the Candigliano River (Metauro River basin), breaches the anticline ridge separating the two mountains from each other. This sector of the ridge, although rather simple as for its morphostructure, is indeed one of the most important examples of such landforms so characteristic of the Umbria-Marche Apennines. Pietralata and Paganuccio Mts. consist of the mostly calcareous and marly-calcareous Mesozoic units of the Umbria-Marche Succession. The Jurassic-Cretaceous terrains, ranging from the Calcare Massiccio Fm. and the Scaglia Bianca Fm., crop out in the Furlo Gorge area only, deeply cut in its turn at the core of the anticline. The flanks and the crest of the anticline ridge, on the contrary, are made up of Cretaceous-Oligocene terrains, namely Scaglia Rossa-Scaglia Cinerea and Bisciaro Fms. Pietralata and Paganuccio Mts. are an explicatory example of an exhumed anticline, where the geological structure is distinctly replicated by the relief topography. Indeed, the ridge morphology almost perfectly displays both the rounded geometry of the anticline and its northwestern and southeastern plunge-out areas. Furthermore, characteristic flat top-surfaces markedly reflect the sub-horizontal/gently-dipping bedding of the hinge zone, while the mountain sides slope at angles approximating the downslope-dipping layering values. Although the peculiar morphostructural arrangement of the ridge has been shaped by different processes, the role of large, deep-seated mass movements is once more today among the most effective ones. Landslides, affecting both sides of the ridge for the most part, find their key predisposing factors in the dip-slope layering attitude on the two sides of the anticline ridge, as well as in the occurrence of weak marly horizons (e.g. Marne a Fucoidi Fm., marly members of Scaglia Rossa Fm., etc.), embedded among calcareous units in different stratigraphic positions. The occurrence of an intense local rock-fracturing is an effective additional predisposing factor. As a result, the most part of the anticline ridge flanks have been extensively denuded by more or less shallow landsliding, able to highlight both lithologic contrasts of the Jurassic-Miocene "multilayer" and structural features, such as fault-zones and bended bedding surfaces. The gravitational sagging and collapse of the anticline flanks encompass several, different field evidence. As a rule, the landslide head areas display tension cracks and more or less distinct trenches, scarps and counterslopes; the slid mass becoming more and more disrupted and chaotic downslope, where an over-100m thickness is often reached and stressed by deep gully dissection of the landslide mass. Indeed, the substantial permeability acquired by progressive fracturing of the sliding rock bodies allows for a great number of frequently perennial aquifers and springs to occur within the slid-bodies and/or at the toe of the major landslides. On the contrary, in some places, the landslide materials have probably blanketed some springs related to relatively deep bedrock aquifers. Hydrochemical data show that the characteristics of the majority of the analysed waters set in the field of Ca^{2+} - HCO_3^- compositions, with two different trends, namely "A", trending towards Na^+ - Cl^- compositions, and "B", trending towards Ca^{2+} - SO_4^{2-} compositions. A possible reason of these two trends is the mixing of superficial water circulating inside the landslide masses with waters flowing out from deeper bedrock-aquifers. Water samples from the Pietralata Mt. area, according to the most part of waters from carbonatic rocks of the Marche Region, display contents in Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^- which are mostly due to magnesian-calcite solution or, alternatively, to a mixing of calcite and dolomite (this latter, especially for waters from relatively deep aquifers). As regards water saturation in calcite at different P_{CO_2} conditions, the analysed samples display a range of values approximating those typical for soils (0.15 bar). Being such values much higher than those already reported for carbonate aquifers of Nerone Mt. (0.0003 – 0.003 bar), a near-surface water circulation can be alleged. In this respect, a similar assumption can be drawn from both the relatively low discharges of the studied springs, and from the recurring traces of NO_3^- concentration. As regards this latter, in particular, its relatively high concentration in both 1984 and 2004 samplings is likely to be related to both biologic activity and humification (nitrification) on the surface of the slid-masses, although a less important amount of NO_3^- from fertilizers cannot be ruled out. Moreover, a low Ca^{2+} - SO_4^{2-} composition of the samples at issue can be related to the mixing of relatively deep waters from bedrock aquifers whose springs are blanketed by thick landslide accumulations. Finally, the observed trend "A", towards Na^+ - Cl^- compositions, can be ascribed to cyclic salts coming from near marine areas.

Parole chiave: Corpi di frana, Idrochimica, Dorsali carbonatiche, Monti Paganuccio e Pietralata, Italia.

Keywords: Landslide bodies, Hydrochemistry, Carbonate Ridges, Paganuccio-Pietralata Mts., Central Italy.

1. INTRODUZIONE

La dorsale carbonatica del M. Paganuccio-M. Pietralata (Fig. 1) presenta numerose sorgenti, distribuite sia sulle aree più elevate che lungo le sue fasce perimetrali e alla base dei versanti. L'ubicazione delle principali sorgenti perenni, monitorate nel 2004, è riportata nelle figure 2 e 3. I punti di scaturigine di alcune di esse si trovano su roccia in posto (sorgenti n. 1, 4, 5 8 in figura 3), soprattutto in prossimità e/o in corrispondenza di apprezzabili contrasti litologici o di dislocazioni tettoniche. La maggior parte delle sorgenti è invece ubicata sul margine di potenti coltri detritiche e/o su rocce interessate da reti di fratture secondarie più o meno persistenti ed evidenti in superficie. Il numero relativamente elevato di sorgenti associate a masse detritiche e/o rocce fratturate si collega direttamente al collasso gravitativo quasi generalizzato dei fianchi della dorsale, determinato dall'assetto litostratigrafico e morfo-strutturale della stessa (cf. Burattini *et al.*, 1989; Diligenti *et al.*, 2004). I movimenti di versante, vasti e spesso profondi, hanno infatti dato origine sia a un'intensa fratturazione secondaria delle rocce, sia alla formazione di potenti coltri costituite da materiale roccioso variamente mobilizzato e disgregato (Nesci & Savelli, 1986). Proprio questa situazione ha determinato lo sviluppo di un certo numero di acquiferi relativamente superficiali localizzati all'interno o al margine dei corpi interessati da collasso gravitativo e sostenuti da orizzonti acquicliudi e acquitardi in corrispondenza dei livelli di scivolamento.

Oggetto della presente nota è fornire alcune indicazioni di carattere geologico-geomorfologico utili all'inquadramento e caratterizzazione delle emergenze idriche e allo stesso tempo di descrivere tali emergenze da un punto di vista idrochimico, nonché di individuare eventuali possibili interazioni tra gli acquiferi superficiali e quelli più profondi.

2. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

I monti Pietralata e Paganuccio (qui detti *Monti del Furlo*, seguendo una denominazione locale), separati fra loro dalla profonda gola diaclinale del Furlo (Figg. 1-3), costituiscono un esempio particolarmente esplicativo, sebbene piuttosto semplice dal punto di vista morfostrutturale, delle dorsali anticlinali carbonatiche che caratterizzano l'Appennino Umbro-Marchigiano (cf. Diligenti *et al.*, 2004).

I due rilievi anzidetti costituiscono la terminazione settentrionale di una più ampia morfostruttura ad assetto anticlinorico (*Dorsale Marchigiana* di Centamore *et al.*, 1972) che partendo dal Massiccio dei Monti Sibillini attraversa quasi l'intera regione marchigiana, estendendosi verso NW fino al bacino del fiume Metauro e andando così a costituire uno degli elementi morfostrutturali più rilevanti di questo settore dell'Appennino (Bisci & Dramis, 1991 *cum bibl.*). I rilievi del Monte Paganuccio (a SE, 976 m) e del Monte Pietralata (a NW, 888 m), in particolare, corrispondono a una accentuata culminazione della *Dorsale* che, in direzione assiale,

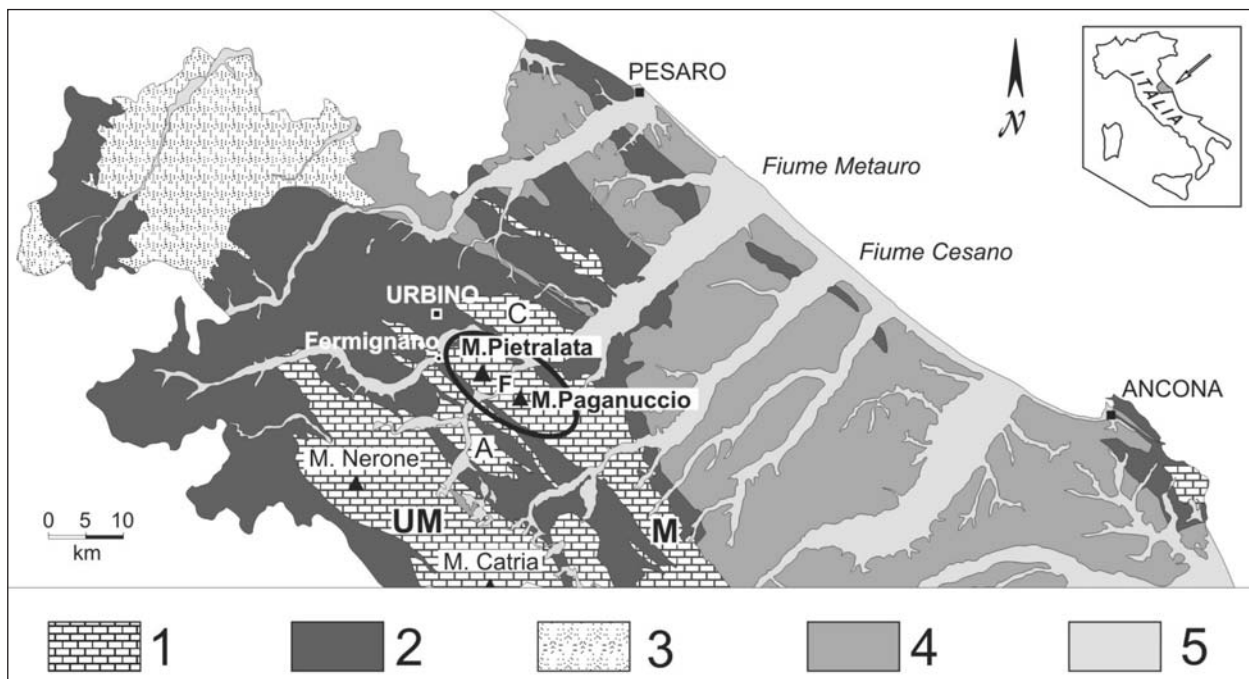


Fig. 1 - Ubicazione dell'area e assetto geologico regionale. 1 = termini calcarei e calcareo-marnosi meso-cenozoici delle dorsali carbonatiche; 2 = termini marnoso-calcarei, evaporitici e siliciclastici cenozoici; 3 = Coltre della Val Marecchia; 4 = termini terrigeni plio-pleistocenici; 5 = depositi alluvionali e costieri del Pleistocene medio-Olocene; M = Dorsale Marchigiana; UM = Dorsale Umbro-Marchigiana; A = Dorsale minore di Acqualagna; C = Dorsale minore dei Monti della Cesana.

Location of the study area and regional geologic setting. 1 = Meso-Cenozoic calcareous and marly-calcareous formations of the carbonatic ridges; 2 = Cenozoic marly-calcareous, evaporitic and siliciclastic formations; 3 = Val Marecchia allochthon; 4 = Plio-Pleistocene terrigenous formations; 5 = Middle Pleistocene-Holocene fluvial and coastal deposits; M = Marche Ridge; UM = Umbria-Marche Ridge; A = Acqualagna minor Ridge; C = Monti della Cesana minor Ridge.

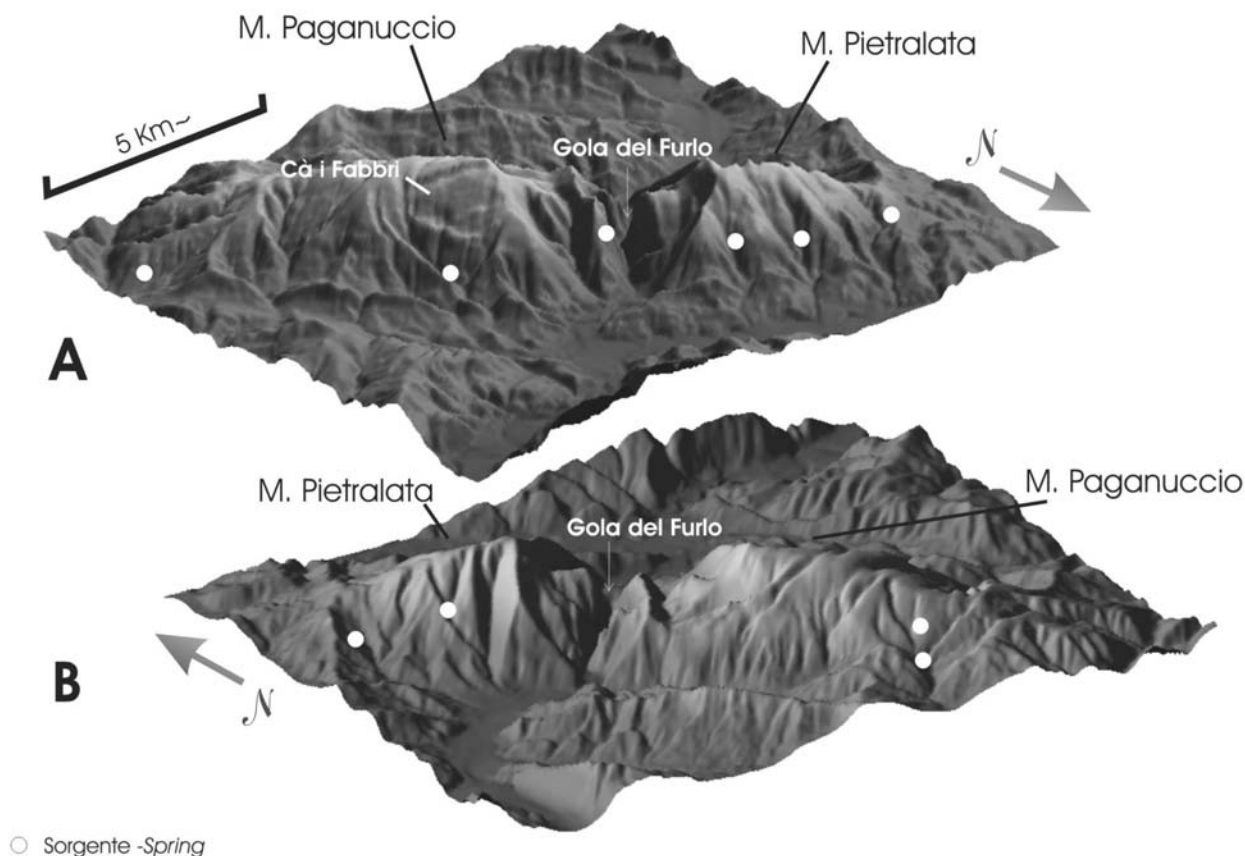


Fig. 2 - DTM dei fianchi sud-occidentale (A) e nord-orientale (B) dei Monti del Furlo e ubicazione delle sorgenti perenni monitorate nel 2004. Si notino alla base dei versanti, in A, la serie dei *flatirons* e, in B, la fitta rete di solchi di erosione. Per una discussione più approfondita si veda il testo. Esagerazione verticale 1:2.

DTM of south-western (A) and north-eastern (B) flanks of Monti del Furlo and location of the perennial springs monitored in 2004. Please note at the ridge foot-slope, in A the series of *flatirons*, and in B the closely-spaced parallel gullies. See the text for a more detailed discussion. Vertical exaggeration 1:2.

digrada rapidamente sia verso NW (terminando nella valle del Metauro all'altezza di Fermignano, fig. 1), sia verso SE (descrivendo l'ampia depressione topografica attraversata dalla valle del Fiume Cesano, fig. 1). Verso nord-est la *Dorsale* si collega con una stretta depressione sinclinale (sinclinale del Metauro) che la separa da una dorsale anticlinale minore più esterna (Monti della Cesana), mentre verso le aree interne (sud-ovest), si collega all'ampio sinclinorio corrispondente col cosiddetto *Bacino Marchigiano Interno* (Centamore *et al.*, 1972).

Dal punto di vista strutturale la *Dorsale* coincide con una piega NE-vergente, caratterizzata da una geometria a scatola, con cerniera piatta e fianchi ripidi (Deiana & Pialli, 1994 *cum bibl.*) e asse localmente con direzione N120°. L'immersione della linea di cerniera, rispettivamente verso NW a Monte Pietralata e verso SE a Monte Paganuccio, evidenzia come la culminazione topografica della *Dorsale*, espressa dai Monti del Furlo, corrisponda a una culminazione strutturale dell'anticlinale. Inoltre, singolarmente, è proprio in corrispondenza della culminazione stessa (Figg. 2 e 3) che il Fiume Candigliano oltrepassa la *Dorsale* attraverso il profondo *canyon* della Gola del Furlo (*cf.* Mayer *et al.*, 2003).

A differenza di quanto si osserva in molte anticli-

nali umbro-marchigiane, il fianco esterno della struttura non presenta superfici di sovrascorrimento riconoscibili in affioramento. Il versante che collega la sommità della dorsale con il fondovalle (qui coincidente con la zona assiale della sinclinale del Metauro) è invece interessato da un esteso retroscorrimento (Capuano & Giampieri, 1989).

La strutturazione della dorsale è iniziata nel Tortoniano, a seguito di una tettonica a pieghe e *thrust* con vergenza orientale (Centamore *et al.*, 2002 *cum bibl.*). Tra la fine del Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio, l'attività plicativa e dei *thrust* si è esaurita, lasciando posto a un sollevamento generalizzato accompagnato da movimenti differenziali e da una deformazione *post-thrusting* cui corrispondono faglie associabili a una estensione orientata in senso WSW-ENE (Di Bucci *et al.*, 2003).

I terreni che costituiscono i Monti del Furlo appartengono (*cf.* Cecca *et al.*, 2001) ai termini meso-cenozoici della Successione Umbro-Marchigiana (Fig. 3) compresi fra le formazioni del *Calcere Massiccio* (Lias inferiore) e del *Bisciario* (Miocene inferiore). Il nucleo della dorsale anticlinale è costituito dal *Calcere Massiccio* (Fig. 3), la formazione più antica affiorante nell'area, ben visibile sia sulle pareti della Gola del Furlo (con spessori superiori a 500 m) che nell'adiacente

forra del Buzzo e rappresentata da calcari dolomitici in strati mal definiti, da spessi a molto spessi, depositi in ambiente di piattaforma carbonatica. I termini del Giurassico inferiore e medio compresi fra il *Calcare Massiccio* e la base della *Maiolica* sono rappresentati da litofacies prevalentemente carbonatiche, spesso nodulari, con rapporti geometrici complessi e notevole variabilità laterale (cf. Cecca et al., 2001 cum bibl.) che esprimono un ambiente di deposizione di scarpata/alto strutturale. La *Maiolica* (Giurassico superiore-Cretacico

inferiore), di spessore variabile da poco più di 100 m a circa 300 m, costituita da calcari micritici bianchi ben stratificati con selce grigio-nerastra in liste e noduli, affiora tutt'attorno al nucleo dell'anticlinale inciso dalla Gola del Furlo e dalla forra de Il Buzzo (Fig. 3). Le sovrastanti *Marne a Fucoidi* (Cretacico medio, spessore di circa 80 m), rappresentate da argille e marne varicolori passanti verso l'alto a calcari marnosi da bianco-verdastri a bianco rosati con liste e noduli di selce varicolore, separano la *Maiolica* dai termini del gruppo delle

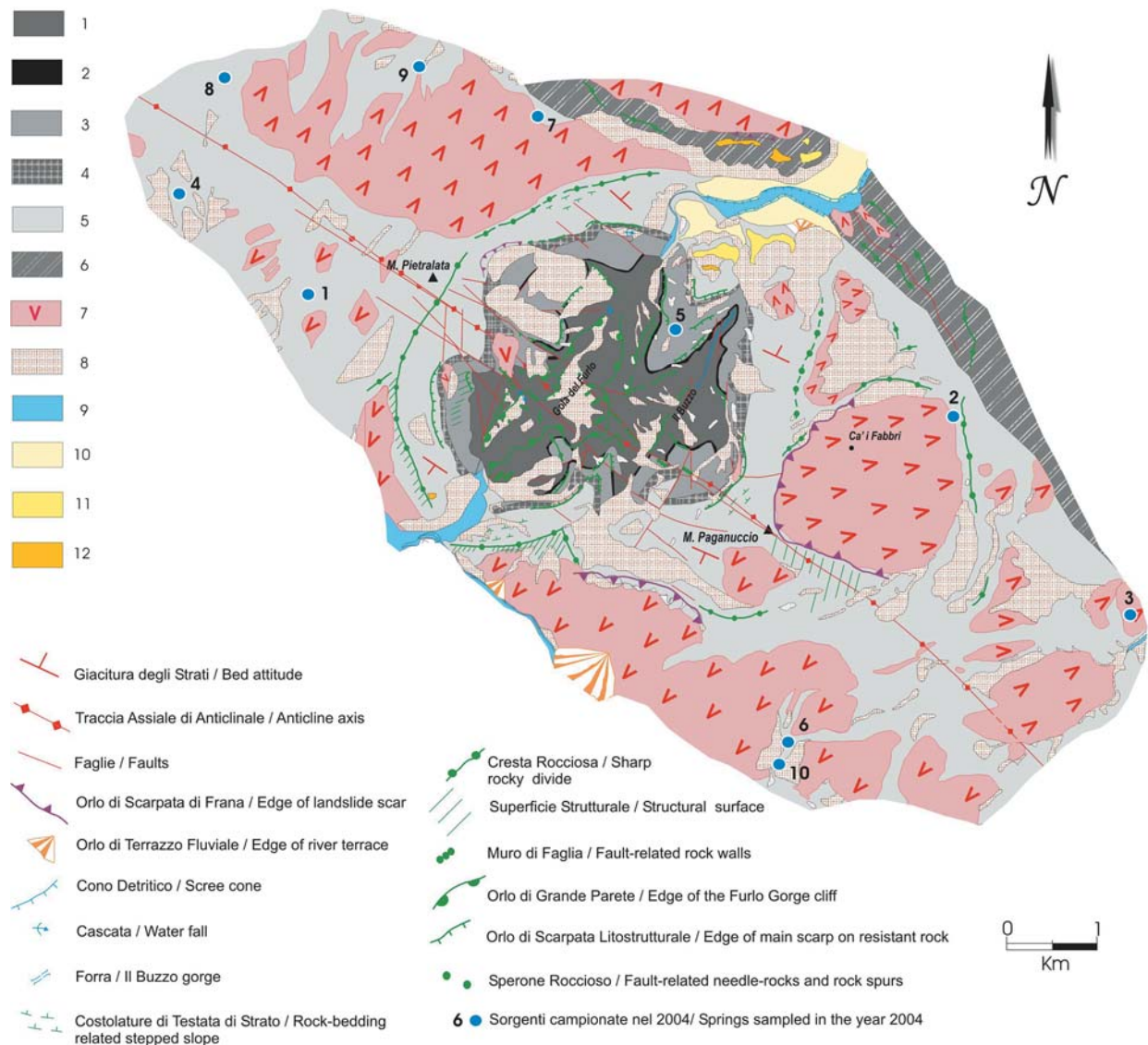


Fig. 3 - Schema geologico-geomorfologico dei Monti del Furlo e ubicazione delle sorgenti perenni monitorate nel 2004. 1 = Calcare Massiccio-Corniola (Triassico superiore-Giurassico inferiore); 2 = Rosso Ammonitico (Giurassico inferiore); 3 = Bugarone-Maiolica (Giurassico medio-Cretaceo medio); 4 = Marne a Fucoidi (Cretaceo medio); 5 = Scaglia Rossa-Scaglia Cinerea (Cretaceo superiore-Oligocene); 6 = Bisciaro (Miocene inferiore); 7 = Corpo di frana (Pleistocene superiore-Olocene); 8 = Detrito caotico di versante (Pleistocene superiore-Olocene); 9 = Alluvioni in parte terrazzate (Olocene); 10 = Alluvioni terrazzate (Pleistocene superiore); 11 = Alluvioni terrazzate (Pleistocene medio-finale); 12 = Alluvioni terrazzate (Pleistocene medio).

Geologic-geomorphologic sketch map of Monti del Furlo and location of the spring monitored in 2004. 1 = Calcare Massiccio-Corniola Fms. (upper Triassic-lower Jurassic); 2 = Rosso Ammonitico Fm. (lower Jurassic); 3 = Bugarone-Maiolica Fms. (middle Jurassic-middle Cretaceous); 4 = Marne a Fucoidi Fm. (middle Cretaceous); 5=Scaglia Rossa-Scaglia Cinerea Fms. (upper Cretaceous-Oligocene); 6 = Bisciaro Fm. (lower Miocene); 7 = Landslide (upper Pleistocene-Holocene); 8 = Slope-waste deposits (upper Pleistocene-Holocene); 9 = Modern flood plain deposits and Holocene alluvium (Holocene); 10 = Terrace alluvium (upper Pleistocene); 11 = Terrace alluvium (late-middle Pleistocene); 12 = Terrace alluvium (middle Pleistocene).

Scaglie (formazioni della *Scaglia Bianca*, *Scaglia Rossa*, *Scaglia Variegata* e *Scaglia Cinerea*).

Questi ultimi, riferibili all'intervallo Cretacico superiore-Oligocene, con uno spessore complessivo di quasi 600 m, ricoprono gli interi fianchi della dorsale anticlinale (Fig. 3), e sono caratterizzate da litofacie calceree e calcareo-marnose a luoghi contenenti liste e noduli di selce da nerastra a rosata. Data la posizione di questi terreni sui fianchi della dorsale, la differente competenza litologica dei diversi intervalli e, soprattutto, la presenza di spessi orizzonti marnosi intercalati a calcari/calcari marnosi ben stratificati, costituiscono elementi di importanza fondamentale nel predisporre la struttura ai collassi gravitativi oggetto della presente nota. In tale ambito, assumono un significato molto rilevante i caratteri litostratigrafici della Scaglia Rossa che, in accordo con la suddivisione di Wezel (1979) risulta localmente costituita (dal basso verso l'alto) da calcari rosati con selce (*Lower Cherty mbr.*), calcari rossi senza selce (*Calcarenite mbr.*), un orizzonte marnoso (*Marly mbr.*), calcari marnosi rossi senza selce (*Marls and limestones mbr.*), calcari rosati con selce (*Upper Cherty mbr.*). In particolare, alcuni livelli marnosi paleocenici, con spessori compresi fra circa 3 e 10 m, intercalati nella porzione inferiore dei calcari marnosi rossi senza selce, giocano un ruolo determinante nella predisposizione al dissesto dei due fianchi della dorsale anticlinale. Altrettanto importanti sono i numerosi e raffittiti interstrati marnosi di spessore decimetrico che caratterizzano sia i calcari rosati con selce della parte superiore della formazione che la base della sovrastante *Scaglia Variegata*.

La formazione del *Bisciario* (Miocene inferiore, circa 70 m di spessore), costituita da calcari siliceo-marnosi e marne di colore grigio-verdastro in strati variabili da pochi centimetri a 10-20 cm, chiude la locale successione (Fig. 3) e va a costituire l'ossatura di una serie di rilievi omoclinali (*flatirons*) distribuiti lungo l'intero fianco orientale dell'anticlinale (Fig. 2).

L'assetto geomorfologico dell'area al di fuori della Gola del Furlo ricalca piuttosto fedelmente la struttura anticlinale del substrato. I due settori principali della Dorsale, rappresentati da Monte Pietralata e Monte Paganuccio (Figg. 2 e 3), evidenziano efficacemente sia la geometria arrotondata della struttura anticlinale che le immersioni assiali verso l'area periclinale (a nord-ovest) e verso una accentuata depressione assiale (a sud-est). I fianchi della dorsale sono inoltre bordati da dorsali omoclinali segmentate in caratteristici *flatirons* (Fig. 2). Inoltre, in corrispondenza della stratificazione sub-orizzontale o debolmente inclinata della zona di cerniera si sviluppano caratteristici piani sommitali, mentre i versanti, a franapoggio, presentano angoli di pendio che approssimano l'inclinazione degli strati o sono leggermente maggiori.

La morfostruttura ha acquisito la sua attuale conformazione grazie all'intervento di processi diversi, dalla degradazione ai movimenti di massa, al dilavamento, a fenomeni crionivali. A prescindere dal tipo di processo, l'erosione selettiva ha quasi ovunque accentuato sia i caratteristici contrasti litologici nei termini giurassico-miocenici della locale successione, sia le geometrie delle superfici di strato e le zone di faglia. Inoltre, dato che degradazione ed erosione sono stati

molto più efficaci nel corso degli episodi freddi pleistocenici, molte delle forme strutturali che oggi caratterizzano i Monti del Furlo, sono quasi completamente ereditate da fasi morfogenetiche fredde del passato (Nesci & Savelli 1986; Diligenti *et al.*, 2004).

Fra i meccanismi morfoevolutivi più recenti un'importanza fondamentale è rivestita da grandi frane per scivolamento che si osservano lungo i versanti a franapoggio che caratterizzano i fianchi della dorsale carbonatica (Fig. 3). Queste, come poco sopra accennato, trovano il fattore predisponente sia nella condizione giacitura degli strati sui fianchi della struttura, sia nella presenza a vari livelli di intervalli litologicamente deboli, come le *Marne a Fucoidi* o gli intervalli marnosi all'interno della *Scaglia Rossa* poc'anzi menzionati. Altro importante fattore che predispone al collasso di interi versanti e al progressivo "sgusciamiento" della struttura, è la presenza di fitte reti di fratture che interessano le rocce del substrato con direzioni sia sub-parallele che trasversali all'asse dell'anticlinale. Il collasso gravitativo dei versanti si manifesta in svariati modi, dalle semplici fratture di tensione e piccole trincee che, specie nelle zone sommitali, esprimono un blando scorrimento superficiale degli strati, ai potenti ammassi di detrito caotico che ricoprono spesso interi versanti. Per tutta l'estensione dei versanti (*cf.* Figg. 2, 4, 5) si possono osservare vistose gradonate e terrazzamenti a sviluppo ortogonale alla linea di massima pendenza, nicchie di distacco, pacchi di strati ruotati o completamente scompaginati. La maggior parte dei fenomeni gravitativi dell'area coinvolge il substrato roccioso, costituito soprattutto dalle formazioni appartenenti al gruppo delle Scaglie.

Molte delle maggiori frane (come *p. es.* quella di Ca i Fabbri, Figg. 2 e 3, *cf.* Diligenti *et al.*, 2004) hanno origine dai piani sommitali, in corrispondenza della cresta della struttura anticlinale (Figg. 2 e 3). In alcuni casi (*p. es.* Ca i Fabbri) sono presenti accentuate scarpate di frana, mentre in altri casi il movimento si sviluppa con gradualità, senza che la zona di coronamento mostri una vera e propria scarpata principale. Una caratteristica comune a tutti i maggiori corpi di frana è una evoluzione retrogressiva, con presenza di masse rocciose roto-traslate poco scompagnate e morfologie di frana molto fresche nella parte alta e disarticolazione dei materiali via via crescente verso il piede dei versanti. Nella parte medio-inferiore dei versanti, in particolare, gli accumuli sono rappresentati da potenti ammassi detritici (fino a oltre 100 m di spessore) ad assetto caotico (*cf.* fig. 9 in Nesci & Savelli, 1986). La scarsa coesione di queste masse, inoltre, fa sì che su di esse si imposti tutta una serie di movimenti di massa superficiali e che esse vengano attivamente smantellate dalle acque superficiali, con produzione di profondi solchi d'erosione cui si collegano con detritici e detritico-alluvionali (Figg. 2-5).

I principali accumuli di frana e/o i corpi rocciosi traslati e disarticolati anche in modo molto blando, sviluppando una significativa permeabilità secondaria, sono associati ad acquiferi e sorgenti perenni (Figg. 2 e 3) o a deflusso saltuario emergenti sia alla base del rilievo che a quote più elevate. In certi casi, gli accumuli di frana sembrano costituire "mezzi filtranti" in grado di rimescolare le acque "di frana" superficiali con acque di provenienza relativamente più profonda



Fig. 4 - Veduta del versante nord-orientale di M. Paganuccio. In evidenza la morfologia di frana sull'intero versante e le profonde incisioni al piede di grandi accumuli di frana ormai stabilizzati.

The north-eastern flank of Monte Paganuccio. Please note the landslide morphology on the whole hillslope and, in the lower sector of the slope, some deep gullies affecting inactive chaotic landslide deposits.



Fig 5 Morfologia di frana sul versante sud-occidentale di M. Paganuccio. Si notino al piede del versante le forme calanchive impostate su materiali di frana caoticizzati.

Landslide morphology on the south-western flank of Monte Paganuccio. Accelerate erosion emphasized by deep gullying is actively removing the down-slope part of the landslide deposits.

3. CARATTERIZZAZIONE IDROCHIMICA DELLE ACQUE SORGIVE

I principali accumuli di frana e/o i corpi rocciosi traslati e disarticolati anche in modo molto blando, sviluppando una significativa permeabilità secondaria, sono sede di acquiferi e sorgenti perenni o a deflusso saltuario emergenti in generale alla base del rilievo.

Dal diagramma quadrato di Langelier-Ludwig (1942) (Fig. 6) si evidenzia come la totalità delle acque campionate si colloca nel campo delle bicarbonato calciche. Dalle analisi del 1984 (Noschese, 1984) risultavano due tendenze distinte, una verso composizioni clorurato sodiche (Trend "A"), con un campione (quello a più alta salinità) con caratterizzazione clorurato sodica, e una verso composizioni solfato calciche (Trend "B"). I campioni prelevati nel 2004, ad eccezione di uno che segue il Trend "A", si concentrano all'origine dei due Trend nel campo caratteristico delle acque bicarbonato calciche.

Il diagramma di saturazione della calcite (Fig. 7) evidenzia una distribuzione dei campioni tra la curva di saturazione della calcite alla pressione di CO₂ dei gas del suolo pari a 0.15 bar e quella dell'aria pari a 0.003 bar. La distribuzione dei campioni mostra una netta dipendenza dalla dissoluzione di calciti magnesiate, mentre si nota come i contenuti di HCO₃⁻ del 2004 rispetto a quelli del 1984 abbiano subito uno slittamento verso valori più prossimi alla curva di saturazione per una P_{CO2} tipica dei gas del suolo. A titolo di comparazione dei dati sono stati inserite nel grafico le aree composizionali tipiche degli acquiferi profondi del massiccio carbonatico di Monte Nerone (Capaccioni *et al*, 2001) e le quelle di acquiferi superficiali in corpi di frana nell'alta valle del torrente Apsa nei pressi di Urbino (Sambuchi, 2004). Risulta evidente come i campioni si collochino in un campo di P_{CO2} intermedio tra quello tipico degli acquiferi in equilibrio con i valori tipici di un suolo maturo e quello caratteristico degli acquiferi profondi.

Il diagramma di correlazione tra sodio e cloruri

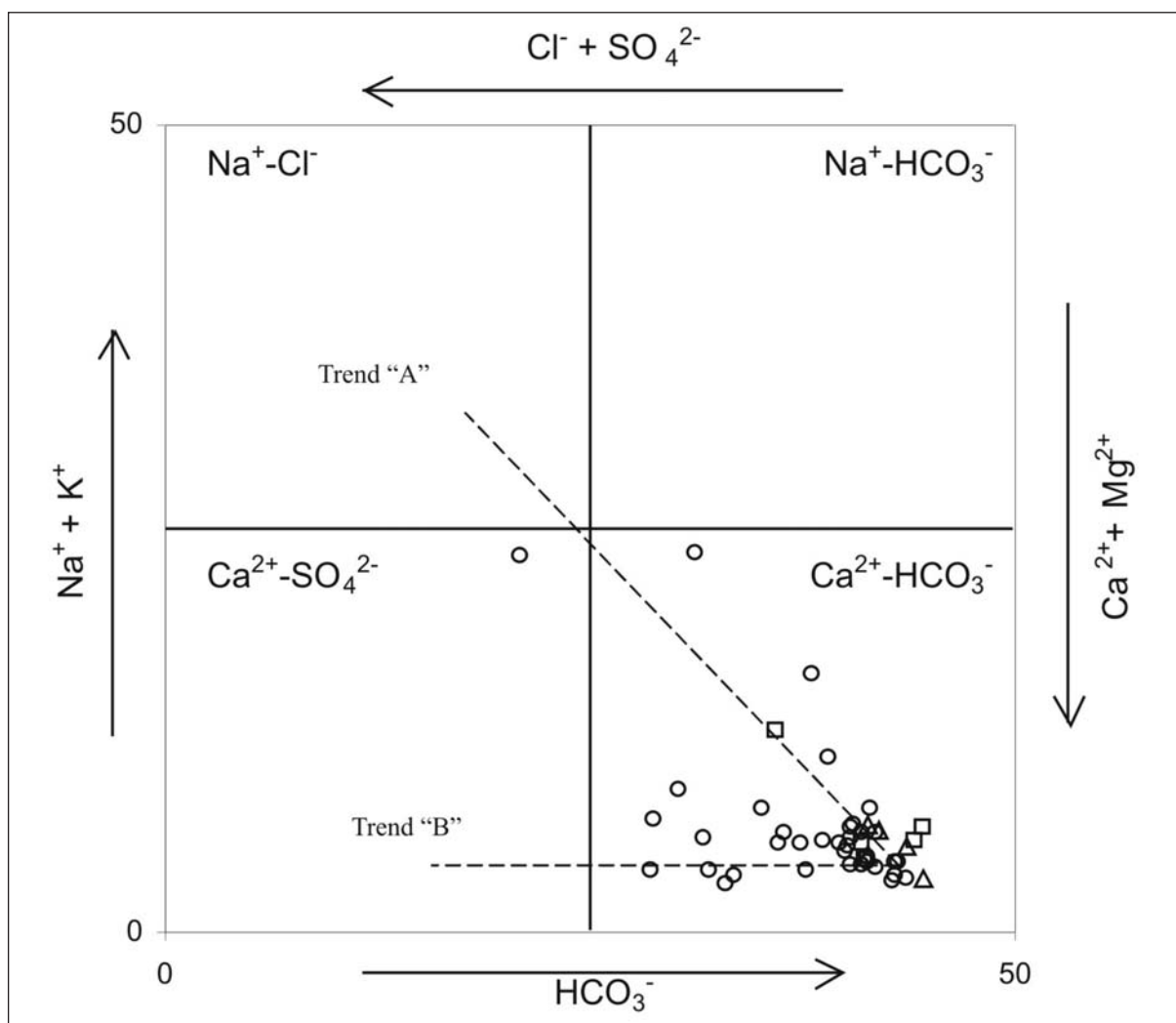


Fig. 6 - Diagramma classificativo di Langelier-Ludwig delle acque dei Monti del Furlo. Circoletti = campioni prelevati nel 1984 sul Monte Pietralata. Quadrati=campioni prelevati nel 2004 sul Monte Pietralata. Triangoli=campioni prelevati nel 2004 sul Monte Paganuccio.

Langelier-Ludwig's classification diagram of the Monti del Furlo spring water.

Open circles=samples from Monte Pietralata, year 1984. Open squares= samples from Monte Pietralata collected on 2004. Open triangles=samples from Monte Paganuccio, year 2004.

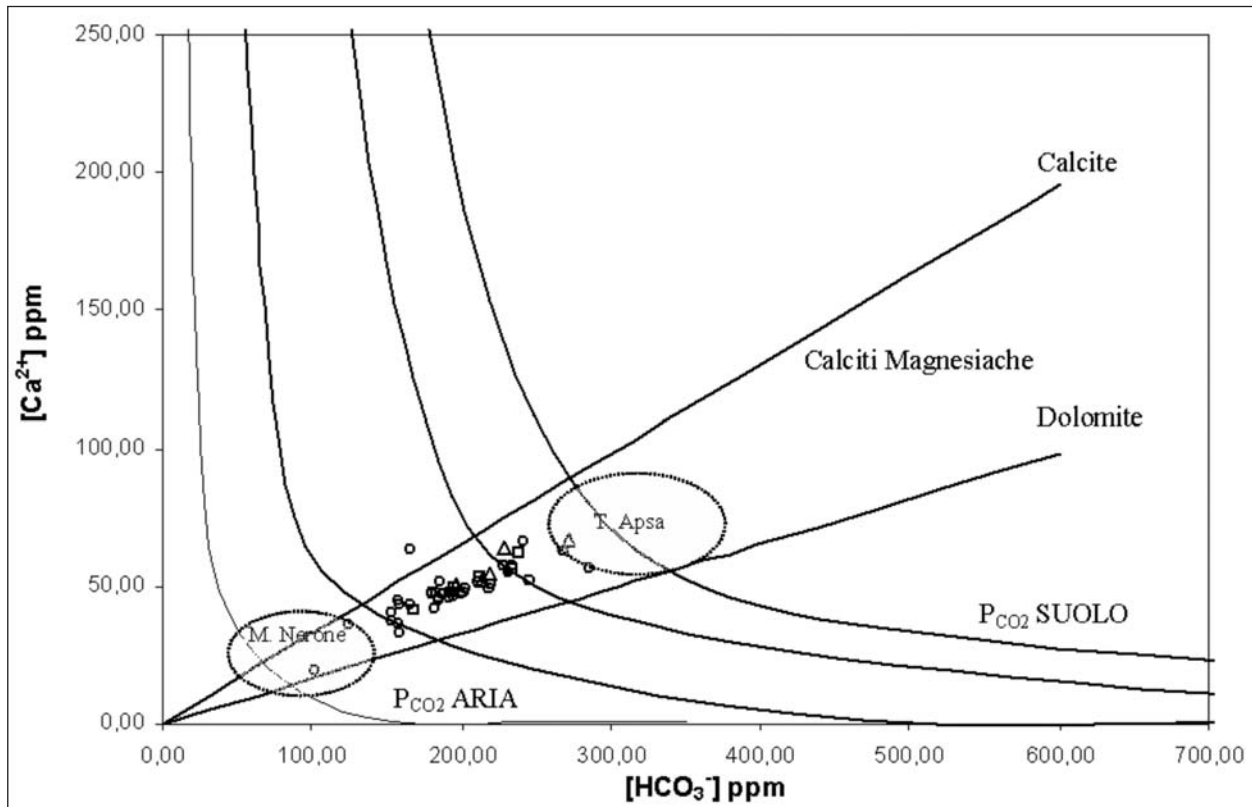


Fig. 7 - Diagramma di saturazione della Calcite. Simboli come in fig. 6.
Calcite saturation diagram. Symbols as in fig. 6.

(Fig. 8) evidenzia che le acque dei campioni prelevati tendono ad allinearsi in prossimità della retta di rapporto di equivalenza sodio/cloruri 1:1, rapporto che si ottiene quando i due ioni derivano dalla dissoluzione di cloruro di sodio. Dal grafico Ca^{2+} / SO_4^{2-} (Fig. 9) si nota come la distribuzione della maggior parte dei campioni prelevati nel 1984 e nel 2004 non mostrano correlazioni significative tra le due variabili, con rapporti tra i due elementi decisamente superiore all'unità, indicando quindi una netta e costante dominanza della componente calcica, mentre le acque campionate nel 1984 del Trend "B" mostrano una netta correlazione positiva parallela alla retta di equivalenza calcio/solfati.

In base ai dati idrochimici raccolti (Tab. 1) si può affermare che le acque sotterranee pur appartenendo alla categoria delle bicarbonato calciche mostrano una tendenza verso composizioni clorurate sodiche. In considerazione dell'assenza di depositi noti di NaCl nelle formazioni che costituiscono gli acquiferi, tale caratteristica potrebbe essere imputabile alla dissoluzione nelle stesse di cloruro di sodio probabilmente di origine "ciclica", ovvero da deposizione umida o secca di microcristalli di NaCl originatisi da spray marino e trasportati in sospensione nell'entroterra. In particolare, a risentire dei sali ciclici sono per lo più le sorgenti poste alle quote più elevate.

La tendenza verso composizioni solfato calciche, evidente sui campioni del 1984 (Trend "B", Fig. 6), potrebbe essere messa in relazione a miscele con acque di circuiti idrogeologici più profondi, la cui caratterizzazione solfato calcica potrebbe derivare da pro-

cessi ossidativi su solfuri dispersi, la cui presenza è documentata sulle formazioni della Scaglia Bianca, Marne a Fucoidi e Maiolica (cf. Coccioni *et al.*, 1994; 1987.) L'assenza di evidenze di processi di miscelazione nei campioni prelevati nel 2004 potrebbe derivare da un generale abbassamento dei livelli piezometrici durante l'ultimo ventennio e/o dalla localizzazione delle loro emergenze a quote superiori ai 300 m slm.

I campioni dell'area in esame, come la maggior parte dei campioni di acque provenienti dagli acquiferi carbonatici della regione, mostrano contenuti in Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^- riferibili a prevalente dissoluzione di calciti magnesiache.

Le acque in esame mostrano valori di pressione di CO_2 prossimi a quelli tipici dei suoli (0.15 bar), ciò indica verosimilmente una circolazione idrica relativamente superficiale, come del resto testimoniata dai bassi valori di portata misurati. Inoltre si è notato come le sorgenti alle pendici dei massicci presentino un contenuto di CO_2 minore rispetto le sorgenti poste alle quote più elevate. Nel grafico in esame la traslazione dei campioni rispetto le due campagne di monitoraggio è dovuta verosimilmente al fatto che nel 1984 i campioni sono stati prelevati nel mese di settembre, periodo siccitoso, mentre nel 2004 i campioni prelevati nel mese di febbraio hanno risentito della miscelazione con acque di circolazione più superficiali, le quali si sono arricchite di CO_2 come conseguenza della circolazione negli orizzonti più superficiali del suolo. Inoltre nel mese di febbraio gli apporti di acque superficiali hanno fatto sì che la componente bicarbonato calcica prevalga in modo

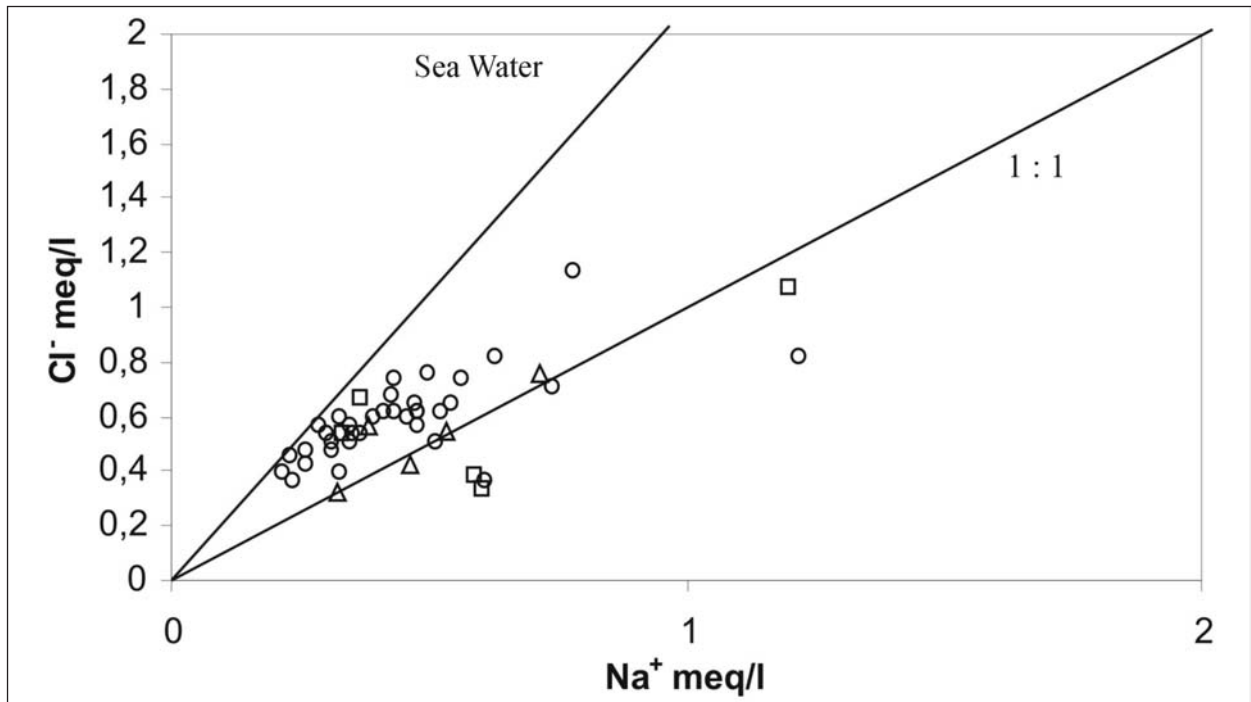


Fig. 8 - Diagramma di correlazione Cl⁻/Na⁺. Simboli come in Fig. 6.
Cl⁻/Na⁺ correlation diagram. Symbols as in Fig. 6.

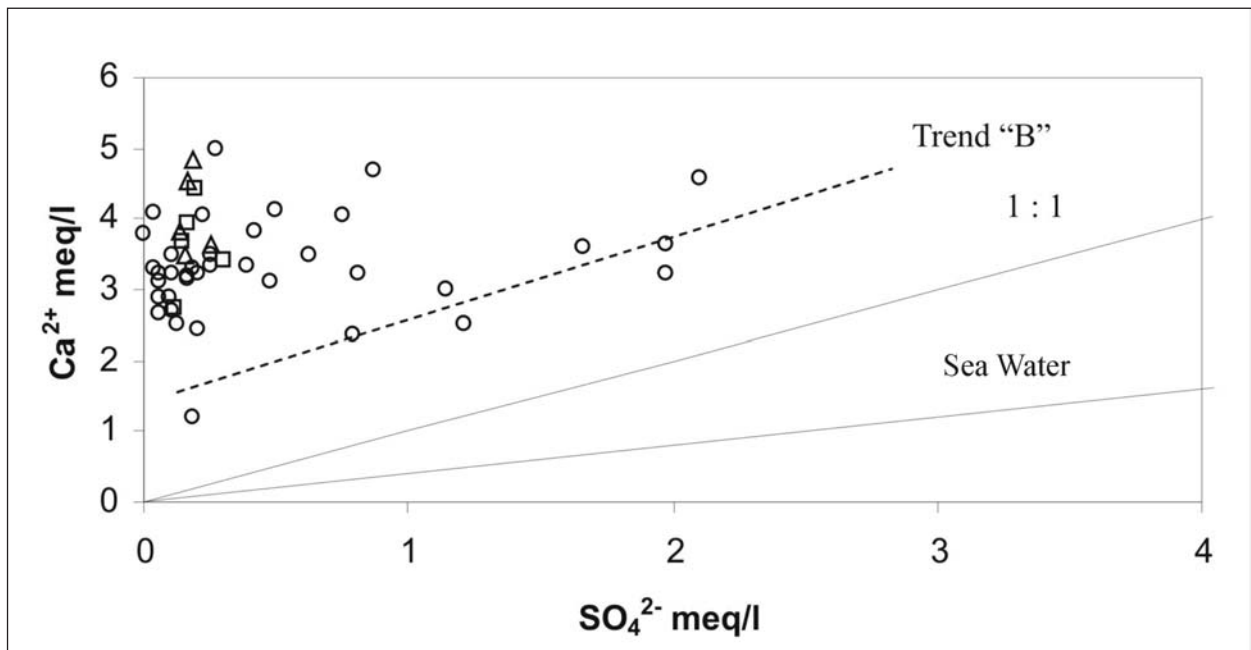


Fig. 9 - Diagramma di correlazione Ca²⁺/SO₄²⁻. La linea tratteggiata indica i campioni corrispondenti al Trend "B" di fig. 1. Simboli come in fig. 6.

Ca²⁺/SO₄²⁻ correlation diagram. Dashed line points out samples from Trend "B" on fig. 1. Symbols as in fig. 6.

decisivo sulle altre due. Un'ulteriore conferma della superficialità degli acquiferi deriva dalle concentrazioni di nitrati, relativamente alte, riscontrate nelle campagne di monitoraggio del 1984 e 2004, la cui origine è imputabile all'attività biologica negli orizzonti superficiali humificati (nitrificazione). A tutt'oggi, i valori di tali com-

posti sono rimasti pressoché inalterati, unica eccezione è il campione sito in località Ca'Bernardi (Sorgente n° 10) in cui i valori si aggirano attorno ai 52 mg/l; tale anomalia potrebbe essere connessa al fatto che le acque sotterranee circolano al di sotto di aree adibite ad uso agricolo.

Tab.1 - Parametri chimici determinati. I campioni del 1984 privi di numerazione sono quelli non ricampionati e quindi non comparati con quelli del 2004.

Chemical parameters. The unnumbered samples, collected only in 1984, are not compared with 2004 samples.

ANALISI CHIMICHE DEI CAMPIONI PRELEVATI NEL 1984								
Sorgente	Nitrati	Solfati	Cloruri	Alcalinità	Potassio	Sodio	Cloro	Magnesio
n°	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	0,8	4,5	14	171	0,7	5,0	58	2,0
	1,5	3,0	21	195	1,6	10,5	64	2,0
	2,0	8,0	13	108	2,0	14,0	24	2,4
	1,1	9,0	22	256	1,2	9,5	82	6,0
	1,2	2,0	17	180	0,6	6,0	58	4,0
8	2,0	4,5	20	210	1,3	11,0	66	4,0
	2,0	9,0	22	201	1,1	11,0	63	8,0
	4,2	8,0	26	201	0,7	10,0	62	8,0
	3,0	3,0	22	250	2,3	11,0	81	3,0
	16,0	36,0	18	210	1,4	11,8	65	14,0
	1,5	39,0	29	271	3,6	28,0	77	11,0
	8,0	20,0	26	223	2,0	13,0	70	11,0
	1,7	30,0	40	220	1,5	18,0	67	15,0
	1,2	19,0	22	213	1,8	12,0	65	9,0
9	0,9	3,0	18	170	0,9	8,0	49	7,0
	1,2	10,0	20	165	0,8	6,6	54	1,0
	0,9	5,0	19	213	0,5	8,1	66	6,0
	1,2	2,0	16	201	0,6	5,3	70	1,0
	1,9	5,0	25	314	2,2	17,0	83	13,0
	1,5	24,0	14	296	0,9	7,5	92	10,0
	1,2	101,0	23	268	0,9	12,5	100	5,0
	1,2	13,0	29	232	2,0	14,5	73	7,0
	1,0	95,0	19	177	1,4	101,0	50	30,0
4	1,3	58,0	19	168	0,5	8,5	53	18,0
	0,4	3,0	15	165	9,9	6,0	50	4,0
7	1,2	6,0	18	198	0,6	7,2	65	4,0
	0,8	10,0	17	134	0,6	7,2	47	2,0
	0,8	38,0	23	256	0,7	10,9	81	14,0
	1,2	11,0	13	195	0,5	5,5	65	4,0
1	1,5	5,0	24	170	9,8	9,9	60	2,0
	1,0	55,0	22	223	0,9	10,0	70	18,0
	1,1	12,0	20	241	0,7	8,0	72	10,0
	1,5	80,0	21	201	1,2	9,0	62	25,0
	1,4	23,0	27	210	1,5	11,5	67	10,0
	1,4	12,0	19	204	0,7	7,0	65	7,0
	1,4	95,0	21	183	2,6	7,5	94	6,0
	5,0	42,0	197	244	4,8	110,0	76	22,0

ANALISI CHIMICHE DEI CAMPIONI PRELEVATI NEL 2004								
Sorgente	Nitrati	Solfati	Cloruri	Alcalinità	Potassio	Sodio	Cloro	Magnesio
n°	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	3,1	14,6	38,0	213,5	0,01	27,5	68,8	2,8
2	0,3	9,0	26,8	298,9	0,48	16,5	97	2,3
3	1,3	8,0	11,6	250,1	0,74	7,4	91	1,7
4	0,4	9,4	13,6	262,3	0,48	13,6	88,8	2,5
5	1,2	12,0	19,4	231,8	1,68	12,3	73	1,8
6	1,6	6,4	15,2	237,9	0,62	10,6	76,5	2
7	0,2	7,2	23,8	231,8	0,01	8,4	74	1,8
8	0,3	8,0	11,8	256,2	0,64	13,9	79	2
9	1,3	5,8	19,0	183,0	0,01	7,6	55	3
10	52	7,6	20,2	213,5	0,01	8,8	70,3	1,8

4. CONCLUSIONI

Sono state visionate numerose sorgenti presenti sulla dorsale carbonatica di M. Pietralata-M. Paganuccio, molte delle quali ubicate in corrispondenza dei principali accumuli di frana, allo scopo di fornire l'inquadramento geologico-geomorfologico delle stesse e fornire una caratterizzazione idrochimica.

Le principali conclusioni sono riassumibili come segue:

- Le frane alle quali molte sorgenti sono collegate sono dei profondi scorrimenti di carattere roto-traslattivo legate sia alla giacitura a franapoggio che alla presenza di livelli litologicamente "deboli" all'interno della locale successione. Le frane sono caratterizzate da settori attivi, o comunque di più recente attivazione soprattutto verso le zone di coronamento del corpo principale. Verso la base i corpi di frana sono invece costituiti da potenti accumuli detritici ad assetto caotico. La maggior parte delle sorgenti è ubicata ai piedi o ai margini dei corpi di frana di cui sopra. Altre sorgenti, invece, scaturiscono direttamente da rocce del substrato.
- Le acque medio minerali dei detriti si caratterizzano prevalentemente in bicarbonato calciche con elevati valori di PCO₂ all'equilibrio e significativa presenza di nitrati. I dati idrochimici del 1984 mostrano trend di miscelezioni riferibili a risalite di acque da circuiti idrogeologici più profondi, mentre la modesta tendenza verso composizioni clorurate sodiche potrebbe associarsi alle deposizioni umide da sali ciclici.

BIBLIOGRAFIA

Bisci C. & Dramis F. (1991) - *La Geomorfologia delle Marche*. In: Minetti A., Nanni T., Perilli F., Polonara L. & Principi M. (Eds.), *L'Ambiente Fisico delle Marche*. Geologia, Geomorfologia, Idrogeologia. Regione Marche, Giunta Regionale, Assessorato Urbanistica-Ambiente, pp. 81-113.

Burattini F., Nesci O. & Savelli D. (1989) - *Late Quaternary slope movements in the north Marche Apennines. Examples from the lower Candigliano and middle Metauro river basins*. Acta Naturalia de "l'Ateneo Parmense", **25** (1/4), pp. 61-70.

Capaccioni B., Didero M., Paletta C., Salvatori P. (2001) - *Hydrogeochemistry of groundwaters from carbonate formation with basal gypsiferous layers: an example from the Mt Catria-Mt Nerone ridge (northern Apennines, Italy)*. J. Hydrol., **253**, pp. 14-26.

Capuano N. & Giampieri A. (1989) - *Appennino marchigiano settentrionale: il retroscorrimento dei Monti della Cesana*. Boll. Soc. Geol. It., **108**, pp. 59-68.

Cecca F., Catenacci V., Conte G., Cresta S., D'Andrea M., Graziano R., Menichetti M., Molinari V., Pampaloni M. L., Pantaloni M., Pichezzi R. M., Rossi M., (2001) - *Risultati preliminari del rilevamento nel settore sud-occidentale del Foglio 280 Fossombrone della carta geologica d'Italia*. Boll. Serv. Geol. d'It., **115** (1996), pp. 3-70.

Centamore E., Jacobacci A. & Martelli G., (1972) - *Modello strutturale Umbro-Marchigiano. Correlazioni possibili con le regioni adiacenti*. Boll.

Serv. Geol. d'Italia, **93**, pp. 155-185.

Centamore E., Fumanti F. & Nisio S. (2002) - *The Central-Northern Apennines geological evolution from Triassic to Neogene time*. Boll. Soc. Geol. It., Vol. spec. **1**, pp. 181-197.

Coccioni R., Moretti E., Nesci O., Savelli D., Tramontana M., Veneri F., Wezel F. C., con contributo di Cecca F., Cresta S., Passeri L. (1994) - *Assetto stratigrafico e strutturale della successione Umbro-Marchigiana-Romagnola*. Guide Geologiche Regionali, **7**, pp. 103-118.

Coccioni R., Nesci O., Tramontana M., Wezel F. C., Moretti E. (1987) - *Descrizione di un livello guida "radiolaritico-bituminoso-ittiolitico" alla base delle Marne a Fucoidi nell'appennino Umbro Marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., **106**, pp. 183-192.

Deiana G. & Piali G. (1994) - *Le province strutturali dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, pp. 473-484.

Di Bucci D., Mazzoli S., Nesci O., Savelli D., Tramontana M., De Donatis M. & Borraccini F. (2003) - *Active deformation in the frontal part of the Northern Apennines: insights from the lower Metauro River basin area (northern Marche, Italy) and adjacent Adriatic off-shore*. J. Geodyn., **36**, pp. 213-238.

Diligenti A., Nesci O. & Savelli D. (2004) - *Geomorphosites in the landscape of Monti del Furlo (Northern Marche Apennines)*. Il Quaternario, It. Journ. Quat. Sc., in stampa.

Langelier W.F., Ludwig H.F. (1942) - *Graphical method for indicating the mineral character of natural waters*. J. Am. Waterworks Assoc., **34**, pp. 335-352.

Mayer L., Menichetti M., Nesci O. & Savelli D. (2003) - *Morphotectonic approach to the drainage analysis in the North Marche region, central Italy*. Quat. Internat., **101-102**, pp. 157-167.

Nesci O. & Savelli D. (1986) - *Cicli continentali tardo-quadernari lungo i tratti vallivi mediani delle Marche settentrionali*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **9**, pp. 192-211.

Noschese T. (1984) - *Gli acquiferi della serie marchigiana nella zona dei M.ti delle Cesane-Pietralata. Studio delle sorgenti e delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque*. Tesi di Laurea inedita, Università degli Studi di Urbino, 168 pp.

Sambuchi P. (2004) - *Studio idrogeochimico delle acque sotterranee nell'area franosa dell'alta valle dell'Apsa (Urbino)*. Tesi di Laurea inedita, Università degli Studi di Urbino, 137 pp.

Wezel F. C. (1979) - *The Scaglia Rossa Formation of Central Italy: results and problems emerging from a regional study*. Acta Naturalia de "l'Ateneo Parmense", **15** (4), pp. 243-259.

Ms. ricevuto il 26 aprile 2004
Testo definitivo ricevuto il 22 dicembre 2004

Ms. received: April 26, 2004
Final text received: December 22, 2004

