

BOSSEA MMXIII

CONGRESSO NAZIONALE

LA RICERCA CARSOLOGICA IN ITALIA

Frabosa Soprana (Cn) – Grotte di Bossea
22-23 giugno 2013

ATTI

LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO DI BOSSEA

STAZIONE SCIENTIFICA DI BOSSEA CAI CUNEO – COMITATO SCIENTIFICO CENTRALE DEL CAI

L’acquifero carbonatico fratturato delle Sorgenti del Fiume Aso (Parco Nazionale dei Monti Sibillini): valutazioni sulla risorsa rinnovabile e sull’area di alimentazione

FRANCESCA BANZATO (*), LUCIA MASTRORILLO (*), TORQUATO NANNI (**), STEFANO PALPACELLI (**), MARCO
PETITTA (*), PAOLA VIVALDA (**)

RIASSUNTO

Il territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini è costituito prevalentemente da dorsali carbonatiche fratturate sedi di acquiferi di importanza strategica, che costituiscono la principale fonte di approvvigionamento idropotabile dell’intero territorio regionale. I criteri di gestione delle risorse idriche di questo territorio, quindi, devono rispondere alle esigenze di sfruttamento della risorsa garantendo, comunque, le aspettative di tutela di un’area dalle elevate caratteristiche ambientali.

La difficoltà di raggiungere soluzioni operative in questa direzione, ha portato le amministrazioni locali a collaborare con la comunità scientifica nella consapevolezza che la gestione ottimale della risorsa idrica richieda un’adeguata conoscenza dei processi che ne regolano la circolazione sotterranea, soprattutto in un acquifero fratturato. Le ricerche idrogeologiche sugli acquiferi carbonatici dei Monti Sibillini hanno progressivamente delineato un quadro idrogeologico sempre di maggior dettaglio dell’intera area soggetta alla tutela del Parco. In questa nota vengono presentati i risultati di uno studio condotto in collaborazione con il CIIP, gestore degli impianti di approvvigionamento idropotabile della provincia di Ascoli Piceno.

Il sistema sorgivo del fiume Aso costituisce il livello di base di una vasta ed articolata circolazione idrica sotterranea che coinvolge le principali sorgenti del versante orientale dei Monti Sibillini, per un’area di ricarica di almeno 120 km² con una potenzialità idrica totale di circa 3200 L/s; di questi, quasi 2000 L/s emergono direttamente nell’alveo del fiume Aso fra quota 940 e 830 m e, in parte, nella galleria drenante del sistema di captazione, attualmente gestito dal CIIP. Sono inoltre presenti più a valle due opere di derivazione superficiale per la produzione idroelettrica (ENEL).

L’interpretazione delle misure di portata, eseguite lungo l’alveo del fiume, del relativo monitoraggio, dell’assetto geologico-strutturale e dei risultati di analisi chimiche e isotopiche delle acque, ha consentito di distinguere il contributo di tre diversi acquiferi alla

portata del flusso di base e di valutarne la potenzialità.

L’approfondimento del quadro idrogeologico ha consentito di affinare il modello concettuale finora noto, definendo con maggiore precisione i limiti dei bacini idrogeologici e la corretta ubicazione delle aree di ricarica; a tale scopo sono state eseguite periodiche analisi isotopiche (¹⁸O e D) e sono state installate stazioni idrometrografiche per il controllo automatico e continuo della portata del fiume in corrispondenza di sezioni rappresentative del contributo di ciascun acquifero al flusso di base.

Inoltre, per la valutazione della ricarica e dell’influenza che le sue normali variazioni stagionali ed annuali inducono sull’alimentazione degli acquiferi e sul regime delle portate erogate è stato condotto uno studio delle precipitazioni, sia liquide che solide, e delle variazioni dei livelli piezometrici.

I risultati ottenuti mettono in evidenza che i locali prelievi sotterranei e le derivazioni superficiali incidono esclusivamente su risorse idriche sotterranee di ottima qualità, l’entità delle quali è influenzata in maniera diretta dal regime della variabilità annuale e pluriennale delle precipitazioni. L’integrità di tali risorse è garantita, infatti, da aree di ricarica ad alta quota e a bassissimo grado di antropizzazione; nel caso specifico la tutela dell’area di studio è ulteriormente favorita dall’esistenza del Parco Nazionale dei Sibillini.

Qualunque intervento di razionalizzazione dei prelievi di acque sotterranee nelle aree appenniniche carbonatiche non può prescindere da una seria revisione delle destinazioni d’uso delle derivazioni delle così dette “acque superficiali”, che nella realtà costituiscono a tutti gli effetti prelievi di acque sotterranee di qualità pregiata con destinazione d’uso prevalentemente industriale.

KEY WORDS: *acquifero carbonatico, Appennino centrale, approccio multidisciplinare, valutazione risorsa idrica.*

INTRODUZIONE

In uno scenario caratterizzato da una forte pressione antropica, con conseguenti fenomeni di degradazione delle varie matrici ambientali, tra cui quella idrica, molti dei sistemi acquiferi convenzionalmente sfruttati, con particolare riferimento a quelli delle pianure costiere, presentano condizioni di forte criticità, sia per la qualità delle acque, sia sotto l’aspetto della quantità. In questo contesto i sistemi acquiferi carsici costituiscono un’importante alternativa per l’approvvigionamento

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Roma “La Sapienza”, P.le Aldo Moro 5, 00185 Roma

(**) Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell’Ambiente ed Urbanistica, Università Politecnica delle Marche, Ancona

Lavoro eseguito nell’ambito del progetto “Studio del bacino idrogeologico carbonatico (Monti Sibillini) del fiume Aso finalizzato alla caratterizzazione delle condizioni di alimentazione e di circolazione idrica, alla valutazione del bilancio idrogeologico e analisi della sorgente di Foce”, finanziato dal CIIP.

idrico, il cui ruolo strategico è definito in ragione sia dei quantitativi idrici che sono in grado di contenere, sia dall'elevata qualità delle acque in essi contenuta (DOVERI *et alii*, 2013), garantita da una limitata antropizzazione dei territori in cui questi generalmente si sviluppano e, laddove possibile, da una corretta gestione e pianificazione dell'uso della risorsa operata dagli Enti di controllo, quali i Parchi nazionali.

Nel territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini sono presenti acquiferi carbonatici di importanza strategica, nell'ambito dei quali nel corso degli anni si sta cercando di ottenere un quadro conoscitivo delle risorse idriche disponibili e del loro utilizzo con un dettaglio sempre maggiore, al fine di valutare la compatibilità delle numerose utilizzazioni esistenti in rapporto alla richiesta di nuove concessioni.

In questa nota vengono presentati i risultati di uno studio condotto in maniera congiunta dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza" e dal Dipartimento di Scienze e Ingegneria della Materia, dell'Ambiente ed Urbanistica dell'Università Politecnica delle Marche, nel bacino carbonatico del fiume Aso, in collaborazione con il CIIP, gestore degli impianti di approvvigionamento idropotabile della provincia di Ascoli Piceno.

Alle ricerche condotte nel corso degli anni (MARCELLINI *et alii*, 2005, NANNI *et alii*, 2006, BONI & PETITTA, 2007, BONI *et alii*, 2010) sono state affiancate indagini idrogeologiche, chimico-isotopiche e geologico-strutturali, coadiuvate dall'installazione di centraline idrometriche delle portate, che hanno consentito di valutare la risorsa idrica rinnovabile del settore carbonatico del fiume Aso, la sua origine e gli impatti causati dalle opere di captazione (MASTRORILLO *et alii*, 2012, NANNI & PETITTA, 2012).

L'approccio multidisciplinare a questo studio aveva come obiettivo principale, mediante il confronto dei risultati ottenuti con le diverse metodologie, quello di distinguere e caratterizzare la circolazione idrica sotterranea degli acquiferi presenti in questo settore dell'Appennino, valutando l'influenza sulla risorsa rinnovabile operata dai locali prelievi sotterranei, e il loro flusso di base, anche mediante la quantificazione delle derivazioni superficiali. Il quadro idrogeologico è stato, inoltre, approfondito mediante l'individuazione delle aree di ricarica degli acquiferi e la valutazione della ricarica meteorica e degli effetti che le normali variazioni stagionali ed annuali inducono sull'alimentazione degli acquiferi e sul regime delle portate da essi erogate.

AREA DI STUDIO

La valle del fiume Aso è stretta tra le vette più alte del gruppo dei Sibillini: il Monte Vettore e il Monte Sibilla. Il fiume, che scorre trasversalmente alle dorsali carbonatiche,

incide gli affioramenti delle formazioni calcaree del dominio umbro-marchigiano, che ospitano al loro interno acquiferi di notevole estensione, ricevendo consistenti apporti alla portata del flusso di base, costituendo uno dei principali punti di recapito del versante orientale dei Monti Sibillini.

Il corso d'acqua si origina nella frazione di Foce del comune di Montemonaco (AP) da un complesso sistema di emergenze naturali ed artificiali che vengono a giorno fra quota 950 e 830 m, in parte direttamente nell'alveo del fiume e in parte nella galleria drenante del sistema di captazione gestito dal CIIP che preleva, da gallerie poste a quote superiori a 910 m, una portata media di 530 L/s (MASTRORILLO *et alii*, 2012). La chiusura del bacino carbonatico è a quota 735 m, in località Santa Maria in Casalicchio nella frazione di Tofe, al limite del quale il corso del fiume Aso, in assenza delle attuali condizioni di sfruttamento per scopi idropotabili ed idroelettrici, sarebbe caratterizzato da un valore del flusso di base pari a quasi 2000 L/s.

Il quadro idrogeologico regionale ricostruito da BONI & PETITTA nel 2007, inserisce l'alto bacino del fiume Aso in una circolazione idrica sotterranea molto estesa (circa 110 km²) che comprende il settore orientale della catena dei Monti Sibillini, a prevalente estensione Nord-Sud, fra Bolognola e le pendici meridionali del Monte Vettore. Il modello presentato ipotizza una continuità idraulica degli acquiferi Basale, della Maiolica e della Scaglia Calcaree e attribuisce una portata di magra complessiva delle emergenze nel bacino carbonatico dell'Aso pari a 1415 L/s.

L'assetto strutturale che caratterizza questo settore dell'Appennino centrale è quello tipico di una catena a pieghe a prevalente vergenza orientale, con assi che ruotano da una direzione meridiana ad una direzione appenninica, e sovrascorimenti e faglie inverse, molto evidenti sui fianchi orientale e nord-orientale delle anticlinali (BONI *et alii*, 2010).

L'elemento strutturale principale è il sovrascorimento dei Monti Sibillini, che si estende verso Sud fino a raccordarsi con il sovrascorimento della "Linea Olevano-Antrodoco" (PAROTTO & PRATURLON, 1975) e verso Nord va a congiungersi col fronte del margine appenninico-padano (CALAMITA & DEIANA, 1986; CALAMITA *et alii*, 1995; PIERANTONI *et alii*, 2005). Questo motivo tettonico regionale ha portato i termini meso-cenozoici interni sulle antistanti formazioni creta-palogeniche e mioceniche, ed è caratterizzato da una geometria arcuata a vergenza nord-orientale e convessità adriatica; nella porzione settentrionale l'andamento è appenninico, mentre in quella meridionale è circa N-S (NNW-SSE a nord del M. Vettore) (Figura 1).

La superficie di sovrascorimento principale risulta essere in genere debolmente immergente verso ovest oppure debolmente piegata in antiforme e i suoi rapporti con gli strati del *footwall* indicano rampe a bassa inclinazione e tratti di *flap* impostati generalmente nelle

emipelagiti pre-torbiditiche, in particolare nelle Marne con Cerrognà (PIERANTONI *et alii*, 2005).

L'unità di tetto è in genere rappresentata da un'ampia anticlinale con nucleo di terreni giurassici, spesso assimilabile a una *box fold* con cresta più o meno estesa, asimmetrica (KOOPMAN, 1983 e LAVECCHIA, 1985). Il fianco occidentale è debolmente inclinato e il fianco orientale, da verticale a rovesciato nei soli termini della sequenza pelagica, è in rapporto di *blind thrust* con gli strati sub orizzontali o moderatamente inclinati del Calcare massiccio, costituente il nucleo della piega (CALAMITA, 1990).

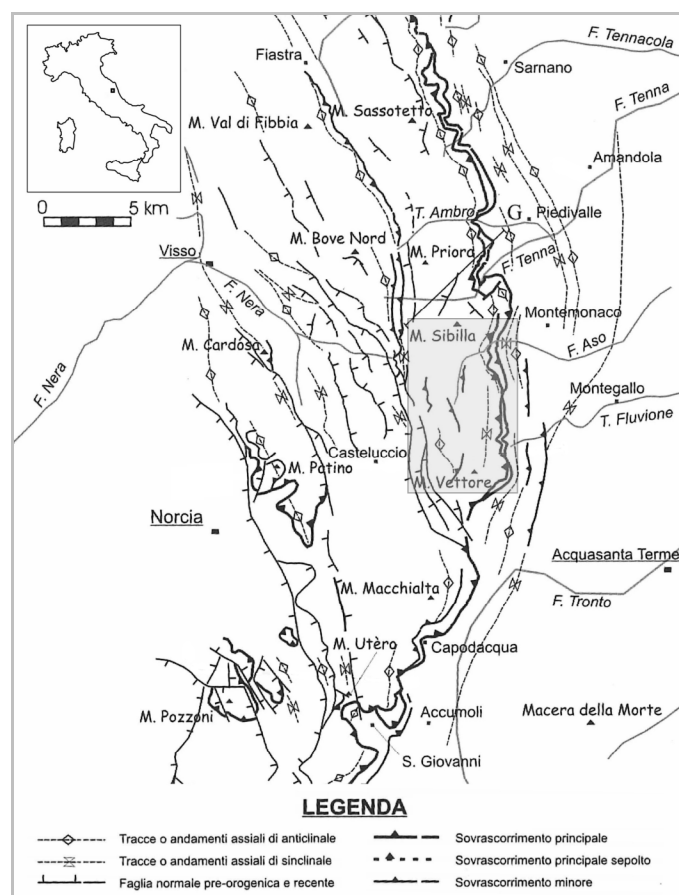


Fig. 1 – Inquadramento geologico strutturale del settore meridionale dei Monti Sibillini e dell'alto bacino carbonatico del fiume Aso (modificato da PIERANTONI *et alii*, 2005).

L'anticlinale del Monte Vettore, fortemente asimmetrica, a direzione N-S, occupa la zona di maggiore elevazione strutturale di questo settore appenninico. L'erosione ha portato in affioramento, per vasti tratti, i termini più antichi della successione mesozoica rappresentati dalla Corniola e dal Calcare massiccio. Il sovrascorrimento ha sovrapposto quest'ultima unità alle torbiditi della Formazione della Laga che risultano coinvolte in pieghe rovesciate e fagliate, scollate a livello delle sottostanti Marne con Cerrognà. Il dislocamento

misurato in corrispondenza dei livelli stratigrafici più antichi è pari a circa 8 km ed è in parte trasferito a livelli di scollamento ubicati nelle emipelagiti pre-torbiditiche, soprattutto nelle Marne con Cerrognà. La struttura è complicata dalla presenza di faglie normali con rigetto elevato (1.2-11.7 km). Tale rigetto può essere interpretato come risultante da un'attività pre-thrusting (dominante), con una successiva (minore) componente di riattivazione post-thrusting (PIERANTONI *et alii*, 2005).

Le unità più comuni del *footwall* affioranti in corrispondenza del sovrascorrimento sono le emipelagiti pre-torbiditiche (Scaglia cinerea, Bisciario, Schlier-Marne con Cerrognà), caratterizzate da un assetto strutturale a pieghe da scollamento e sovrascorrimenti, con andamento NW-SE.

Faglie normali plioceniche-quaternarie, a direzione per lo più appenninica, interessano le suddette strutture: esse sono più numerose nell'*hangingwall* e possono dislocare il sovrascorrimento, come è evidente per le faglie del versante occidentale del Monte Vettore. Non mancano inoltre casi di riattivazione di strutture pre-orogeniche da parte delle faglie in parola: un esempio è dato dalla faglia ubicata alla base del Monte Vettore (CALAMITA *et alii*, 1992). Per quanto riguarda infine le dislocazioni pre-orogeniche, le più importanti delle quali sono di età giurassica e miocenica, che sono di norma deformate e dislocate durante le deformazioni compressive, mentre più raramente mostrano evidenze di significative inversioni del movimento.

MATERIALI E METODI

Tra il 2009 ed il 2012 il settore carbonatico del bacino del fiume Aso è stato interessato da una serie di indagini di natura idrogeologica, chimico-isotopica e geologico-strutturale.

Il monitoraggio idrogeologico ha previsto la realizzazione di 20 campagne di misura della portata in alveo, in maniera sistematica negli anni idrologici e in diverse sezioni lungo il corso d'acqua (Figura 2), che hanno permesso di determinare come variano nel tempo e nello spazio i rapporti d'interazione fiume-falda e di riconoscere eventuali settori drenanti; inoltre, l'ubicazione di alcune di queste misure è stata vincolata dalla messa in funzione di stazioni di misura per il controllo in continuo di alcuni parametri ambientali e della portata, ubicate in punti strategici lungo il corso d'acqua, sia per la presenza di opere di derivazione che per l'affioramento in alveo dei complessi con ruolo di *aquiclude*, in modo da poter ottenere una corretta valutazione del contributo di acqua sotterranea dei diversi acquiferi carbonatici.

Per determinare le variazioni stagionali e annuali nella ricarica degli acquiferi, le direttrici di flusso e l'influenza dell'opera di captazione della sorgente di Foce sono stati analizzati i dati del livello piezometrico, in pressione, misurato nella galleria di captazione e quelli relativi al monitoraggio

periodico dei livelli della falda operati dal CIIP, sia in piezometri operativi da oltre un decennio sia in alcuni realizzati nel corso di questo studio, la cui ubicazione è stata scelta a seguito della ricostruzione dell'assetto geologico-strutturale locale. All'interno di questi ultimi, in particolare, nel Novembre 2011 si è proceduto alla realizzazione di misure di flusso in foro tramite *flowmeter* per la determinazione della componente verticale.

Le informazioni derivate dall'analisi delle variazioni dei livelli piezometrici e dei monitoraggi in continuo e periodici

delle portate erogate hanno consentito, inoltre, mediante il confronto diretto con la variazione giornaliera e mensile della ricarica meteorica, sia liquida che solida, di avanzare considerazioni sui tempi e le modalità di svuotamento degli acquiferi.

La caratterizzazione idrogeologica dei differenti acquiferi è stata completata con le analisi chimiche e isotopiche delle acque di sorgenti censite in corrispondenza dei tratti di alveo drenanti o di punti di campionamento significativi, quale il rilascio in alveo dell'esubero della captazione CIIP.

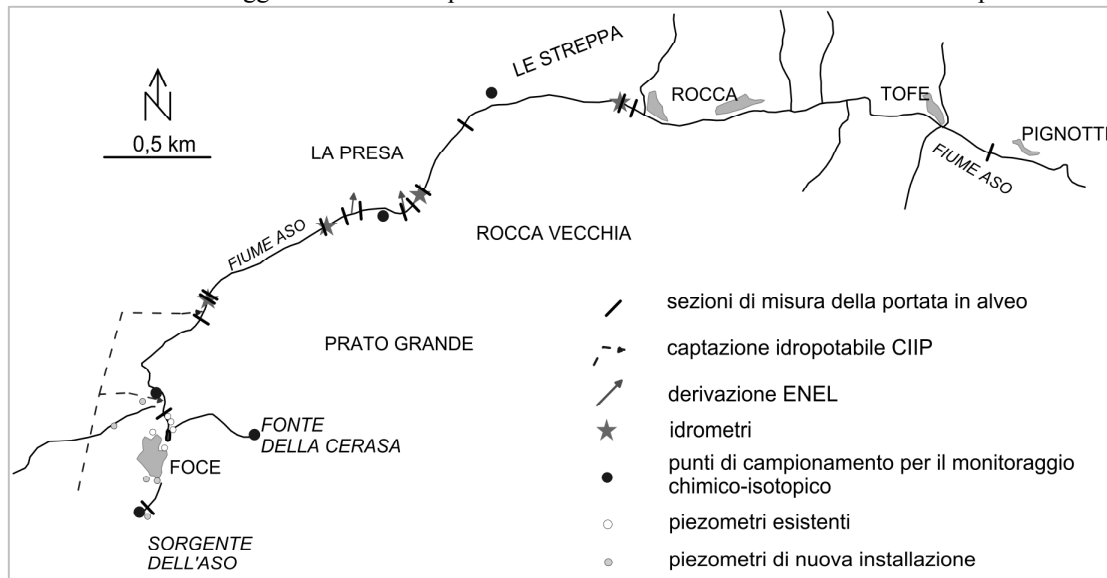


Fig. 2 - Schema di ubicazione delle opere di captazione e derivazione e dei punti di monitoraggio idrogeologico e chimico-isotopico lungo il corso del fiume Aso.

Il rilevamento idrogeologico, infine, è stato integrato da un rilevamento mesostrutturale, con applicazioni idrogeologiche, del settore carbonatico del bacino del fiume Aso in cui l'analisi della distribuzione spaziale della fratturazione è stata associata alla valutazione della conducibilità idraulica delle litologie affioranti.

RISULTATI

L'analisi dell'assetto geologico-stratigrafico e strutturale, unitamente ai risultati delle indagini idrogeologiche e chimico-isotopiche condotte nel settore carbonatico del bacino del fiume Aso, hanno consentito di individuare l'esistenza di tre acquiferi con circolazioni idriche separate localmente, per i quali è stata possibile la caratterizzazione dei parametri dinamici, la valutazione delle portate medie annue erogate e l'individuazione delle principali linee di drenaggio associate alla fessurazione.

Ai tre acquiferi riconosciuti, che si sviluppano rispettivamente nel Complesso Basale, della Maiolica e della Scaglia Calcarea (BONI *et alii*, 2010), infatti, appartengono acque bicarbonato calciche-magnesiache caratterizzate da

differenze geochemiche, che ne consentono una ulteriore classificazione in tre gruppi principali riconducibili a circolazioni idriche sotterranee in litotipi calcarei differenti.

Al primo gruppo appartengono i campioni dell'acquifero Basale prelevati dalla sorgente dell'Aso e dal rilascio della condotta di sfioro della captazione CIIP: l'arricchimento relativo in magnesio e solfato, oltre al bicarbonato e al calcio (Figura 3), fa ipotizzare una circolazione profonda che coinvolge il basamento dolomitico-anidritico della successione umbro-marchigiana, più superficiale nel settore posto a Sud di Foce a causa della chiusura periclinale verso Nord di circa 10° dell'anticlinale del Monte Vettore. Al secondo e terzo gruppo appartengono, rispettivamente, i campioni d'acqua prelevati in corrispondenza degli affioramenti in alveo delle formazioni della Maiolica e della Scaglia Rossa: al primo corrispondono acque che, rispetto alle precedenti, non risultando arricchite in solfati e magnesio, sono tipiche di una circolazione in litologie esclusivamente calcaree; al secondo, invece, le concentrazioni più elevate in sodio, potassio e cloro fanno ipotizzare l'interazione con la componente marnoso-argillosa presente nelle litologie della Scaglia Calcarea.

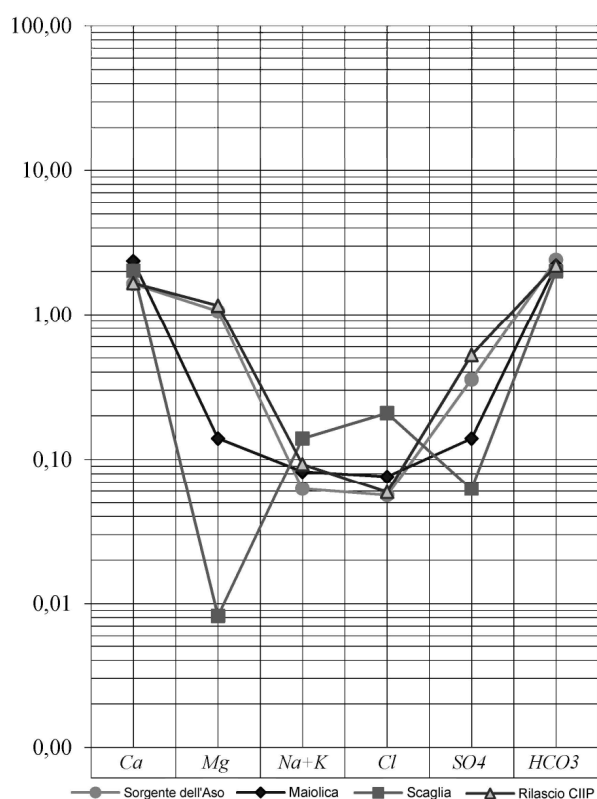


Fig. 3 – Diagrammi di comparizione delle concentrazioni degli elementi maggiori (espressi in meq) dei punti di campionamento chimico-isotopico.

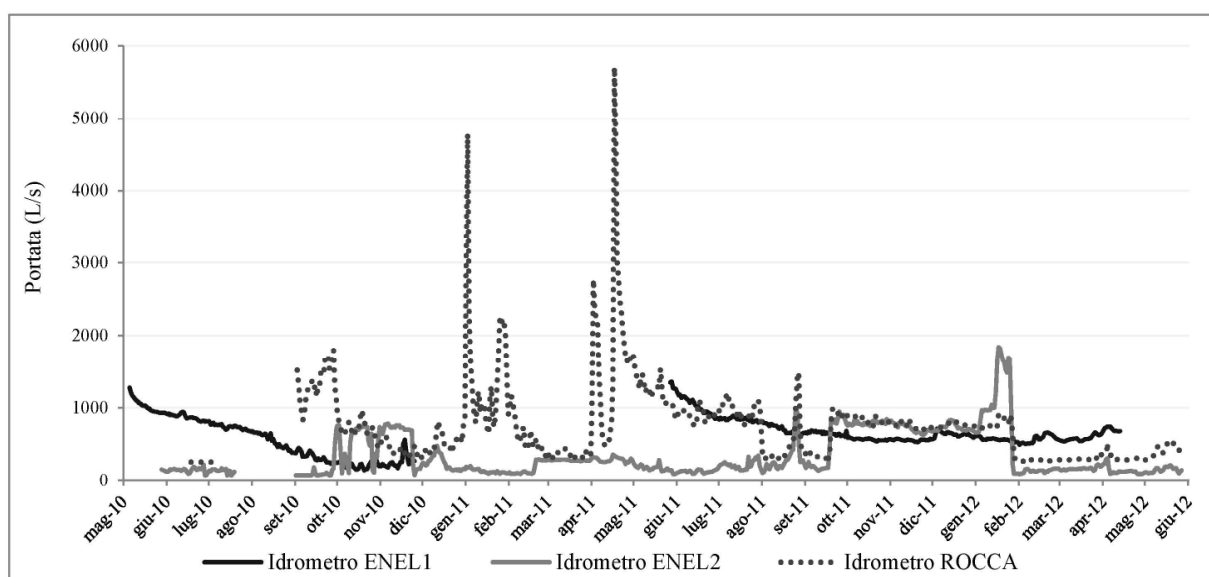


Fig. 4 – Monitoraggio in continuo della portata (in L/s) alle stazioni di misura ubicate lungo il fiume Aso.

Il monitoraggio in continuo (Figura 4) e mensile delle portate del corso d'acqua, effettuato in diverse sezioni ubicate lungo il fiume Aso, ha evidenziato un regime con valori massimi tra la primavera e l'inizio dell'estate e valori minimi che si registrano nei mesi autunnali. Il deflusso degli acquiferi è, quindi, molto regolare con curve di esaurimento estive-autunnali. Valori anomali delle portate, con picchi oltre i 4 m³/s, che si esauriscono nel giro di pochi giorni, sono relazionabili a eventi piovosi brevi ma molto intensi.

In merito al regime di variabilità delle precipitazioni,

l'analisi dei dati di piogge cumulate giornaliere relative all'ultimo decennio per stazioni distribuite sul territorio a quote superiori i 1.000 metri di altitudine (BANZATO, 2013), ha evidenziato due periodi in cui si registrano valori minimi: il primo nei mesi di Gennaio e Febbraio, durante i quali le nevi si sostituiscono alle precipitazioni liquide, e il secondo nei mesi di Luglio e Agosto per la diminuzione estiva delle piogge (Figura 5). In primavera e nel tardo autunno, invece, si registrano i valori massimi delle piogge.

Il coefficiente di *Lauscher* (LAUSCHER, 1954), valutato

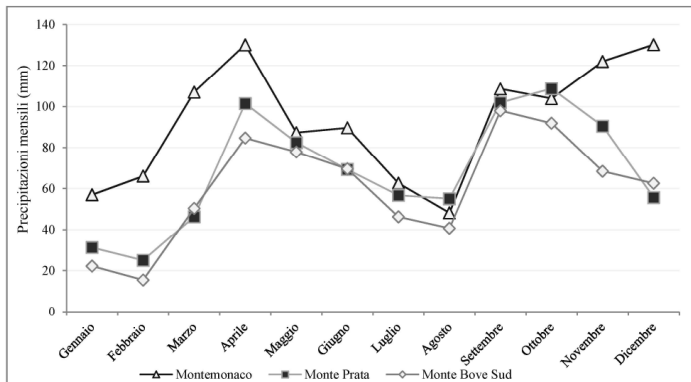


Fig. 5 – Regime di variabilità annuale delle precipitazioni liquide.

superiore al 50% nei mesi invernali (BANZATO, 2013) per le stazioni nivometriche distribuite sul territorio, ha evidenziato una alta incidenza delle nevicate rispetto al complesso delle precipitazioni, sottolineando l'importanza che queste ricoprono nella ricarica degli acquiferi del fiume Aso. In particolare, l'influenza maggiore si ha nel periodo primaverile quando, con l'aumento delle temperature, le masse nevose accumulate durante l'inverno cominciano a sciogliersi contribuendo all'immagazzinamento degli acquiferi per i quali l'incremento delle portate erogate si registra con un ritardo di circa un mese.

Le misure di portata condotte tra il 2009 e il 2012 nel tratto compreso tra Foce e Tofe, entrambi frazioni del comune di Montemonaco, hanno permesso di valutare un flusso di base medio del fiume Aso di circa 1860 L/s, con valori massimi relativi al 2010 di 2230 L/s e minimi nel 2012 pari a circa 1480 L/s.

La portata del fiume Aso è sostenuta principalmente dall'apporto dell'acquifero Basale e, secondariamente, dagli acquiferi della Maiolica e della Scaglia calcarea (Tabella 1). A quest'ultimo, le misure condotte hanno permesso di attribuire anche gli incrementi di portata misurati nella coltre detritica pedemontana esterna al dominio carbonatico: tali apporti, infatti, si esauriscono solo in limitati periodi di massima magra e non sono giustificabili con il ruscellamento superficiale.

L'acquifero Basale si sviluppa nelle formazioni del Calcere Massiccio, della Corniola e del Bugarone, presenti in maniera diffusa nel settore meridionale del bacino, e costituisce il livello di base del sistema carbonatico dei Monti Sibillini. L'elaborazione dei dati mesostrutturali ne ha evidenziato una intensa fratturazione dei litotipi calcarei (K_{max} del Calcere Massiccio: 10^{-2} m/s), con una direzione preferenziale del reticolo di fratture orientata circa NNW-SSE, parallela allo sviluppo assiale della struttura anticlinale e dei principali elementi tettonici e, subordinatamente, seguendo una direzione ENE-OSO riconducibile al principale andamento della fase distensiva giurassica.

Tabella 1 – Valori medi della portata complessiva (in L/s) erogata dagli acquiferi calcarei riconosciuti nel bacino del fiume Aso.

Anno	Flusso di base del fiume Aso	Portata erogata dall'acquifero Basale	Portata erogata dall'acquifero della Maiolica	Portata erogata dall'acquifero della Scaglia calcarea	Incremento di portata del settore pedemontano
2009	2020	1486	289	155	90
2010	2230	1588	293	186	164
2011	1683	1213	264	125	82
2012	1480	1024	125	183	149

La ricostruzione dell'assetto geologico-stratigrafico e strutturale ha permesso di individuare le aree di ricarica dell'acquifero Basale nel settore posto a Sud dell'abitato di Foce, delimitato dai rilievi che circondano la valle che, dal Piano della Gardosa, arriva fino alle pendici del versante settentrionale del Monte Vettore, con il conseguente drenaggio da Sud verso Nord secondo lo sviluppo assiale della struttura.

La quota media di ricarica di 1550 metri s.l.m., ottenuta dai risultati delle analisi isotopiche, ha confermato l'estensione del bacino idrogeologico dell'acquifero Basale che trova localmente il suo livello di base nell'alveo del fiume Aso ad una quota di circa 874 metri s.l.m. e risulta sempre saturo fino alla quota di circa 915 metri, dove sono ubicate le emergenze nel corso di tutte le campagne di misura della portata, anche nei periodi più siccitosi.

L'analisi dei livelli piezometrici effettuata nel settore di Foce, dove è presente la captazione idropotabile e le prime emergenze in alveo alimentate dall'acquifero Basale oltre al laghetto di Foce, ha evidenziato una variabilità nel corso dei

diversi anni e nell'anno idrologico che è condizionata, quasi esclusivamente, dalle variazioni stagionali e pluriennali dell'apporto meteorico. Infatti, nell'anno idrologico, lo stazionamento della superficie piezometrica segue il trend del deflusso sotterraneo con valori minimi nei primi mesi dell'anno, per la permanenza al suolo del manto nevoso che ostacola la ricarica, e con la risalita tra i mesi di Marzo e Giugno, in funzione dello scioglimento delle nevi e con la ripresa delle piogge (Figura 6).

Le ricostruzioni piezometriche, inoltre, hanno evidenziato un drenaggio sotterraneo nel settore a monte di Foce proveniente dal versante carbonatico occidentale della valle, sede dell'acquifero Basale sfruttato dalla captazione CIIP. Questa direzione di flusso da Ovest verso Est, si raccorda nel Piano della Gardosa con una direzione di flusso proveniente da Sud, attribuita ad una falda superficiale presente nei depositi detritici di fondovalle che alimenta la sorgente dell'Aso e il laghetto di Foce. Le due direzioni di flusso trovano un loro collegamento idraulico lungo il bordo occidentale della valle e sul fondo della stessa, al contatto

fra il detrito e il substrato roccioso carbonatico.

Infatti, l'elaborazione dei dati di flusso ottenuti con il *flowmeter* nel piezometro prossimo al versante carbonatico occidentale, ha indicato componenti di flusso verso l'alto, in un intervallo di quota compreso fra 905 e 925 metri s.l.m., interpretate come scambi idrici dall'acquifero Basale verso i depositi di fondovalle al contatto fra il detrito e il substrato roccioso carbonatico. Invece, nei piezometri localizzati nel settore centrale della valle, l'analisi dei dati ottenuti con il *flowmeter* ha permesso di evidenziare delle componenti

di flusso verticali dirette verso il basso ad una quota compresa

tra 912 e 925 metri, attribuite ad un richiamo d'acqua dall'acquifero superficiale verso quello Basale più profondo, soggetto alla derivazione CIIP, ed interpretate come il risultato dell'influenza dell'opera di captazione che, in particolari situazioni nelle quali l'effetto congiunto di naturali variazioni della ricarica e di manovre di gestione dell'impianto, potrebbe contribuire a richiamare acqua verso le zone più profonde dell'acquifero (Figura 7).

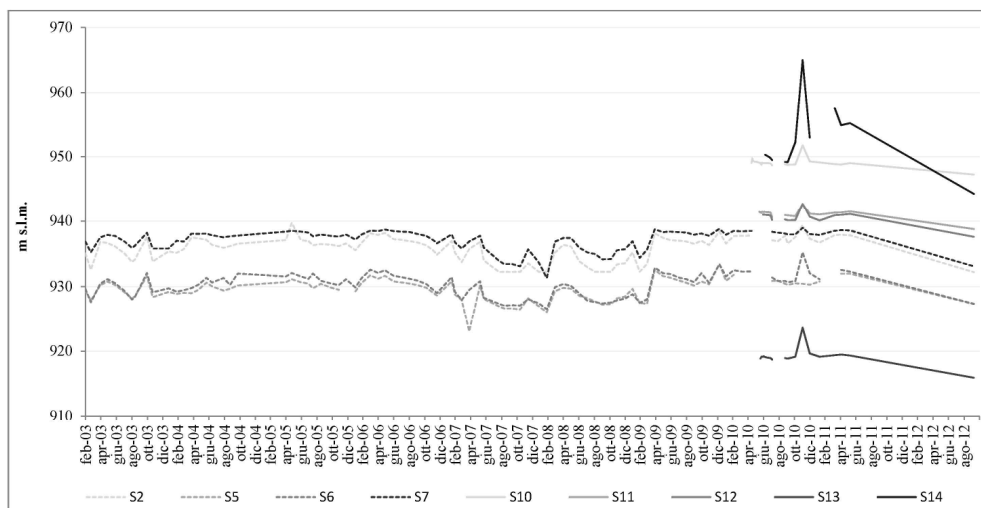


Fig. 6 – Oscillazione della superficie piezometrica nei piezometri preesistenti (linee tratteggiate) e in quelli realizzati nel corso di questo studio (tratto continuo).

66%) che idropotabili (tra il 27 e il 61%): ne risulta una effettiva disponibilità residua in alveo tra il 7 e il 13% (Tabella 2), laddove tutte le opere di derivazione risultino attive. Tale limitazione di deflusso garantisce appena il Deflusso Minimo Vitale calcolato sulla base dei metodi adottati dalla Regione Marche.

L'effetto del drenaggio in galleria ha, invece, un impatto diretto sul deflusso in alveo a valle dell'opera di presa, in quanto l'analisi dei dati piezometrici ha evidenziato chiaramente l'azione di richiamo esercitata dalle gallerie, che determinano un livello di falda inferiore a quello naturale nel primo tratto del fiume. Di conseguenza, negli anni più piovosi, anche in virtù del contributo significativo dell'acquifero superficiale detritico del Piano della Gardosa, la sorgente dell'Aso e conseguentemente il corso d'acqua si mantengono attivi ed il drenaggio in alveo avviene sin dai primi metri del fiume. Viceversa, negli anni siccitosi, quando la superficie piezometrica si trova a livelli inferiori, il deflusso in alveo comincia più a valle, laddove la galleria non è più in grado di influire sul deflusso della falda, intorno a quota 915 metri s.l.m., dove il fiume risulta perennemente attivo anche negli anni di magra prolungata.

Infine, relativamente alla risorsa idrica erogata dall'acquifero Basale e al suo attuale stato di utilizzo, l'analisi dei dati delle misure di portata ha evidenziato che questa è ampiamente sfruttata sia per scopi idroelettrici (tra il 34 e il

Tabella 2 – Schema delle risorse idriche dell'acquifero Basale (in %) sottoposte a prelievi idropotabili (CIIP), a derivazione idroelettrica (ENEL) e che rimangono disponibili in alveo.

Utilizzo della Risorsa idrica	Prelievo CIIP (in %)	Prelievo ENEL 1° (in %)	Disponibilità residua in alveo (in %)
Maggio '09	27,1	65,8	7,1
Luglio '09	33,6	59,7	6,8
Settembre '09	39,0	50,6	10,4
Ottobre '09	38,8	49,5	11,7
Aprile '10	27,9	61,8	10,3
Maggio '10	28,1	65,3	6,7
Giugno '10	27,3	64,7	8,0
Luglio '10	32,5	58,1	9,4
Settembre '10	44,6	0	55,4
Ottobre '10	38,5	0	61,5
Giugno '11	33,6	57,2	9,2
Luglio '11	38,1	49,6	12,3
Settembre '11	50,9	0	49,1
Ottobre '11	51,5	0	48,5
Novembre '11	50,7	0	49,3
Marzo '12	55,0	34,2	10,7
Aprile '12	40,1	47,3	12,6
Maggio '12	50,6	0	49,4
Giugno '12	59,6	0	40,4
Agosto '12	61,2	0	38,8

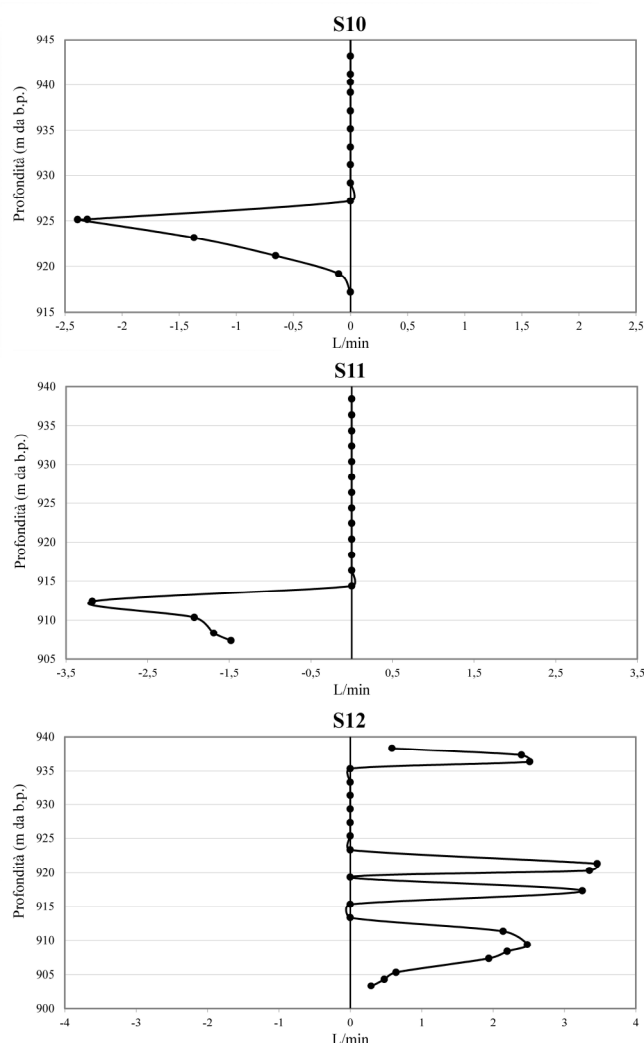


Fig. 7 – Profili di flusso con componente verticale verso il basso, nei piezometri ubicati nel settore centrale (S10 e S11), e verso l'alto, nel piezometro ubicato nel settore occidentale della valle del Piano della Gardosa.

Le indagini multidisciplinari condotte (idrogeologiche, chimico-isotopiche e geologico strutturali) convergono in un modello concettuale che prevede per tale acquifero l'individuazione dell'area di ricarica nel settore posto a Sud dell'abitato di Foce, delimitato dai rilievi che circondano la valle che, dal Piano della Gardosa, arriva fino alle pendici del versante settentrionale del Monte Vettore, con il conseguente drenaggio idrico sotterraneo da Sud verso Nord secondo lo sviluppo assiale della struttura.

La presenza della captazione idropotabile, esercita un'influenza nel settore del fiume a valle dell'opera di presa non tanto dai quantitativi di risorsa idrica prelevati, che sono costanti nel tempo, quanto dalla quota di captazione che determina un deflusso in alveo a quote più basse. In tal modo l'impatto sulla portata del fiume risulta evidente negli anni più siccitosi, mentre è meno intensa nei periodi di morbida e negli anni piovosi.

RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata svolta con il supporto economico e tecnico della CIIP di Ascoli Piceno. Si ringraziano inoltre il Parco Nazionale dei Monti Sibillini, il Corpo Forestale dello Stato e la Protezione Civile della Regione Marche per aver fornito alcuni dati inediti.

OPERE CITATE

- BANZATO F., 2013 - *Caratterizzazione del flusso in acquiferi carbonatici fratturati dell'Italia centrale per la gestione e la protezione delle risorse idriche sotterranee*. XXIV Ciclo Dottorato in Scienze della Terra. Università La Sapienza
- BONI C., BALDONI T., BANZATO F., CASCONI D. & PETITTA M., 2010 - *Studio idrogeologico per l'identificazione, la caratterizzazione e la gestione degli acquiferi nel Parco Nazionale dei Monti Sibillini. Hydrogeological study for identification, characterisation and management of groundwater resources in the Sibillini mountains National Park (central Italy)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2: 21-39.
- BONI C. & PETITTA M., 2007 - *Studio idrogeologico per l'identificazione e la caratterizzazione degli acquiferi che alimentano le sorgenti dei corsi d'acqua perenni dei Monti Sibillini, esteso all'intera area del Parco Nazionale*. Rapporto definitivo. Contratto di studio e ricerca. Autorità di Bacino del Fiume Tevere – Parco Nazionale dei Monti Sibillini - Dipartimento Scienze della Terra Università di Roma "La Sapienza".
- CALAMITA F., 1990 - *Thrusts and fold-related structures in the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Annales Tectonicae, 4: 83-117.
- CALAMITA F. & DEIANA G., 1986 - *Evoluzione strutturale Neogenico-Quaternaria dell'appennino Umbro-Marchigiano*. Studi Geologici Camerti. Vol. Spec. "La geologia delle Marche": 91-98.
- CALAMITA F., PIZZI A., ROMANO A., ROSCIONI M., SCISCIANI V. & SECCHIONI G., 1995 - *La tettonica quaternaria nella dorsale appenninica Umbro-Marchigiana: una deformazione progressiva non assiale*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. 1995(1), 203-223.
- CALAMITA F., PIZZI A. & ROSCIONI M., 1992 - *I "fasce" di faglie recenti e attive di M. Vettore-M. Bove e di M. Castello-M. Cardosa (Appennino umbro-marchigiano)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. 1992 (1): 81-96.
- DEIANA G. & MARCHEGIANI L., 2002 - *Note di Geologia del Parco Nazionale dei Monti Sibillini*. Collana di Quaderni scientifico-divulgativi del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, 7: 46 pp.

- DOVERI M., MENICHINI M. & CERRINA FERONI A., 2013 - *Gli isotopi stabili dell'acqua come strumento fondamentale nello studio degli acquiferi carsici: alcuni esempi di applicazione sui complessi carbonatici delle Alpi Apuane (Toscana NW)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 1: 33-50.
- KOOPMANN A., 1983 - *Detachment tectonics in the central Apennines, Italy*. Geol. Ultraiectina, 30: 1-55.
- LAUSCHER F., 1954 - *Wissenschaftlicher Bericht über die 3. Internationale Tagung für alpine Meteorologie*. Wien:187-21.
- LAVECCHIA G., 1985 - *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It., 104: 161-194.
- MARCELLINI M., NANNI T., PALPACELLI S. & VIVALDA P., 2005 - *Le sorgenti del versante adriatico dei Monti Sibillini (Marche centrali)*. Geoitalia 2005, Quinto Forum Italiano di Scienze della Terra, 21-23 settembre, Spoleto.
- MASTRORILLO L., NANNI T., PETITTA M., VIVALDA P., BANZATO F. & PALPACELLI S., 2012 - *Le risorse idriche dell'alto bacino del fiume Aso (Parco Nazionale dei Monti Sibillini): studio idrogeologico e valutazione dello stato di utilizzazione*. EngHydroEnv Geology, 12: 83-96.
- NANNI T. & PETITTA M., 2012 - *Studio del bacino idrogeologico carbonatico (Monti Sibillini) del fiume Aso finalizzato alla caratterizzazione delle condizioni di alimentazione e di circolazione idrica, alla valutazione del bacino idrogeologico e analisi della sorgente di Foce*. Contratto di studio e ricerca. Dipartimento SIMAU Università Politecnica delle Marche, CIIP Spa e Dipartimento Scienze della Terra Università di Roma "La Sapienza".
- NANNI T., VIVALDA P., MARCELLINI M. & PALPACELLI S., 2006 - *Spring monitoring and analysis of groundwater circulation in the Sibillini mountains aquifers (Adriatic side of central Apennine, Italy)*. Proceedings of 8th Conference on Limestone Hydrogeology, Neuchatel, Switzerland, September 21-23, 2006: 197-200.
- PAROTTO M. & PRATURLON A., 1975 - *Geological summary of the Central Apennines*. In: Ogniben L., Parotto M. & Praturlon (Eds.) - *Structural Model of Italy*. Quad. Ric. Scient., n. 90: 257-311.
- PIERANTONI P.P., DEIANA G., ROMANO A., PALTRINIERI W., BORRACCINI F. & MAZZOLI S., 2005 - *Geometrie strutturali lungo la thrust zone del fronte montuoso umbro-marchigiano-sabino*. Boll. Soc. Geol. It., 124: 395-411.

