

CARLO BONI^{(a)†}, TIZIANA BALDONI^(a), FRANCESCA BANZATO^(a)
DOREDANA CASCONI^(a), MARCO PETITTA^(a)

STUDIO IDROGEOLOGICO DEGLI ACQUIFERI DEL PARCO NAZIONALE DEI MONTI SIBILLINI

1. INTRODUZIONE

Lo studio realizzato nell'ambito di un contratto di ricerca stipulato fra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università "La Sapienza" di Roma, l'Autorità di Bacino del Fiume Tevere e il Parco Nazionale dei Monti Sibillini ha costituito l'occasione per una revisione critica delle conoscenze idrogeologiche relative ai corsi d'acqua perenni del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, al fine di fornire uno strumento che consenta di guidare lo sviluppo delle attività del Parco in relazione alla componente idrica.

L'area di indagine si estende su una superficie di circa 1000 km² e comprende i principali rilievi carbonatici dell'Appennino umbro-marchigiano che ricadono all'interno del Parco Nazionale dei Monti Sibillini (fig.1).

Sulla base dei metodi propri dell'idrogeologia quantitativa è stato fornito un quadro conoscitivo regionale delle risorse idriche disponibili in regime di magra ordinaria, con particolare riguardo a situazioni locali relative ai singoli corsi d'acqua, per i quali sono state indicate le aree sottoposte a sfruttamento intensivo delle acque superficiali e/o quelle nelle quali indirizzare future indagini per l'utilizzo delle acque sotterranee.

I principali risultati dello studio condotto (Boni e Petitta, 2007), che rappresentano la sintesi dei dati idrogeologici disponibili sul territorio, funzione del complesso assetto idrogeologico-strutturale, possono essere considerati una valida base conoscitiva di sufficiente dettaglio per future attività di pianificazione dell'uso della risorsa idrica nel territorio del Parco.

^(a) Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Roma "La Sapienza" – Piazzale Aldo Moro, 5 – 00185 ROMA.



Fig. 1 – Assetto geologico-strutturale dell'area di studio. LEGENDA: 1) dorsali carbonatiche; 2) depositi a bassa permeabilità; 3) piane intramontane; 4) sovrascorrimento; 5) sovrascorrimento presunto; 6) faglia; 7) faglia presunta; 8) corso d'acqua; 9) limite dell'area del Parco Nazionale dei Monti Sibillini.

2. ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Nell'area affiora la tipica successione umbro-marchigiana (Accordi, 1984), costituita da un multilayer sedimentario sottilmente stratificato d'ambiente pelagico, in cui si alternano litotipi calcarei e litotipi da calcareo-marnosi a silicei. Detta successione si è imposta su calcari massivi neritici, disarticolati da una fase tettonica distensiva nel Lias medio. Questa situazione ha dato origine sia alla deposizione di una successione completa, caratterizzata da notevoli spessori, sia alla deposizione di successioni ridotte e condensate, caratterizzate da sensibili variazioni di spessore e con caratteri litologici singolari (Centamore e Micarelli, 1991; Centamore *et al.*, 1991; Cosentino, 1986).

L'assetto strutturale è quello tipico di una catena a pieghe a prevalente vergenza orientale, con assi che ruotano da una direzione meridiana ad una direzione appenninica. La dominante componente traslativa, che ha dato origine al rilievo, ha prodotto una serie di sovrascorrimenti e faglie inverse, molto evidenti sul fianco orientale e nord-orientale delle anticlinali, che ha causato il raccorciamento e l'accavallamento di termini più antichi su depositi più recenti.

L'elemento strutturale principale, che delimita ad Est la dorsale carbonatica, è il sovrascorrimento dei Monti Sibillini (fig. 1) che si estende verso Sud fino a raccordarsi con il sovrascorrimento della "Linea Ancona – Anzio" e verso Nord va a congiungersi col fronte del margine appenninico-padano (Calamita *et al.*, 1986; Calamita *et al.*, 1995). La struttura del fronte del sovrascorrimento è caratterizzata 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. Questo motivo tettonico regionale presenta un'articolazione complessa: in alcune zone si realizza attraverso una sola superficie principale, mentre in altre per mezzo di due superfici che si intersecano e delimitano un corpo intermedio più avanzato rispetto a quello inferiore, ma più arretrato rispetto al superiore (La Vecchia, 1985; Cooper *et al.*, 1986; Calamita e Deiana, 1988). Il thrust dei Sibillini ha portato i terreni meso-cenozoici interni sulle antistanti e più esterne formazioni creta-paleogeniche nel settore a Nord del F. Aso e su formazioni essenzialmente mioceniche nel settore a Sud. Al motivo compressivo, che delimita ad oriente la dorsale carbonatica, si associano motivi secondari traslativi e faglie disgiuntive di trascinamento, che hanno profondamente modificato l'originario assetto stratigrafico. Alla principale fase traslativa è seguita una vistosa fase distensiva, che ha dato origine alla vasta depressione di Castelluccio di Norcia e a quella di Norcia (fig. 1).

3. RICARICA DEGLI ACQUIFERI

Sono stati analizzati i dati di precipitazione e temperatura relativi a 37 stazioni pluviometriche, di cui 7 pluvio-termometriche, pubblicati negli Annali del Servizio Idrografico di Stato, sezioni di Roma e Bologna, per il periodo 1921-1997.

Il calcolo degli afflussi meteorici è stato eseguito utilizzando sia il metodo di Thiessen, basato sull'identificazione dei topoieti, sia il metodo delle isoiete. La prima metodologia ha fornito una valutazione del campo di variabilità dell'afflusso meteorico sulla catena dei monti Sibillini compreso fra gli 800 e i 1600 mm/anno. Il metodo delle isoiete, più idoneo per la rappresentazione della distribuzione spaziale degli apporti meteorici nell'area con-

siderata, mette in evidenza che le aree in cui si hanno le precipitazioni maggiori corrispondono ai rilievi montuosi della dorsale di Monte Bove-Monte Vettore (1213–1561 mm/anno). Nella valle dell'Ussita e in corrispondenza dell'altopiano di Castelluccio di Norcia e della Piana di Norcia si rilevano i valori di precipitazione più bassi (inferiori a 1000 mm/anno).

La precipitazione efficace media annua è stata valutata sottraendo alla precipitazione il valore della evapotraspirazione reale annua, calcolata con il metodo di Turc. Per definire l'evapotraspirazione è stato necessario costruire una retta di regressione quota-temperatura, grazie alla quale è stato possibile attribuire valori di temperatura a ciascuna delle stazioni prive di termometro, utilizzando 18 stazioni termometriche distribuite in un'area più estesa rispetto a quella qui considerata.

Nell'area considerata i valori di precipitazione efficace variano da minimi inferiori a 300 mm/anno, nella Piana di Norcia, a massimi superiori a 1000 mm/anno in corrispondenza dei maggiori rilievi. Tali dati forniscono una valutazione approssimativa dell'apporto meteorico utile all'alimentazione degli acquiferi e, considerando che nell'area di indagine la componente riferibile al ruscellamento è trascurabile, è possibile considerare i valori della precipitazione efficace come significativi dati di confronto per la corretta valutazione dell'infiltrazione efficace.

Considerata la natura dei terreni che costituiscono la dorsale Sibillina e l'entità degli afflussi meteorici efficaci, si può stimare che l'infiltrazione efficace utile all'alimentazione degli acquiferi possa variare tra minimi compresi fra 200 e 400 mm/anno e massimi che superano i 1000 mm/anno, soprattutto in alta quota.

4. IDROLOGIA DI SUPERFICIE

Per la valutazione della risorsa idrica sotterranea rinnovabile si è proceduto alla raccolta e analisi dei dati bibliografici (Boni e Bono, 1982a, b; Boni *et al.*, 1986; Boni e Petitta, 1994; Dragoni *et al.*, 2003; Ministero LL.PP., 1921-1997; Nanni *et al.*, 2006; Perrone, 1910; Parco Nazionale dei Monti Sibillini, 2001; Tarragoni, 2005), delle misure sperimentali eseguite in alveo in un lunghissimo arco di tempo, in anni e stagioni diverse, nei corsi d'acqua che ricadono nell'area in esame.

I valori di sintesi individuati in corrispondenza delle diverse sezioni di misura e i valori di portata relativi alle emergenze naturali non sono, ovviamente, il semplice risultato di medie o di differenze eseguite sugli eterogenei dati disponibili. Si è tenuto infatti conto di possibili errori nella valutazione del flusso di base dovuti ad apporti di ruscellamento superficiale nei mesi primaverili. Si è inoltre eseguito il calcolo degli apporti in alveo

privilegiando i dati desunti da misure contemporanee, eseguite in diversi periodi dell'anno ed in anni successivi. Questo lavoro di sintesi e revisione critica ha permesso di individuare la reale estensione del reticolo idrografico perenne all'interno dell'area del Parco, la portata di tutte le emergenze naturali che alimentano il suo flusso di base e che, quindi, ne rappresentano la risorsa media di magra ordinaria disponibile rinnovabile.

È stato inoltre possibile indicare l'ubicazione dei maggiori impianti di derivazione e di restituzione delle acque, l'entità della portata derivata e della portata residua in alveo; questi valori sono stati forniti dagli Enti gestori per le sorgenti derivate, mentre le portate derivate per scopi idroelettrici sono state ricavate per differenza tra le misure di portata effettuate a monte e quelle a valle delle opere di captazione.

L'analisi degli idrogrammi delle stazioni idrometriche gestite dal Servizio Idrografico, eseguita mediante il "metodo delle portate mensili caratteristiche" (Boni *et al.*, 1993), ha confermato il ruolo marginale del ruscellamento nel regime di flusso dei corsi d'acqua nell'area investigata, per i quali le portate misurate sono prevalentemente alimentate da acque sotterranee erogate da acquiferi caratterizzati da un'elevata stabilità. Il confronto con i dati rilevati in periodi più recenti ha inoltre evidenziato una sensibile diminuzione della risorsa idrica rinnovabile.

5. ALLESTIMENTO DEI MODELLI IDROGEOLOGICI CONCETTUALI

La metodologia di indagine utilizzata ha consentito l'allestimento di modelli idrogeologici concettuali della circolazione idrica sotterranea, in cui il grado di rappresentatività può essere considerato adeguato e di sufficiente dettaglio per essere considerati a tutti gli effetti strumenti aggiornati di supporto all'attività di pianificazione dell'uso della risorsa idrica nel territorio del Parco.

Una prima fase dello studio ha avuto come obiettivo l'individuazione delle aree di alimentazione delle principali emergenze e la definizione della geometria degli acquiferi, basandosi sull'analisi di due diversi aspetti dell'idrogeologia regionale e sul successivo confronto dei risultati. Il primo riguarda lo studio accurato della geologia del territorio (Chiocchini *et al.*, 1976; Deiana e Marchegiani, 2002*a, b*; Regione Marche, 1991; Regione Umbria, 2002), che ha consentito l'identificazione dei diversi complessi idrogeologici e degli elementi geologico-strutturali che possono assumere il ruolo di barriere idrauliche, suddividendo il territorio in settori distinti. Il secondo aspetto è costituito dall'analisi dell'idrologia di superficie, basata sulla misura sistematica delle portate erogate dalle sorgenti puntuali e lineari e sulla misura del flusso di base, lungo l'intero reticolo idrografico perenne.

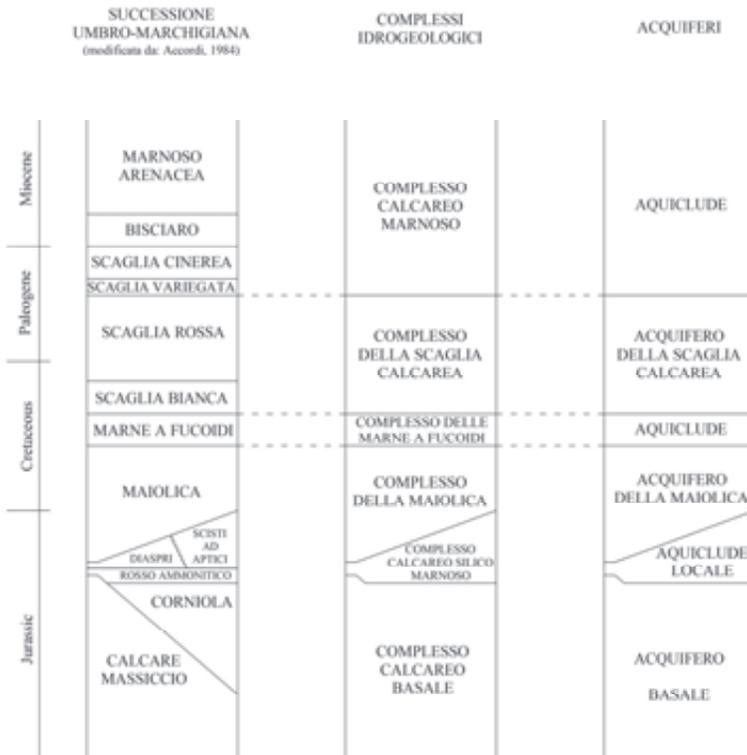


Fig. 2 – Schema dei rapporti stratigrafici fra successione stratigrafica umbro-marchigiana, complessi idrogeologici e acquiferi nell’area dei Monti Sibillini.

Le note formazioni della Successione Umbro-Marchigiana sono state raggruppate in diversi Complessi Idrogeologici, che ospitano i principali acquiferi regionali (fig. 2).

Il Complesso Calcareao Basale comprende le formazioni del Calcareao Massiccio, della Corniola e del Bugarone, è caratterizzato da considerevole permeabilità ed è sede dell’Acquifero “Basale”.

Il Complesso Calcareao-Silico-Marnoso, comprende le formazioni dei Calcari e Marne del Sentino, del Bosso, del Rosso Ammonitico, e dei Calcari e Marne a Posidonie, delle Calcareniti di Monte Valvasseto, delle Calcareniti nocciola della Valnerina, dei Calcari Diasprigni. Gli studi di stratigrafia hanno messo in evidenza che, in corrispondenza dei Monti Sibillini, il Complesso Calcareao-Silico-Marnoso può avere spessori molto variabili: da oltre 200 metri (successione “completa”) a poche decine di metri (successione “ridotta”). Dove gli spessori sono elevati, costituisce un acquicludo tra l’Acquifero Basale e quello della Maiolica; dove il complesso marnoso ha

spessore ridotto, o manca completamente, si può avere continuità idraulica tra il Complesso della Maiolica ed il Complesso Calcereo Basale.

Il Complesso della Maiolica, generalmente caratterizzato da notevole permeabilità, può ospitare un acquifero indipendente o può trovarsi in continuità idraulica con l'Acquifero Basale.

Il Complesso delle Marne a Fucoidi, ha bassa permeabilità ed è sempre presente, ma con spessori limitati ad un massimo di alcune decine di metri. Dove si è conservato integro, questo complesso può costituire un acquiclude favorendo la genesi di acquiferi indipendenti nel complesso della Maiolica o di acquiferi sospesi nel Complesso della Scaglia Calcarea.

Il Complesso della Scaglia Calcarea affiora in gran parte del territorio considerato e comprende le formazioni della Scaglia Bianca, Scaglia Rossa e Scaglia Variegata. È sede di acquiferi indipendenti, idraulicamente separati dalla circolazione basale dall'aquiclude delle Marne a Fucoidi.

La successione delle formazioni marnoso-arenacee appartenenti al Complesso Calcereo-Marnoso (Scaglia Cinerea, Bisciario, Schlier, Marne a Pteropodi e Marne con Cerrognana) e al Complesso Argilloso-Arenaceo (Formazione della Laga, Formazione Gessoso-Solfifera ed Arenarie di Camerino), caratterizzati da bassa permeabilità e privi, quindi, di acquiferi significativi costituiscono l'aquiclude periferico che chiude idraulicamente la circolazione idrica regionale degli acquiferi carbonatici.

I Depositi Lacustri colmano le depressioni di Castelluccio di Norcia e di Norcia, con spessori variabili da pochi metri a qualche centinaio. Sono costituiti prevalentemente da alternanze di depositi limoso-argillosi, a luoghi con torbe. Questo complesso è caratterizzato da bassa permeabilità, ma al suo interno può contenere modesti acquiferi sospesi negli orizzonti più permeabili.

I Depositi di Copertura, di natura alluvionale e detritica, presentano caratteristiche granulometriche molto eterogenee e spessori variabili da qualche metro a decine di metri. Possono ospitare al loro interno falde sospese, libere o multistrato, alimentate da apporti sia zenitali che laterali provenienti dai complessi contigui. Tali acquiferi possono avere rilevanza locale, ma assumono un ruolo secondario nell'economia idrogeologica regionale.

Le principali tipologie degli acquiferi riconosciuti e ospitati nei complessi idrogeologici descritti possono essere così sintetizzate:

- *Acquiferi Basali*, ospitati dal Complesso Calcereo Basale, alimentati dagli affioramenti del Calcere Massiccio e della Corniola e, localmente, anche dagli affioramenti della Maiolica, dove la successione risulta condensata, e più raramente della Scaglia Calcarea, dove le Marne a Fucoidi presentano spessori ridotti o sono dislocate da faglie con un rigetto superiore al loro spessore.

- **Acquiferi della Maiolica:**
 - acquiferi indipendenti della Maiolica; si hanno acquiferi indipendenti dove questo complesso risulta delimitato, alla base, dal Complesso Calcereo-Silico-Marnoso, e al tetto dalle Marne a Fucoidi. L'area di alimentazione di questo tipo di acquifero è limitata alle aree di affioramento della Maiolica;
 - acquiferi sospesi della Maiolica; questo tipo di acquifero ha origine dove il Complesso della Maiolica è sostenuto alla base da considerevoli spessori del Complesso Calcereo-Silico-Marnoso.
- **Acquiferi della Scaglia Calcarea:** si estendono dove la successione stratigrafica è stata interessata da motivi tettonici più blandi, che hanno prodotto anticlinali e sinclinali in successione. L'acquifero della Scaglia è sostenuto alla base dall'aquiclude delle Marne a Fucoidi e, localmente, è chiuso al tetto dal Complesso Marnoso-Arenaceo.

Nel territorio sono state riconosciute e censite 52 emergenze naturali, sia puntuali che lineari, con portata media superiore ai 20 L/s. Il controllo e l'omogeneizzazione dei dati di portata rilevati dagli anni '90 dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università La Sapienza di Roma, e l'integrazione con nuove misure ha consentito di attribuire a ciascuna sorgente un valore di portata di magra ordinaria e il valore di portata minima misurata, relativo al periodo di osservazione. La portata delle sorgenti lineari, che rappresentano circa il 75 % della risorsa idrica disponibile nell'area del Parco, è stata calcolata come differenze tra misure di portata contemporanee eseguite a monte e a valle dei tratti di alveo drenanti.

La portata di magra ordinaria complessiva erogata dalle sorgenti ubicate nel territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini è di circa 13000 L/s, di cui quasi il 50% sono alimentate da acquiferi del Complesso Calcereo Basale, il 40% da quelli della Scaglia Calcarea e meno del 10% da quelli del Complesso della Maiolica.

Dal confronto tra l'assetto idrostrutturale, che delinea la presunta geometria degli acquiferi, e la distribuzione territoriale delle sorgenti è stato possibile ottenere la più probabile configurazione degli acquiferi. I modelli idrogeologici concettuali, allestiti per ciascun bacino idrogeologico, convalidano tale configurazione attraverso verifiche di bilancio, mettendo a confronto la natura e l'estensione delle aree di alimentazione con la portata media erogata dalle sorgenti. I valori di infiltrazione efficace ottenuti risultano confrontabili con quelli delle precipitazioni efficaci e soprattutto coerenti con quelli tipici dei diversi complessi idrogeologici (Boni *et al.*, 1986).

Il modello concettuale di ciascun bacino idrogeologico fornisce le seguenti informazioni quantitative: estensione dell'area d'alimentazione, campo piezometrico, portata media complessivamente erogata dalle sorgenti,

valore dell'infiltrazione efficace relativo all'area di alimentazione riconosciuta e, dove possibile, il gradiente idraulico. Il campo piezometrico è stato tracciato basandosi essenzialmente sulle quote delle sorgenti più significative che alimentano il flusso di base con apporti regolari e continui e sulla geometria degli acquiferi. Si è inoltre considerato che il livello piezometrico deve sempre trovarsi ad una quota più bassa rispetto alla quota di fondovalle, in tutte le incisioni che non sono alimentate da apporti sorgivi. Il relativo gradiente idraulico è stato determinato considerando le perdite di carico in funzione delle distanze tra le isopieze note, prossime alle sorgenti, e quelle calcolate, tracciate nelle aree più distali dalle emergenze fin dove si ipotizza che l'acquifero sia saturo.

6. USO E DISPONIBILITÀ DELLA RISORSA IDRICA RINNOVABILE

Le sorgenti del Parco Nazionale dei Monti Sibillini rappresentano da sempre una risorsa di particolare pregio sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo. Tenuto conto della sensibile diminuzione delle portate in alveo rispetto ai valori storici, per poter valutare la compatibilità delle numerose utilizzazioni esistenti e le richieste di nuove concessioni nell'area del Parco, si è reso necessario analizzare la reale disponibilità idrica relativa a ciascun bacino idrografico, funzione del grado di utilizzazione antropica.

Il confronto e la sintesi dei risultati ottenuti da questa seconda fase della ricerca e l'integrazione con le indicazioni fornite dalla ricostruzione dei modelli idrogeologici concettuali hanno consentito l'individuazione di aree potenzialmente idonee al prelievo di acque sotterranee. Le aree proposte sono state scelte seguendo il criterio per cui prelievi di acque sotterranee distribuiti in diverse aree del territorio esercitano sulle condizioni ambientali effetti limitati rispetto ad un equivalente prelievo operato in un solo punto e corrispondono, quindi, a zone in cui il prelievo della risorsa idrica non costituisce un ulteriore sfruttamento, ma una valida alternativa alle situazioni critiche, attualmente presenti nell'area di studio, per le quali occorrono dei piani alternativi.

I reali requisiti di idoneità delle aree proposte dovranno essere verificati da un adeguato monitoraggio, continuo nel tempo, dei punti di emergenza naturali coinvolti dalla realizzazione dall'eventuale opera di prelievo, come previsto anche dalla recente normativa nazionale sulle acque. Il D. Lgs 30/2009 sull'attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento, prevede, infatti, la realizzazione dei Modelli Idrogeologici Concettuali come inequivocabile punto di partenza per la identificazione e la caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei. I modelli, attraverso l'analisi pregressa delle caratte-

ristiche naturali del corpo idrico (tipo di acquifero, precipitazioni, proprietà idrauliche) e degli effetti potenziali della pressione antropica (prelievi) consentono di identificare i requisiti specifici per la creazione di reti di monitoraggio, per la densità dei siti e per la frequenza del monitoraggio.

Sono stati identificati alcuni settori potenzialmente sfruttabili nei quali sono, comunque, necessarie e auspicabili indagini integrative con la realizzazione di un adeguato monitoraggio, in modo da poter valutare le effettive portate prelevabili.

Nel bacino del Fiume Chienti, sono state identificate due possibili alternative all'utilizzazione delle acque della sorgente di San Chiodo (Bacino del Nera). Un primo settore è stato identificato tra gli abitati di Capriglia e Pieve Torina, esternamente ai limiti del Parco, potenzialmente idoneo al prelievo di acque sotterranee con limitato impatto ambientale. In quest'area è possibile captare sia l'acquifero della Maiolica, saturo a quota 518 m, sia l'acquifero della Scaglia Calcarea, saturo a quote variabili tra 527 m e 488 m, senza alterare sensibilmente le condizioni ambientali.

Un secondo settore viene proposto in corrispondenza del Torrente Fornace; l'unico impatto prevedibile interesserebbe l'attuale sistema di derivazione del piccolo bacino artificiale di Bocca Fornace che, a seguito della nuova captazione, potrebbe subire una diminuzione nell'apporto di acque sotterranee.

Anche nel bacino del Fiastrone sono state individuate due aree di potenziale sfruttamento. La prima, nell'alto bacino del Fiume Fiastrone, interesserebbe sia l'Acquifero sospeso della Maiolica dell'alto Rio Sacro che l'Acquifero della Scaglia Calcarea del F. Fiastrone. La seconda, a valle del lago di Fiastra, dove è stata verificata la presenza di un tratto di alveo alimentato da acque sotterranee. L'esecuzione di ulteriori indagini idrogeologiche permetterà di definire con maggiore chiarezza l'entità della portata della sorgente lineare, la posizione e la funzione delle barriere idrauliche che condizionano la circolazione nell'acquifero interessato.

Un'altra area indagabile per un eventuale limitato sfruttamento è il settore compreso tra il F. Tenna e il T. Ambro, in prossimità della loro confluenza. Anche quest'area necessita di ulteriori indagini idrogeologiche per definire la localizzazione e il ruolo delle barriere idrauliche che condizionano il deflusso sotterraneo.

Nella Piana di Norcia, fatta eccezione per i prelievi operati ad uso locale, non si è a conoscenza di ulteriori importanti prelievi. In quest'area è necessaria l'installazione di strumenti per la misura dei livelli piezometrici, al fine di definire con maggiore dettaglio le caratteristiche dell'acquifero presente all'interno dei depositi lacustri della piana, i suoi rapporti con il limitrofo acquifero della Scaglia Calcarea e per controllare le variazioni stagionali e annuali.

Sia la risorsa del F. Sordo che quella del F. Campiano potrebbero rappresentare ottime fonti di approvvigionamento; bisogna, però, considerare che qualsiasi futuro prelievo dovrà prevedere una redistribuzione delle concessioni già esistenti a valle delle aree indicate. L'intero bacino del Nera è caratterizzato da una notevole disponibilità di risorse idriche rinnovabili in periodo di magra ordinaria, che sono intensamente utilizzate per l'itticoltura e per la produzione di energia elettrica. Gli impianti ittici prelevano quasi integralmente la portata del fiume, occupano l'originaria sede dell'alveo naturale ed incanalano le esigue portate residue in alvei artificiali. Se restassero invariate le modalità delle attuali utilizzazioni, qualunque ipotesi di nuovi prelievi ridurrebbe sensibilmente le portate derivabili lungo il corso d'acqua. Se si vogliono salvaguardare le condizioni ambientali ed allo stesso tempo le attività produttive presenti lungo il corso del Fiume Nera, occorre ridisegnare un piano che distribuisca fra le varie utenze le risorse effettivamente disponibili tenendo conto anche della priorità degli usi in funzione della qualità delle acque.

CONCLUSIONI

Le attività svolte nell'ambito di questo studio, basate sui metodi dell'idrogeologia quantitativa, applicati attraverso l'analisi di dati direttamente raccolti sul terreno in molti anni di rilievi condotti nel territorio in esame, hanno consentito di ottenere informazioni quantitative sulla disponibilità idrica sotterranea rinnovabile del territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, corrispondente alle portate erogate dalle sorgenti, prevalentemente lineari, che alimentano direttamente i corsi d'acqua perenni presenti.

I principali risultati dello studio possono essere riassunti come segue:

- l'analisi dei dati meteorologici ha evidenziato una precipitazione media sull'area in studio compresa tra 900 e 1600 mm/anno ed una precipitazione efficace, ugualmente variabile in funzione dell'orografia, compresa tra 300 e 1000 mm/anno;
- tenuto conto dell'elevata permeabilità dei terreni affioranti e l'entità dei deflussi efficaci, l'Infiltrazione Efficace utile all'alimentazione degli acquiferi è stata valutata tra 200 e 1000 mm/anno, distribuita in modo variabile in funzione non solo del diverso grado di permeabilità delle rocce affioranti, ma anche e soprattutto della distribuzione areale e orografica delle precipitazioni efficaci;
- l'idrologia superficiale in queste aree montane è direttamente influenzata dalla circolazione idrica sotterranea ed in particolar modo dalle sorgenti lineari in alveo, abbondanti per numero e portata, che drenano

- gli acquiferi presenti; in tale situazione, l'esame diretto e ripetuto nel tempo dei deflussi fluviali naturali consente la valutazione del flusso di base, corrispondente alle risorse idriche sotterranee rinnovabili;
- le elaborazioni condotte sui dati idrologici storici confermano un'elevata potenzialità idrica sotterranea accompagnata da una notevole stabilità del regime di flusso, relegando il fenomeno del ruscellamento ad un ruolo marginale;
 - l'assetto geologico-strutturale influenza notevolmente la circolazione idrica sotterranea; dal punto di vista stratigrafico, sono stati riconosciuti tre Complessi Idrogeologici corrispondenti ad acquiferi (Complesso Calcarea Basale, Complesso della Maiolica, Complesso della Scaglia Calcarea), due complessi idrogeologici a bassa permeabilità che separano generalmente i precedenti acquiferi (Complesso Calcareao-Silico-Marnoso e Complesso delle Marne a Fucoidi) e complessi di copertura recente a permeabilità medio-bassa (Depositi Lacustri e Depositi di Copertura);
 - da un punto di vista strutturale, la tettonica dell'area ha dislocato i diversi complessi, determinando limiti di permeabilità dei singoli acquiferi, condizionandone quindi l'estensione e la localizzazione delle aree di recapito; allo stesso tempo, il grado di tettonizzazione, influenza direttamente anche la capacità di infiltrazione, riducendola notevolmente in corrispondenza di lineamenti tettonici compressivi;
 - i dati idrogeologici direttamente raccolti nei decenni precedenti e quelli appositamente rilevati nel corso dello studio, unitamente a controlli di natura geologico-strutturale, hanno consentito di censire e determinare la portata di magra ordinaria ed estrema di tutte le emergenze localizzate e lineari di portata superiore a 20 L/s e dei relativi corsi d'acqua da esse alimentate; al contempo, le misure dirette rappresentano un elemento di controllo immediato sul grado di utilizzazione della risorsa, sia captata alle sorgenti che derivata in alveo;
 - la portata complessiva erogata dalle sorgenti ubicate nel territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini è di circa 13000 L/s, di cui quasi il 50% sono alimentate da acquiferi del Complesso Basale, il 40% da quelli della Scaglia Calcarea e meno del 10% da quelli del Complesso della Maiolica;
 - l'esame comparato dei dati e dell'assetto geologico-strutturale ha portato al riconoscimento dei singoli acquiferi alimentanti le diverse sorgenti, attraverso la stesura di Modelli Idrogeologici Concettuali per i principali bacini idrogeologici, ognuno caratterizzato da limiti idraulici definiti, con definizione dell'area di alimentazione, del probabile campo piezometrico e relativo gradiente idraulico, della portata media erogata dalle sorgenti, fino a determinare l'entità dell'Infiltrazione Efficace relativa alla singola struttura idrogeologica.

La seconda parte dello studio ha previsto la valutazione degli effetti della pressione antropica esercitata sottoforma di prelievi di acqua sotterranea sull'assetto idrogeologico ricostruito nei modelli concettuali, in accordo con quanto previsto anche dalla recente normativa nazionale ed europea sulle acque (D. Lgs 30/2009, direttiva 2006/118/CE).

Per ogni singolo bacino, è stata evidenziata la residua disponibilità idrica effettiva, relativa al flusso di base, con riferimento alla media su lungo periodo ma anche ai valori estremi di magra, in modo da fornire elementi quantitativi per nuove concessioni idriche e il controllo di quelle già in essere, nonché poter guidare lo sviluppo delle attività del Parco relativamente alla componente idrica, che ne rappresenta un elemento di particolare pregio da preservare, pur in considerazione delle esigenze antropiche.

Inoltre, considerata l'elevata qualità intrinseca della risorsa e l'ottimo grado di protezione garantito dalla stessa presenza del Parco Nazionale, sono state appositamente evidenziate possibili aree idonee a prelievi di acque sotterranee con limitato impatto ambientale, dove ovviamente la disponibilità idrica sotterranea è relativamente abbondante. L'eventuale futuro utilizzo di acque sotterranee nelle aree proposte è da ritenersi comunque subordinato alla minimizzazione degli impatti sulle condizioni ambientali e alla definizione del Deflusso Minimo Vitale, che non è stato direttamente valutato nel corso dello studio.

Infine, considerato che il presente studio costituisce una sintesi dell'assetto idrogeologico e una valutazione della reale risorsa disponibile sulla dorsale dei Monti Sibillini, si considera opportuno proseguire con il monitoraggio della risorsa, soprattutto attraverso la realizzazione di una rete di monitoraggio prevalentemente idrometrica, che possa fornire informazioni aggiuntive e soprattutto continue nel tempo.

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI B., 1984. *Lezioni di geologia stratigrafica*. Ed. CISU. Roma.
- BONI C., BONO P., 1982a. *Prima valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace sui sistemi carsici della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese e nei sistemi di facies pelagica umbro-marchigiano-sabina (Italia Centrale)*. Geol. Applicata e Idrogeologia, 17, Bari.
- BONI C., BONO P., 1982b. *Lineamenti idrogeologici dell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese-campiano*. Rel. Fin. Sottoprogramma. "Energia Geotermica", CNR Ref. 15, Roma.
- BONI C., BONO P., CAPELLI G., 1986. *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, Roma.
- BONI C., PETITTA M., 1994. *Sorgenti lineari e valutazione dell'infiltrazione efficace in alcuni bacini dell'Italia centrale*. Quaderni di Geologia Applicata, 1, Bologna.
- 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*. Dipartimento Scienze della Terra Università La Sapienza di Roma, Autorità di Bacino del Fiume Tevere, Parco Nazionale Monti Sibillini. Relazione inedita.
- BONI C., PETITTA M., PREZIOSI E., SERENI M., 1993. *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio*. Collana di bibliografie scientifiche, 78 – CNR. Roma.
- 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., DEIANA G., 1988. *The arcuate shape of the Umbria-Marche Apennines (Central Italy)*. Tectonophysics, 146: 139-147.
- 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.
- CENTAMORE E., MICARELLI A., 1991. *Stratigrafia*. Da "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato urbanistica. Ed. S.E.L.C.A.
- CENTAMORE E., PANBIANCHI G., DEIANA G., CALAMITA F., CELLO G., DRAMIS F., GENTILI B., NANNI T., 1991. *Foglio 2, scala 1:100.000*. Da "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato urbanistica. Ed. S.E.L.C.A.
- CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A., MORETTI A., PIERUCCINI U., 1976. *Carta Geologica dei Monti Sibillini Nord-Orientali*. Studi Geologici Camerti, II.
- COOPER J. C., BURBI L., 1986. *The geology of the central Sibillini Mountains*. Mem. Soc. Geol. It., 35: 323-347.
- COSENTINO D., 1986. *Alti strutturali mesozoici e loro implicazioni geodinamiche durante la tettonogenesi dell'Appennino centrale: un esempio nei M.ti Sibillini meridionali*. Mem. Soc. Geol. It., 35: 349-356.

- DEIANA G., MARCHEGIANI L., 2002a. *Carta geologica del Parco Nazionale dei Monti Sibillini*. Quaderni scientifico-divulgativi del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, Quaderno n. 7, Anibaldi, Ancona.
- DEIANA G., MARCHEGIANI L., 2002b. *Note di Geologia del Parco Nazionale dei Monti Sibillini*. Quaderni scientifico-divulgativi del Parco Nazionale dei Monti Sibillini., Quaderno n. 7, Anibaldi, Ancona.
- DRAGONI W., SPERANZA G., VALIGI D., 2003. *Impatto delle variazioni climatiche sui sistemi idrogeologici: il caso della sorgente Pescara d'Arquata (Appennino Umbro-Marchigiano, Italia)*. *Geologia Tecnica ed Ambientale*, 3: 13-27.
- LAVECCHIA G., 1985. *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 104: 161-194.
- MINISTERO LL.PP., 1921-1997. *Annali idrologici*, parte prima e seconda. Pubbl. Serv. Idrografico, Compartimenti di Roma e Bologna, Poligrafico di Stato, Roma.
- 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)*. 8th Conference on Limestone Hydrogeology, 21-23 September 2006, Neuchâtel.
- PARCO NAZIONALE DEI MONTI SIBILLINI, 2001. *Piano delle acque del Parco Nazionale dei Monti Sibillini*.
- PERRONE E., 1910. *Reno, Lamone, Fiumi Uniti, Savio, Marecchia, Foglia, Metauro, Esino, Potenza, Chienti, Tenna, Aso ed altri minori. Pozzi artesiani della Pianura emiliana, dal Panaro alla Parecchia e del litorale adriatico, da Porto Corsini a Pesaro*. Min. Agr. Ind. e Com. Memorie illustrative della Carta Idrografica d'Italia, 35, Roma.
- REGIONE MARCHE, 1991. *Ambiente fisico delle Marche. Geologia – Geomorfologia – Idrogeologia*. Ed. S.E.L.C.A.
- REGIONE UMBRIA, 2002. *Rilevamento Geologico e Geotematico delle aree terremotate. Carte Geologiche e di Pericolosità sismica locale*. Scala 1:10.000. Regione dell'Umbria, Direzione Politiche Territoriali Ambiente e Infrastrutture, Servizio Geologico.
- TARRAGONI C., 2005. *Definizione dell'assetto idrogeologico dei Monti Sibillini e sua verifica col contributo della simulazione numerica delle condizioni di flusso e dell'idrologia isotopica*. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".