

Cartografia idrogeologica sperimentale nel settore nord-occidentale dei Monti Sibillini (Marche)

Experimental hydrogeological cartography in the north-western sector of the Monti Sibillini (Marche)

BONI C.F. (*), TARRAGONI C. (*),
MARTARELLI L. (**)

RIASSUNTO - Questo lavoro vuole evidenziare l'importanza del dato sperimentale acquisito con il rilevamento di campagna e fornire valutazioni quantitative che considerano l'acqua come protagonista di un processo dinamico. A tal fine è stato scelto il settore nord-occidentale dei Monti Sibillini, dove affiorano i terreni della successione umbro-marchigiana d'ambiente pelagico, con alternanze di litotipi calcarei, calcareo-marnosi e silicei e con successioni ridotte o condensate, interessati da pieghe e sovrascorrimenti e da una successiva tettonica distensiva. Sono stati considerati i dati pluviometrici e termometrici, è stato individuato il reticolo idrografico perenne su cui è stata impostata una rete di monitoraggio eseguendo una campagna annuale con cadenza mensile di misura della portata in alveo. Dal confronto dei dati idrometrici storici e quelli acquisiti (2002-2003) risulta ovunque una netta diminuzione delle portate in alveo, attribuibile sia a derivazione di acque sorgive sia ad una riduzione delle precipitazioni. Sono stati distinti tre complessi idrogeologici calcarei sovrapposti di estensione regionale (Complesso calcareo basale indifferenziato; Complesso della Maiolica; Complesso della Scaglia calcarea) dotati di attitudine ad assorbire ed immagazzinare le acque meteoriche, nonché di restituirle in superficie in corrispondenza di sorgenti puntuali, diffuse e lineari, che sono state identificate e caratterizzate rispetto alla portata mediamente erogata. L'analisi litostratigrafica e strutturale ha permesso di definire la geometria degli acquiferi.

La Cartografia Idrogeologica sperimentale proposta in questo studio deriva dalla sovrapposizione di diversi livelli informativi, dai quali è stato scelto come documento cartografico di base la "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle

Emergenze naturali", cui si affiancano la "Carta dell'Idrologia di superficie" e il "Modello Idrogeologico Concettuale" dei differenti acquiferi riconosciuti. Questo documento è corredato anche da profili idrogeologici che evidenziano le relazioni tra i diversi campi piezometrici. Nel Modello Idrogeologico Concettuale sono state rappresentate per ciascun acquifero le risorse idriche sotterranee rinnovabili, l'area d'alimentazione, il settore saturo e l'eventuale copertura operata da un complesso idrogeologico con permeabilità trascurabile. Dalla portata media complessivamente erogata dalle sorgenti alimentate da ciascun acquifero rapportata all'area di alimentazione è stato effettuato il calcolo dell'Infiltrazione Efficace. Sono stati distinti acquiferi tra loro indipendenti nel Complesso della Scaglia calcarea, nel Complesso della Maiolica e nel Complesso calcareo basale indifferenziato.

PAROLE CHIAVE: Idrogeologia quantitativa, Cartografia idrogeologica, Monti Sibillini, Marche.

ABSTRACT - This work is aimed to highlight the significance of the acquisition of field survey information and of the quantitative hydrogeological evaluations, leading the water to be assumed as the focal point of a dynamic hydrogeological process. For this purpose, the north-western sector of the Monti Sibillini the Umbrian-Marchean pelagic succession, characterized by calcareous, calcareous-marly and silicic, heteropic toward reduced and condensed succession, has been studied. This sequence is involved in a fold and overthrust tectonics, followed by a development of normal faults.

Pluvio-thermometric information has been discussed,

(*) Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze della Terra

(**) ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo

the perennial hydrographical network has been defined and investigated through an annual monitoring survey with monthly frequency. The runoff values measured in this study (2002-2003) are lower than those referred to past years, since there was occurrence of both spring water derivation and rainfall reduction. Three regionally relevant reciprocally overlaid calcareous hydrogeological complexes have been distinguished (*Calcareo basale indifferenziato* Complex; *Maiolica* Complex; *Scaglia calcarea* Complex); they have a clear attitude to absorb and store meteoric waters and to let groundwater outcropping at punctual, diffuse and linear springs, that have been identified and characterized on the basis of their mean discharge values. The lithostratigraphical and structural study has allowed the defining of aquifer settings.

The experimental hydrogeological cartography proposed by this study consists of different informative layers, from which the "Hydrogeological Complexes and Natural Springs Map" was derived and selected as focal map. The "Surface Hydrology Map" and the "Hydrogeological Conceptual Model" of the different distinguished aquifers accomplish the hydrogeological framework. This framework is also supported by hydrogeological cross sections that show the relationship between the different piezometric fields. The Hydrogeological Conceptual Model shows the renewable groundwater resource, the recharge area and the saturated sector of each aquifer and the possible covering acted by hydrogeological complexes with low permeability. The Effective Infiltration values have been calculated by mean of the average total discharge of the springs fed by each aquifer compared to the corresponding recharge area. Hydraulically independent aquifers have been defined in the *Scaglia calcarea*, in the *Maiolica* and in the *Calcareo basale indifferenziato* hydrogeological complexes.

KEY WORDS: Quantitative hydrogeology, Hydrogeological cartography, Monti Sibillini, Marche

1. - PREMESSA

Le caratteristiche idrogeologiche di un'area sono molteplici pertanto la loro rappresentazione, per quanto simbolica, richiede l'allestimento di diverse carte tematiche, ciascuna dedicata all'illustrazione di particolari aspetti dell'idrogeologia regionale: non è possibile elaborare un unico documento cartografico rappresentante la topografia, i complessi idrogeologici, l'assetto idrostrutturale, le sorgenti, i campi piezometrici, l'idrologia di superficie, le opere idrauliche, gli apporti meteorici, i modelli concettuali degli acquiferi, ecc.

Sulla base di queste considerazioni si propone questo documento cartografico, frutto di approfonditi studi condotti su diversi aspetti dell'idrogeologia e costituito da più elaborati dai quali si è dovuto necessariamente "selezionare" le informazioni disponibili al fine di fornire un documento di facile lettura.

Il documento proposto, fortemente ancorato agli aspetti quantitativi, vuole evidenziare l'importanza del dato sperimentale acquisito con il rilevamento di campagna.

2. - INTRODUZIONE

Il presente lavoro riassume, dopo un'ampia revisione ed aggiornamento sia nei dati idrogeologici sia nella veste editoriale e cartografica, i risultati ottenuti in seguito ad uno studio realizzato nell'ambito di una convenzione tra Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali - Servizio Geologico Nazionale (SGN), ora ISPRA - Servizio Geologico d'Italia/ Dipartimento Difesa del Suolo, e Università degli Studi di Roma "La Sapienza" - Dipartimento di Scienze della Terra.

Le innovazioni introdotte hanno lo scopo di integrare i consolidati metodi di cartografia idrogeologica, che forniscono una rappresentazione statica e prevalentemente descrittiva, con valutazioni quantitative che considerano l'acqua come protagonista di un processo dinamico, caratterizzato da variazioni cicliche sia di carattere stagionale, sia di lungo periodo.

A tal fine, è stata allestita una Carta Idrogeologica, alla scala 1:50.000 (tav. II f.t. in tasca di copertina), che mette in chiara evidenza quali sono gli acquiferi più significativi e le rispettive aree di alimentazione, quali sono i limiti idraulici tra acquiferi contigui e quale è l'assetto idrostrutturale del territorio. Per raggiungere quest'obiettivo è indispensabile considerare i fondamentali caratteri litostratigrafici della successione sedimentaria interessata e riconoscere il diverso comportamento dei complessi idrogeologici che la costituiscono.

3. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I primi studi significativi sulla geologia dell'area sono stati condotti dal SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1941), SELLI (1950), MERLA (1951) e da SCARSELLA (1946, 1951a, 1951b) per il rilevamento del foglio geologico ufficiale 132-Norcia alla scala 1:100.000 e per altri lavori specifici nell'area. Questi studi hanno fissato i fondamentali termini della stratigrafia e dell'assetto strutturale. Il settore settentrionale dell'area considerata è stato studiato da SCARSELLA & MORETTI in occasione del rilevamento del foglio 124 - Macerata (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1967).

Un rilevamento di dettaglio alla scala 1:25.000 dei Monti Sibillini nord-orientali (CHIOCCHINI *et alii*, 1976) porta un nuovo sostanziale contributo ad una migliore definizione della stratigrafia caratteristica dell'area e dell'assetto strutturale in corrispondenza del fronte nord-orientale della dorsale carbonatica dei

Monti Sibillini compreso tra il Fiume Ambro ed il Fiume Fiastrone.

Una sintesi delle conoscenze viene data da CENTAMORE *et alii* (1991) con un ulteriore affinamento della stratigrafia, delle linee tettoniche e con note di idrogeologia, in gran parte riprese da studi precedenti; TARRAGONI (2005) propone una sintesi aggiornata delle conoscenze geologiche e geologico-strutturali dell'area.

Numerosi sono i lavori a carattere regionale che interessano l'area indagata, soprattutto intesi ad una sempre più approfondita definizione dell'assetto strutturale (CENTAMORE *et alii*, 1972, 1986; DAMIANI, 1975; LAVECCHIA, 1979, 1981; LAVECCHIA & PIALLI, 1981; CALAMITA & DEIANA, 1986, 1988; CALAMITA *et alii*, 1986, 1990, 1991, 1992; COOPER & BURBI, 1986; COSENTINO, 1986; BARCHI *et alii*, 1996).

Da questi lavori risulta chiaramente che i terreni affioranti, nell'area considerata, sono quelli tipici della successione umbro-marchigiana, costituita da un *multilayer* sedimentario sottilmente stratificato d'ambiente pelagico, in cui si alternano litotipi francamente calcarei a litotipi da calcareo-marnosi a silicei. Detta successione si è imposta su calcari massivi neritici del Liassico inf. (Calcere Massiccio), disarticolati da una fase tettonica distensiva nel Liassico medio. Questa situazione ha dato origine a vistose eteropie verso successioni ridotte, condensate o lacunose, con sensibili variazioni di spessore e con caratteri litologici singolari.

Le sollecitazioni tettoniche generatesi tra il Miocene sup. ed il Pliocene hanno deformato la sequenza sedimentaria, generando una catena a pieghe est-vergenti e sovrascorrimenti generalmente immergenti verso W (LAVECCHIA, 1979, 1981, 1985; DECANDIA, 1982; KOOPMAN, 1983; COOPER & BURBI, 1986; CALAMITA & DEIANA, 1988) le cui direzioni sono circa meridiane; il regime tettonico distensivo impostatosi dal Pliocene sup. (ELTER *et alii*, 1975; LAVECCHIA *et alii*, 1994) ha generato faglie dirette ad andamento NW-SE (CALAMITA *et alii*, 1991, 1994; CALAMITA & PIZZI, 1992, 1994).

3.1. - BREVE SINTESI DEI CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI

I terreni appartenenti alla successione stratigrafica dell'area studiata hanno età compresa fra il Triassico sup. e il Miocene; il Quaternario è rappresentato da depositi alluvionali, detriti di falda, depositi glaciali e travertini.

Calcere Massiccio (*Triassico sup. - Liassico inf.*)

In letteratura sono note due unità di Calcere

Massiccio (C.M.): C.M. del Burano, che si trova sempre alla base delle successioni complete, e il C.M. del Monte Nerone, affiorante alla base delle successioni condensate, lacunose e composte. Delle due unità, in questa sede viene descritto solo il C.M. del M. Nerone, essendo l'unico ad affiorare nella zona in esame.

Nella formazione si distinguono due membri: uno inferiore (A), potente oltre 700 m, costituito da una sequenza ciclotemica ed uno superiore (B), dello spessore di 50-60 m, prevalentemente biodetritico.

Il membro A, di ambiente da subtidale a supratidale, si presenta in strati molto spessi ai quali si alternano strati di spessore medio; le litofacies sono costituite da biomicriti, calcari biodetritici e oolitici, lamine stromatolitiche, strutture vadose e da disseccamento (PIALLI, 1971).

Il membro B chiude la sedimentazione di piattaforma carbonatica; questa unità fortemente biodetritica, nella quale si possono trovare lamelli-branchi, gasteropodi, alghe, echinodermi ecc., si sarebbe deposta alla sommità degli alti strutturali all'inizio del lento "annegamento" (PIALLI, 1971).

Successivamente alla deposizione del C.M. la subsidenza differenziale, controllata dalla tettonica sinsedimentaria, porta alla formazione di un fondale fortemente articolato, con depressioni rapidamente subsidenti e zone di alto morfologico isolate da scarpate; in questo scenario le condizioni deposizionali, tra il Liassico inf. ed il Titonico inf., sono molto variabili e comportano la sedimentazione di diverse successioni (tab. 1).

Successione completa

Corniola (*Lotharingiano - Toarciano inf.*)

Prevalentemente costituita da calcari micritici biancastri, *beige* o nocciola con locali intercalazioni detritiche, la Corniola è caratterizzata dalla presenza di selce in liste e noduli e di intercalazioni pelitiche soprattutto nella porzione superiore. La stratificazione è netta nelle porzioni più micritiche, mentre si fa spessa e lenticolare nelle facies detritiche. I clasti degli orizzonti detritici provengono dallo smantellamento delle aree morfologicamente più rilevate: l'irregolarità del fondale è testimoniata anche da *slumping* intraformazionali, dall'alta componente bioclastica e dalla variabilità degli spessori (da pochi metri a 150-400 m). Tra i fossili si rinvengono ammoniti, brachiopodi, radiolari, grosse spicole di spugna e ostracodi. Nell'area considerata lo spessore della Corniola è difficilmente misurabile, perché non s'individua in affioramento il passaggio al sottostante Calcere Massiccio.

Calcari e marne del Sentino (*Toarciano*)

La formazione, non sempre presente all'interno della successione, spesso è eteropica con la

Tab. 1 - *Schema delle tipologie di successione stratigrafica nell'area studiata (da CENTAMORE & MICARELLI, 1991).*
 - Stratigraphic succession typology outline in the study area (from CENTAMORE & MICARELLI, 1991).

Successione	Formazioni	Ambiente deposizionale
Completa	Calcari diasprigni umbro-marchigiani Calcareniti di Monte Valvasseto - Calcareniti nocciola della Valnerina Formazione del Bosso Calcari e marne del Sentino Corniola Calcere Massiccio del Burano	Bacino fortemente subsidente
Condensata	Formazione del Bugarone Calcere Massiccio di M. Nerone	Alto strutturale
Composta	Successioni complete sovrapposte a successioni condensate o lacunose	Alto strutturale "annegato"

porzione superiore della Corniola e con quella basale della Formazione del Bosso; più raramente si sostituisce a quest'ultima e alla parte basale del Calcari diasprigni: ciò implica spessori variabili da pochi metri a 50-70 m. Nell'area in esame la potenza è di qualche decina di metri. I Calcari e marne del Sentino sono costituiti da calcari e calcari marnosi con selce in liste e noduli e da marne, marne calcaree e marne argillose variamente alternate tra loro. Si risente ancora dello smantellamento degli alti strutturali dove s'intercalano calcareniti costituite da clasti di natura organica ed inorganica.

Formazione del Bosso (*Toarciano - Bajociano*)

La formazione del Bosso presenta spessori e caratteri litologici omogenei nelle aree di bacino, mentre nelle zone di alto strutturale è composta da due membri:

Rosso Ammonitico: calcari e calcari marnosi si alternano a marne nodulari in strati medio-spessi; localmente si rinvengono intercalazioni detritiche eterometriche. Il colore è variabile tra il rosso e il verde, ma talvolta può essere anche giallo. Ricca è la fauna ad ammoniti. Nella zona di studio il suo spessore è di 25-30 m.

Calcari e marne a Posidonia: calcari marnosi, con passaggi a marne nodulari, sottilmente stratificati alla base che verso l'alto passano a calcari micritici con intervalli detritici e selce policroma. La litofacies è caratterizzata dalla presenza di gusci di lamellibranchi dispersi o concentrati a formare lumachelle. Lo spessore è variabile dai 15 ai 90 m.

La valutazione degli spessori di questi due

membri è difficoltosa poiché il passaggio tra i due è graduale e di difficile definizione sul terreno.

Calcareniti di M. Valvasseto – Calcareniti nocciola della Valnerina (*Aaleniano - Oxfordiano*)

Calcareniti a granulometria variabile, con stratificazione medio-spessa, alternate a calcari micritici e biomicritici con selce in liste e noduli. Lo spessore è variabile da pochi metri fino ad oltre 100 m, come si può osservare a M. Valvasseto (CHIOCCHINI *et alii*, 1976).

Calcari diasprigni (*Calloviano - Titonico inf.*)

Micriti e micriti verdastre silicizzate con intercalazioni calcarenitiche e con selce policroma in liste e noduli; talora sono presenti blocchi di notevoli dimensioni (olistoliti) franati dai limitrofi alti strutturali. La formazione è spessa dagli 80 ai 150 m ed il contenuto fossilifero è rappresentato in prevalenza da radiolari. La variabilità degli spessori dei Calcari Diasprigni è ben esposta nell'area oggetto di questo studio: nell'alta valle del Fiastrone la potenza è di 90-100 m; presso Villa da Piedi è di circa 65 m e a M. Sassotetto si riduce a poche decine di metri.

Successione condensata

Formazione del Bugarone (*Pliensbachiano - Titonico inf.*)

Termine tipico di alto strutturale, con i suoi 60-70 m di spessore indica la successione compresa tra il Calcere massiccio di M. Nerone e la Maiolica. Alcuni autori (CENTAMORE & MICARELLI, 1991) distinguono quattro membri, talvolta non differenziabili: Calcari stratificati grigi, Calcari nodulari con marne verdi, Calcari

nodulari nocciola e Calcari nodulari ad Aptici.

Dal Titonico sup. la successione prosegue verso l'alto nel modo seguente:

Maiolica (*Titonico sup.* - *Aptiano inf.*)

Calcari micritici biancastri ben stratificati, con selce in liste e noduli e intercalazioni pelitiche che si fanno più frequenti e potenti nella parte alta della formazione. CENTAMORE & MICARELLI (1991) distinguono una Maiolica di *seamount* e una Maiolica di bacino in base alle differenze di spessori e litofacies, soprattutto nella porzione basale. La Maiolica di *seamount* presenta calcari nodulari, talvolta dolomitizzati, in strati massivi e la selce è praticamente assente; la Maiolica di bacino, invece, è costituita da calcari micritici in strati medi e sottili con intercalazioni calcareo-detritiche e selce; la prima è spessa da pochi metri a 100 m, mentre la seconda ha spessori di diverse centinaia di metri. Nell'area studiata si è valutato uno spessore della Maiolica generalmente inferiore a 200 m, ma localmente anche differente.

Marne a Fucoidi (*Aptiano inf.* - *Cenomaniano inf.*)

Questa formazione può essere divisa in due membri: il membro inferiore (40-50 m) è costituito da marne e marne argillose policrome sottilmente stratificate, con sporadiche marne bituminose; nel membro superiore si alternano calcari e calcari marnosi a marne e marne calcaree, separati da sottili livelli argillosi che tendono ad essere sostituiti, verso l'alto, dalla selce (CENTAMORE & MICARELLI, 1991). Lo spessore complessivo della formazione varia tra i 50-120 m, ma frequentemente si aggira intorno a 80-100 m (CHIOCCHINI *et alii*, 1976). Nell'area in studio lo spessore delle Marne a Fucoidi è stato valutato in circa 50 m.

Scaglia Bianca (*Cenomaniano medio* - *Turoniano inf.*)

Calcari micritici biancastri ben stratificati con selce nera in liste e noduli e intercalazioni marnoso-argillose; nella porzione più alta, poco prima del passaggio alla Scaglia rossa, si trova il *Livello Bonarelli*; noto orizzonte bituminoso-ittiolitico (spesso 1-1,5 m). Lo spessore della Scaglia Bianca è di circa 40 m.

Scaglia Rossa (*Turoniano inf.* - *Eocene sup.*)

Calcari micritici rosati e rossi con intercalazioni selcifere e marnose. Alcuni autori (CENTAMORE & MICARELLI, 1991) distinguono diversi membri in relazione alla presenza di calcari marnosi; PARISI (1994) distingue, invece, quattro membri in relazione al contenuto in selce. Lo spessore della formazione è assai variabile (200-450 m), anche in funzione del fatto che alcuni autori (CENTAMORE *et alii*, 1971) vi associano la formazione della Scaglia Variegata.

Scaglia Cinerea (*Eocene sup.* - *Oligocene*)

Calcari marnosi, marne calcaree e marne argil-

lose con livelli calcarenitici e subordinatamente micritici; la formazione, con spessore dai 100 ai 250 m, ha una colorazione grigio-cinerea. Secondo DECANDIA (1982) sarebbe associata alla Scaglia Variegata.

La progressiva migrazione verso E del sistema catena-avanfossa-avampaese influenza la morfologia del fondo marino che, nel Miocene, diviene piuttosto articolato. Gli affioramenti miocenici e post-miocenici presenti all'interno dell'area indagata appartengono al Bacino marchigiano interno (CENTAMORE & MICARELLI, 1991), mentre la fascia ad E che borda la dorsale dei Monti Sibillini è costituita da depositi appartenenti al Bacino marchigiano esterno.

Le successioni stratigrafiche mioceniche e post-mioceniche, ad eccezione delle porzioni basali (Formazione del Bisciario), presentano caratteristiche profondamente diverse da zona a zona.

In questo contesto si hanno tre successioni distinte:

Bacino di Camerino: Scaglia Cinerea, Bisciario, Schlier, Arenarie di Camerino, Formazione gesso-solfifera e Argille a Colombacci.

Bacino della Laga a N della linea Fiastrone-Fiastrella (più avanti: linea FF): Scaglia Cinerea, Bisciario, Schlier e Formazione della Laga.

Bacino della Laga a S della linea FF: Scaglia Cinerea, Bisciario, Marne con Cerrognana, Marne a Pteropodi e Formazione della Laga.

Di seguito vengono descritte le sole formazioni affioranti nell'area del presente lavoro.

Bisciario (*Aquitano* - *Burdigaliano*)

Calcari marnosi e calcari, generalmente di colore scuro con selce nera in liste e noduli; marne calcaree e marne argillose grigie, livelli vulcanoclastici rioidacitici e intercalazioni calcarenitiche.

Schlier (*Burdigaliano-Tortoniano medio/Messiniano p.p.*)

Marne, marne argillose e più limitatamente marne calcaree e calcari marnosi, con stratificazione sottile e ben definita. L'età del tetto varia nei diversi bacini minori: nel bacino di Camerino il tetto dello Schlier è attribuito al Tortoniano medio (CENTAMORE & MICARELLI, 1991).

Arenarie di Camerino (*Tortoniano medio p.p.* - *Messiniano inf.*)

Formazione costituita da diverse associazioni di facies, alternate tra loro in vario modo:

Associazione arenaceo-conglomeratica in strati spessi e massicci;

Facies caotica a geometria lenticolare;

Associazione arenacea in strati da spessi a massivi;

Associazione arenaceo-pelitica con stratificazione da media a spessa;

Associazione pelitico-arenacea sottilmente stratificata;

Associazione pelitica in strati sottili.

La variabilità degli spessori delle Arenarie di Camerino è molto ampia: dai 1500–1700 m nel settore centrale ed orientale (dove si trovava il depocentro del bacino), ai 300–500 m nelle porzioni settentrionali ed occidentali.

Depositi quaternari

Depositi alluvionali: sono depositi fluvio-lacustri costituiti da materiale clastico eterometrico, prevalentemente calcareo, e legati da una matrice limoso-sabbiosa. Bordano generalmente i principali corsi d'acqua e si presentano localmente terrazzati.

Detriti di falda: materiali incoerenti ed eterometrici a spigoli vivi distribuiti, quasi ovunque, ai piedi dei rilievi carbonatici. Talvolta organizzati in letti regolarmente alternati, i clasti derivano prevalentemente dalla formazione della Maiolica e/o dalla Scaglia bianca e rossa per degradazione meteorica e per l'azione del gelo e disgelo.

Depositi glaciali: si tratta di modesti accumuli di materiale morenico. FARABOLLINI *et alii* (1990) segnalano dei sedimenti eolici di tipo *loess* vicino Bolognola.

Travertini: si tratta di depositi affioranti, per circa 350–400 m, nell'alta valle del Fiastrone; sono generati da emergenze idriche diffuse a quote variabili lungo il basso versante sinistro della valle, in prossimità della confluenza col fosso dell'Acquasanta. Si presentano come incrostazioni di qualche metro di spessore per altezze variabili tra pochi metri e una decina di metri.

3.2. - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA D'INDAGINE

L'esame delle situazioni stratigrafiche riscontrate nella valle del Chienti di Pieve Torina ed in riva destra e sinistra del Fiume Fiastrone ha messo in evidenza che in tutto il territorio considerato affiorano esclusivamente successioni ridotte e condensate che mostrano spessori nettamente inferiori a quelli mediamente attribuiti alla successione completa. In particolare (fig. 1) nella valle del Chienti (località Val di Tazza) si osservano modestissimi affioramenti dei termini liassici, la presenza della Formazione del Bugarone e ridotti spessori della Formazione della Maiolica.

In riva destra del F. Fiastrone (Monte Sassotetto; fig. 1) si riscontra una situazione stratigrafica simile a quella precedentemente descritta, ma con spessori della Maiolica sensibilmente superiori.

In riva sinistra del Fiastrone (località Villa da Piedi; fig. 1), invece, sono presenti significativi affioramenti di termini liassici cui fanno seguito depositi prevalentemente calcareo-silico-marnosi, di età giurassica, riferibili alle "Marne del Sentino", alla "Formazione del Bosso", alle "Calcareni di Monte Valvasseto" e ai "Calcari Diasprigni".

Questi sedimenti, nel loro complesso, presentano spessori molto variabili da luogo a luogo, difficilmente valutabili per la difficoltà di accesso dei luoghi e per l'estesa copertura detritica che li maschera.

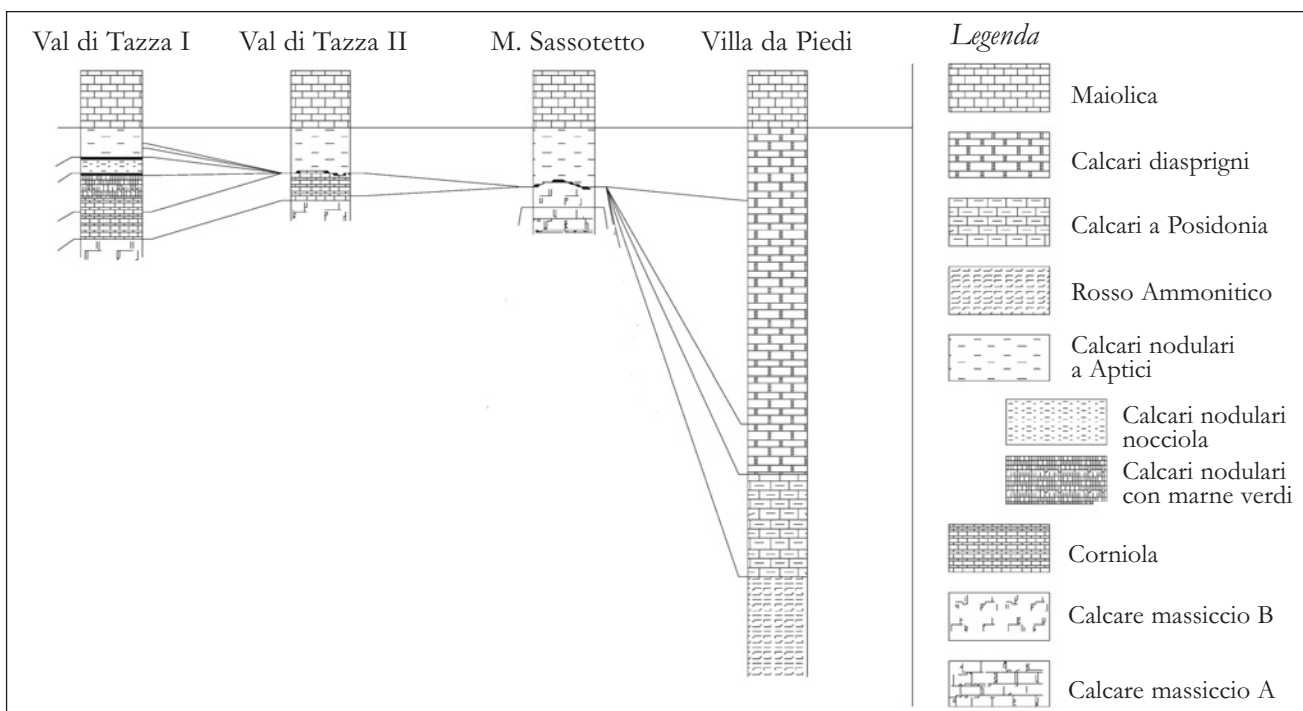


Fig. 1 - Rapporti stratigrafici tra successioni condensate, lacunose e complete (CENTAMORE *et alii*, 1971, modificato).
- *Stratigraphic correlations among condensed, discontinuous and continuous successions (modified from CENTAMORE et alii, 1971).*

4. - CLIMATOLOGIA

Sono stati elaborati i dati pluviometrici e termometrici di 22 stazioni distribuite in un'area assai più vasta di quella oggetto di studio. Per le stazioni prive di dati termometrici sono stati utilizzati quelli desunti dalla retta di correlazione quota-temperatura, costruita con i dati disponibili (fig. 2).

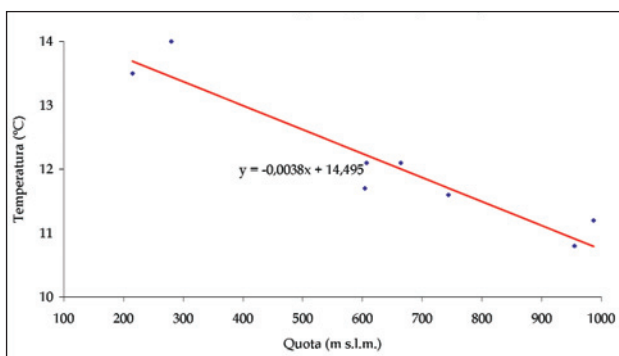


Fig. 2 - Retta di correlazione regionale quota-temperatura su base annua.
- Elevation vs. temperature annual correlation line at regional scale.

I dati pluviometrici delle tre stazioni più significative (Pievebovigliana, Bolognola ed Appennino) sono stati elaborati per evidenziare la variabilità nel tempo delle precipitazioni che interessano l'area considerata. Si riportano come figure, a titolo di esempio, le elaborazioni statistiche della sola stazione di Bolognola.

La stazione di Pievebovigliana è posta a quota 451 m s.l.m. ed ha funzionato per 62 anni nel periodo compreso tra il 1924 ed il 1989 (ultimo dato disponibile). I dati di precipitazione dei singoli anni sono riportati in tabella 2; su questi vengono eseguite alcune elaborazioni statistiche elementari.

Le precipitazioni possono subire variazioni positive dell'ordine del 45% e negative del 25% rispetto alla media calcolata sull'intero periodo (1039 mm/a). Tra il 1960 ed il 1990 si osserva una decisa caduta dei valori della media mobile a 5 anni da 1300 a 1000 mm/a. È stata eseguita un'elaborazione polinomiale di ordine 6 che ha evidenziato l'esistenza di variazioni cicliche attorno a valori medi di circa 1000 mm/a.

Tab. 2 - Valori di precipitazione annua della Stazione pluviometrica di Pievebovigliana con indicazione del valore di precipitazione medio riferito all'intero periodo di funzionamento della stazione.

- Annual rainfall values in the pluviometric station of Pievebovigliana and its mean value calculated on the total available measurements.

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI PIEVEBOVIGLIANA (451 m s.l.m.)							
(62 anni di funzionamento)							
Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)
1924	1002	1941	969	1958	1393	1975	791
1925	949	1942	1043	1959	1416	1976	1428
1926	1045	1943	760	1960	1327	1977	836
1927	944	1944		1961	990	1978	948
1928	1073	1945		1962	1034	1979	1021
1929	989	1946	1082	1963	1252	1980	1115
1930	993	1947	807	1964	1128	1981	855
1931	1061	1948	811	1965	1177	1982	987
1932	950	1949	1046	1966	935	1983	915
1933	1247	1950	868	1967	861	1984	1022
1934	1135	1951	1068	1968	1230	1985	764
1935		1952	1014	1969	1172	1986	1103
1936		1953	964	1970	752	1987	1077
1937	1271	1954	1053	1971	851	1988	857
1938		1955	1308	1972	1142	1989	751
1939	1313	1956	1032	1973	964		
1940	1126	1957	1483	1974	887	Media	1039 mm

La stazione di Bolognola è posta a quota 1070 m s.l.m. ed ha funzionato per 61 anni nel periodo compreso tra il 1922 ed il 1984 (ultimo dato disponibile). I dati di precipitazione dei singoli anni sono riportati in tabella 3; anche su questi sono state eseguite elaborazioni statistiche elementari.

La figura 3, in cui è riportata anche la media mobile con periodo di 5 anni, mette in evidenza come le precipitazioni possano subire variazioni positive e negative dell'ordine approssimativo di circa 40%, rispetto al valore della precipitazione media di lungo periodo (1200 mm/a). Anche in questo caso si notano variazioni cicliche con periodo approssimativamente ventennale. L'elaborazione polinomiale (fig. 3b) conferma sostanzialmente quanto deducibile dal grafico in cui è riportata la media mobile.

La stazione di Appennino è posta a quota 798 m s.l.m. ed ha funzionato per 32 anni nel periodo compreso tra il 1921 ed il 1955 (ultimo dato disponibile, tab. 4). È stata selezionata questa stazione perché è ubicata nella porzione centrale del territorio investigato ad una quota prossima agli 800 m. Anche per questa stazione nel periodo consi-

derato si sono registrate forti variazioni di precipitazione, positive e negative, di circa 55% rispetto ad una media di 1159 mm/a.

Si può infine osservare (tab. 5) che le stazioni considerate sono distribuite tra le quote 1453 m (Castelluccio) e 314 m (Calderola). Non è stata riscontrata alcuna significativa correlazione tra la quota delle stazioni e la relativa precipitazione media annua. Poiché mancano informazioni dirette sulle precipitazioni che interessano i rilievi posti a quote comprese tra 1500 m e 2000 m circa, in questa fascia di altitudine non sono noti i valori di precipitazione. Non si conosce di conseguenza l'entità dell'afflusso meteorico in buona parte delle aree d'alimentazione dei principali acquiferi individuati. I valori di precipitazione e di precipitazione efficace media annua calcolata desunti dai dati disponibili devono essere considerati, pertanto, come valori indicativi e sottostimati in tutti i settori dove il territorio si eleva a quote superiori ai 1500 m. Questi valori non possono essere utilizzati per significativi calcoli di bilancio, ma sono certamente da considerarsi come utili dati di confronto.

Tab. 3 - *Valori di precipitazione annua della Stazione pluviometrica di Bolognola con indicazione del valore di precipitazione medio riferito all'intero periodo di funzionamento della stazione.*

- Annual rainfall values in the pluviometric station of Bolognola and its mean value calculated on the total available measurements.

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI BOLOGNOLA (1070 m s.l.m.)							
(61 anni di funzionamento)							
Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)
1922	1204	1939	1717	1956	1087	1973	1058
1923	1316	1940	1403	1957	1216	1974	1068
1924	888	1941	1280	1958	1267	1975	785
1925	913	1942	1181	1959	1428	1976	1828
1926	1125	1943	1006	1960	1381	1977	900
1927	1053	1944	1609	1961	1320	1978	1282
1928	1357	1945	778	1962	1258	1979	
1929	1248	1946	1151	1963	1605	1980	1308
1930	1322	1947	1151	1964	1206	1981	937
1931	1350	1948	1033	1965	1260	1982	
1932	1124	1949	1283	1966	1059	1983	1135
1933	1718	1950	1096	1967	1148	1984	1314
1934	1613	1951	1485	1968	1191		
1935	1151	1952	1192	1969	1372		
1936	1256	1953	1165	1970	979		
1937	1775	1954	1284	1971	1011		
1938	1157	1955	1584	1972	1274	Media	1240 mm

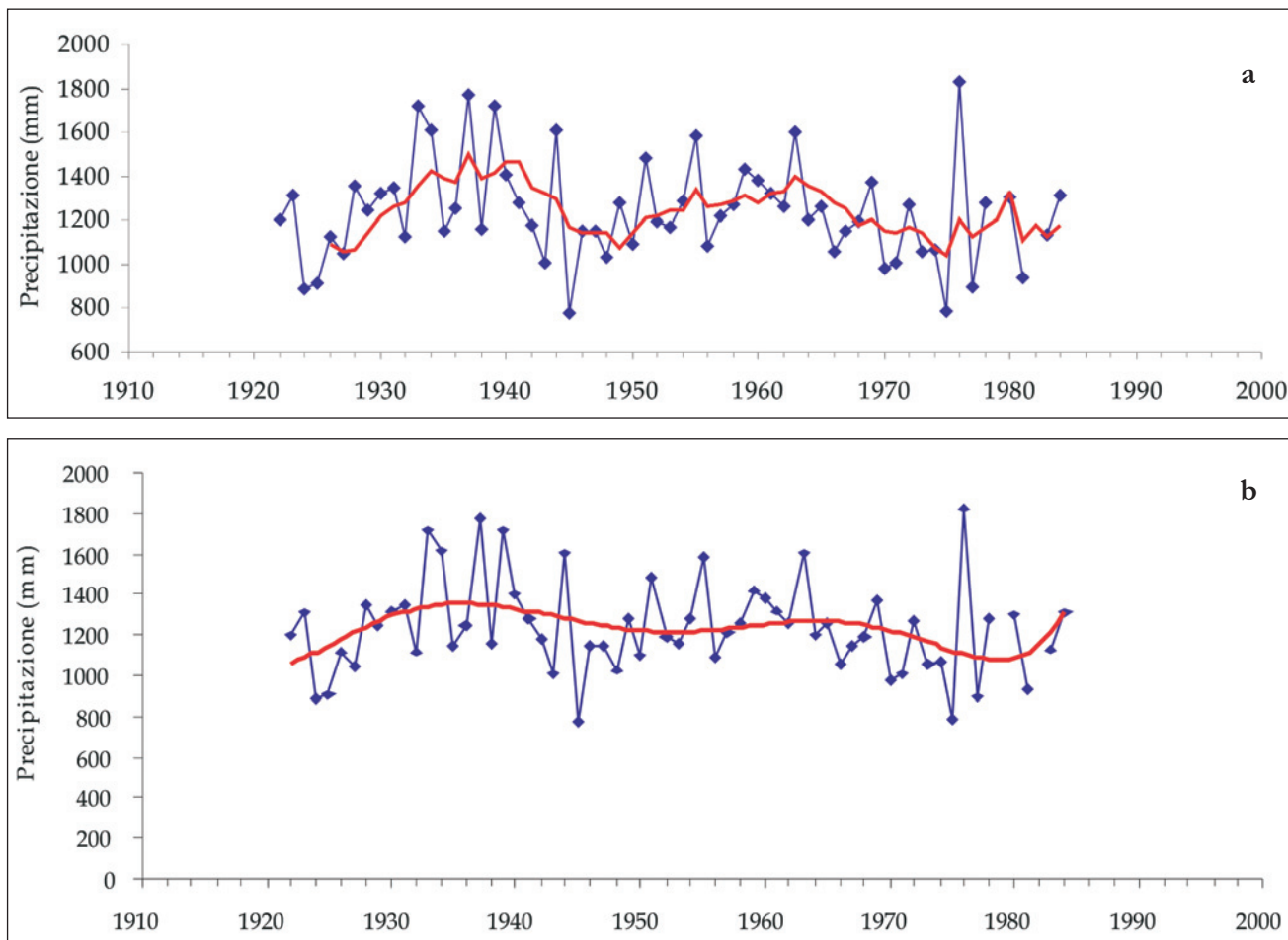


Fig. 3 - a) Rappresentazione grafica dei valori di precipitazione annui della Stazione pluviometrica di Bolognola con indicazione della media mobile a 5 anni; b) rappresentazione grafica dei valori di precipitazione annui della Stazione pluviometrica di Bolognola con indicazione della linea di tendenza polinomiale di ordine 6.
 - a) Plot of annual rainfall values at the pluviometric station of Bolognola and its related curve built according to a mobile mean within a period of 5 years; b) plot of annual rainfall values at the pluviometric station of Pievebovigliana and its related 6th-order polynomial trend curve.

5. - IDROLOGIA

L'elaborazione dei dati idrologici prevede un confronto tra dati idrologici desunti dalla bibliografia e da studi precedenti ed i dati acquisiti durante questa ricerca.

I primi dati disponibili sono quelli forniti dal PERRONE (1910) che ha condotto un'accurata campagna di misura sia della portata delle principali sorgenti che della portata di magra ordinaria dei corsi d'acqua. Dopo il PERRONE, il Servizio Idrografico di Stato, in vista della costruzione dei grandi invasi artificiali di Fiastra e di Polverina, ha installato nell'area tre stazioni idrometriche che, sebbene abbiano funzionato solo per brevi periodi negli anni '30 e negli anni '40, hanno fornito dati significativi. Il lavoro di idrogeologia di maggiore dettaglio è senz'altro quello di DRAMIS & DEIANA (1972). Questo lavoro ha il grande pregio di segnalare tutte le sorgenti esistenti sul territorio, anche le più modeste, ma ha il limite di non con-

siderare le portate di magra ordinaria dei corsi d'acqua principali. BONI *et alii* (1986) segnalano le sorgenti puntuali e lineari più significative e ne indicano i valori della portata media desunta da dati precedenti e da apposite misure eseguite sporadicamente. NANNI (1991) riporta su una carta geologica a scala 1:100.000 le principali emergenze sia puntuali che lineari, in gran parte riprese da lavori pubblicati in precedenza, descrive i più significativi aspetti dell'idrogeologia della regione marchigiana e cura particolarmente gli aspetti geochimici delle acque sorgive e le condizioni idrogeologiche delle pianure costiere. Inoltre, le informazioni di studi precedenti sono state aggiornate da alcune Tesi di Laurea inedite (AGOSTINI, 1994; NAPPI, 1994; TARRAGONI, 2001; ZOLLET, 2001) condotte secondo i più recenti metodi di idrogeologia quantitativa.

Poiché tutti gli studi precedenti sono stati eseguiti con l'intento di fornire un quadro regionale di ampio respiro, non forniscono significativi ele-

Tab. 4 - *Valori di precipitazione annua della Stazione pluviometrica di Appennino con indicazione del valore di precipitazione medio riferito all'intero periodo di funzionamento della stazione.*

- Annual rainfall values in the pluviometric station of Appennino and its mean value calculated on the total available measurements.

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI APPENNINO (798 m s.l.m.)							
(32 anni di funzionamento)							
Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)	Anno	Precipitazione (mm)
1921	974	1930	1057	1939	1799	1948	1403
1922	867	1931	1142	1940	1590	1949	1380
1923	883	1932	1127	1941	1648	1950	1342
1924	513	1933	1213	1942	1082	1951	1488
1925	653	1934	1065	1943	989	1952	1348
1926	813	1935	1114	1944		1953	974
1927	621	1936	1470	1945		1954	1058
1928	777	1937	1847	1946	1043	1955	1497
1929	989	1938		1947	1346	Media	1159 mm

Tab. 5 - *Elenco delle stazioni pluviometriche considerate per il calcolo della precipitazione media annua del settore nord-occidentale dei Monti Sibillini.*

- List of the pluviometric stations taken into account for the calculation of the annual mean rainfall in the north-western sector of the Monti Sibillini.

Stazione	Quota (m s.l.m.)	P media mm/a	Stazione	Quota (m s.l.m.)	P media mm/a	Stazione	Quota (m s.l.m.)	P media mm/a
Serravalle	647	951	Sarnano	539	1083	Fiume di Fiastra	618	1225
Camerino	664	1120	Piè di Sasso	653	1321	Castelluccio	1453	968
S. Marota	555	1116	Appennino	798	1377	Pievebovigliana	451	1040
Calderola	314	1034	Bolognola	1070	1574	Arquata del Tronto	720	1270
S. Ginesio	687	1133	Amandola	550	954	Capo d'Acqua	817	1059
Ussita	744	960	Montefortino	639	1024	S. Maria di Pieca	467	1069
Campi	761	798	Visso	607	1020			
Foce	951	1467	Preci	907	946			

menti di dettaglio riguardo agli acquiferi presenti nella regione. Non è pertanto significativo un confronto tra i dati cartografici presentati in questo lavoro e quelli di studi precedentemente acquisiti. È parso invece opportuno mettere a confronto, in particolare, le portate misurate a più riprese nel corso dell'ultimo secolo con quelle acquisite nel corso di questa ricerca.

5.1. - CAMPAGNA DI MISURE

Le campagne di misura della portata in alveo sono state eseguite in 21 sezioni opportunamente distribuite nel territorio, con cadenza mensile da aprile 2002 ad aprile 2003. L'ubicazione delle sezioni e la sigla relativa figurano nella "Carta dell'idrologia di superficie" (inserita come elemento

a margine nel documento cartografico allegato). L'elenco delle sezioni di misura (il cui nome è composto da una sigla rappresentativa del nome del corso d'acqua e della quota della specifica sezione), il numero di misure eseguite, il periodo di riferimento, il valore della portata media calcolata ed il valore della portata minima misurata sono riportati nella tabella 6.

5.2. - CONFRONTO CON I DATI IDROMETRICI DISPONIBILI

Dal confronto dei dati idrometrici storici e quelli acquisiti nel corso del 2002-2003 risulta ovunque una netta diminuzione delle portate in alveo. La diminuzione è attribuibile a due cause concorrenti: derivazione fuori dall'area considerata di acque sorgive per uso potabile e per altri usi; variazioni climatiche che hanno determinato la riduzione delle precipitazioni.

Sono stati confrontati i dati acquisiti dal PERRONE (1910) con quelli disponibili da studi inediti relativi al 1992-93 (AGOSTINI, 1994; NAPPI, 1994), 2000-2001 (TARRAGONI, 2001; ZOLLET, 2001) e con quelli acquisiti durante questo studio (tab. 7, fig. 4).

Fiume Chienti di Pievetorina

Il PERRONE ha eseguito una sola misura di portata, alla confluenza con il F. Chienti di Gelagna, nel maggio 1908. La portata di 1642 l/s non è molto dissimile dai valori acquisiti nel maggio 1992 da NAPPI (1293 l/s) e nell'aprile del 2001 da ZOLLET (1624 l/s). Dati inediti acquisiti nel 1992

(NAPPI, 1994) indicano valori di portata crescente, da monte verso valle, variabili tra 294 e 1293 l/s. Nel mese di agosto del 1906 il PERRONE ha eseguito una serie di misure che vanno da valori di 130 a valori di 792 l/s. Nel luglio 1993 le portate misurate lungo il corso del Chienti (NAPPI, 1994) variano da 55 a 515 l/s; nell'agosto del 2000 (ZOLLET, 2001) si sono registrati valori variabili tra 50 e 467 l/s; nell'agosto 2002, dati di questo studio, si sono misurati valori variabili tra 34 e 212 l/s. Il Perrone stimava portate di magra ordinaria tra 80 e 650 l/s e valori di forte magra variabili tra 50 e 500 l/s (tab. 7, fig. 4).

Dai dati acquisiti risulta che l'unica captazione significativa viene operata alla sorgente Salette presso Capodacqua, da dove vengono derivate portate variabili tra 40 e 80 l/s. Presso la sorgente è stato costruito di recente un campo pozzi del quale non sono stati ancora acquisiti i relativi dati. Questi prelievi non giustificano certamente il progressivo calo delle portate e la forte diminuzione di portata riscontrata nel 2002.

Torrente di Bocca Fornace a Pievebovigliana

Il T. di Bocca Fornace è alimentato da due sorgenti, una detta di Boccafornace, attualmente captata da un vaso artificiale, e l'altra detta Capodacqua, ubicata lungo l'alveo del T. Fornace a valle di quota 460 m; da quest'ultima viene derivata una portata di 20 l/s per uso potabile.

PERRONE (1910) non fornisce valori di misura di portata del T. Fornace nei mesi di aprile e maggio. Le misure eseguite nel maggio 1992 da NAPPI danno un valore di portata di 2152 l/s e nell'apri-

Tab. 6 - *Elenco delle sezioni di misura delle portate in alveo con numero delle misure eseguite, periodo in cui sono state eseguite le misure, portata media calcolata e valore della portata minima misurata.*

- List of the stream gauging stations showing the total measurements, their period and the mean and minimum measured discharge values.

Sezione	N mis.	Periodo	Q media calc.	Q min. mis.	Sezione	N mis.	Periodo	Q media calc.	Q min. mis.
Ch583	11	2002-2003	205	30	F1221	5	2002-2003	50	0
Ch565	11	2002-2003	285	55	Fc1055	9	2002-2003	120	40
Ch527	11	2002-2003	390	50	F1000	11	2002-2003	50	5
Ch520	11	2002-2003	405	35	F893	11	2002-2003	170	100
Ch518	11	2002-2003	150	50	As805	11	2002-2003	125	55
Ch488	11	2002-2003	730	210	F800	11	2002-2003	245	150
Ca540	3	1993-1994	50	15	RS840	8	2002-2003	100	60
					RS715	11	2002-2003	250	90
Fo440	11	2002-2003	385	170	F720	11	2002-2003	415	315
Fo435	11	2002-2003	1010	390	RCE720	8	2002-2003	305	0
					F650	11	2002-2003	1165	540
					RB645	3	2002-2003	40	23

le 2001 da ZOLLET di 1864 l/s. Nell'aprile 2002 è stata misurata una portata di 724 l/s, nettamente inferiore a quella relativa ai dati precedenti. La portata complessiva erogata da queste due sorgenti nell'agosto del 1906 era di 865 l/s, nel luglio del 1992 di 645 l/s, nell'agosto 2000 di 573 l/s e nell'agosto 2002 di 467 l/s (tab. 7, fig. 4).

È evidente un calo sensibile che sembra avere un andamento progressivo. Come si è detto a proposito del F. Chienti di Pievetorina, le derivazioni note non giustificano una variazione di tale entità.

Fiume Fiastrone

I dati storici disponibili del PERRONE (1910) non forniscono valori di portata nei mesi di aprile-maggio. Le misure eseguite nell'aprile del 1993 (AGOSTINI, 1994), dopo la confluenza con il T. Rio Sacro e più a valle prima dello sbocco nel lago artificiale di Fiastra, hanno rilevato rispettivamente portate di 1740 e 2920 l/s. Nell'aprile 2001 (TARRAGONI, 2001) il Fiastrone versava nel lago di Fiastra 1866 l/s. Nell'aprile del 2002, dopo la confluenza con il Rio Sacro, si è misurata una portata di 670 l/s, mentre poco a monte del lago di

Fiastra risultava una portata di 1063 l/s. Per il mese di agosto, i dati del PERRONE relativi al 1906, danno valori di portata di 832 l/s dopo il Rio Sacro e di 1128 l/s a Fiastra. Nell'agosto del 1992 (AGOSTINI, 1994) venivano misurati rispettivamente 737 e 801 l/s. Nell'agosto del 2000 (TARRAGONI, 2001) la portata era di 482 e di 594 l/s. Le misure eseguite nel 2002 si riducono a valori di 316 e 516 l/s, nettamente inferiori a quelle di inizio secolo (tab. 7, fig. 4).

Nella valle del Fiastrone vengono operate modeste derivazioni dell'ordine di qualche decina di litri al secondo dalle sorgenti di alta quota, ed una più consistente derivazione dalla galleria drenante recentemente costruita presso le cascate dell'Acquasanta, che capta circa 60 l/s.

5.3. - VARIAZIONI STAGIONALI RICONTRATE NEL CORSO DEL 2002-2003

La qualità dei dati ed il dettaglio dell'informazione acquisiti per mezzo delle campagne di misura in alveo eseguite con cadenza mensile sono

Tab. 7 - *Valori di portata sperimentalmente misurata nelle diverse sezioni presenti sul fiume Chienti, sul torrente Fornace e sul fiume Fiastrone.*

- Discharge values obtained by field surveys in the stream gauging stations along the Chienti River, the Fornace Creek and the Fiastrone River.

Sezione	Quota m s.l.m.	Perrone		Dati inediti						
		1910		1993-1994		2000-2001		2002-2003		
		maggio 1908	agosto 1906	maggio 1992	luglio 1993	aprile 2001	agosto 2000	aprile 2002	agosto 2002	aprile 2003
F. CHIEN TI										
Dopo le sorgenti	575	/	130	294	55	/	50	132	43	327
Presso Madonna di Caspreano	520	/	158	517	69	/	68	165	33	580
Dopo le sorgenti di Madonna di Caspreano	500	/	674	/	/	1568	294	108	63	334
Roti	480	1642	792	1293	515	1624	467	412	210	1101
T. FORNACE										
Dopo le sorgenti di Boccafornace e Capodacqua	400	/	865	2152	645	1864	573	724	467	
F. FIASTRONE										
Dopo il torrente Rio Sacro	700	/	832	1740	737	/	482	670	316	
Presso Fiastra	650	/	1128	2920	801	1866	594	1063	516	

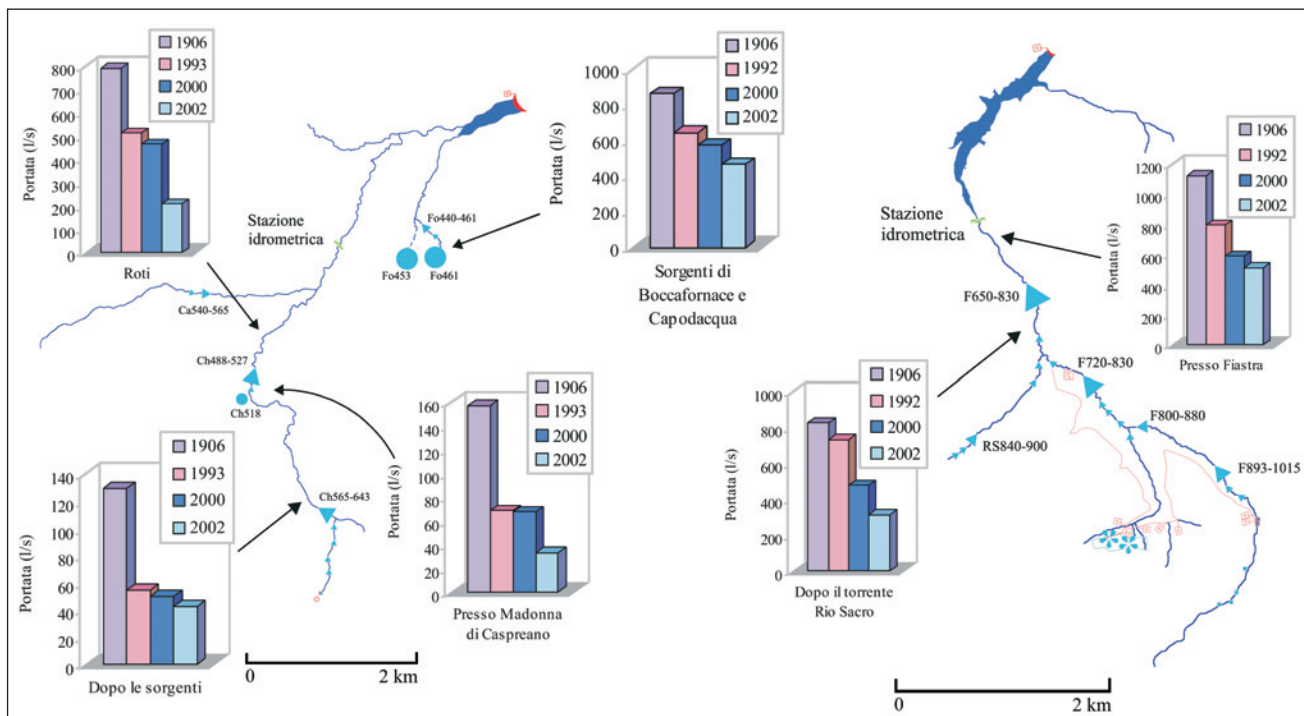


Fig. 4 - Rappresentazione schematica del reticolo idrografico perenne dei Fiumi Chienti di Pietovorina, Fornace e Fiastrone con ubicazione delle sezioni in cui si è operato un confronto tra i dati idrometrici storici e quelli acquisiti nel corso del 2002-2003, riferiti al periodo estivo. I dati riportati nei grafici sono quelli che meno risentono degli effetti delle precipitazioni e ciò permette di vedere meglio l'andamento del flusso di base. È ben evidente in ciascuna delle sezioni che dal 1906 si assiste ad una progressiva diminuzione delle portate delle acque sorgive. Per la simbologia si rimanda alla legenda della carta.

- Sketch map of the perennial hydrographic network of the Chienti di Pietovorina, Fornace and Fiastrone Rivers. The stream gauging stations used for the comparison among the literature and the 2002-2003 discharge data are shown; these data are referred to summer time (low rainfall) and thus evidence the base flow trend. It is evident a progressive decreasing of the stream discharge in all stations starting from 1906. The symbology is represented in the Hydrogeological Complexes and Natural Springs Map legend.

stati messi a confronto con quelle che sarebbero state ottenute in seguito a misure eseguite con periodicità stagionale (aprile ed agosto 2002, gennaio ed aprile 2003; fig. 5).

Questo tipo di rappresentazione costituisce un elemento di valutazione dell'attendibilità delle portate misurate, che devono essere coerenti nello spazio e nel tempo. Come è ovvio aspettarsi, i dati acquisiti con cadenza mensile definiscono con maggior dettaglio l'andamento delle portate rispetto a quelli acquisiti con cadenza stagionale.

Nei grafici relativi alle misure eseguite con periodicità stagionale (fig. 5 in alto) sono mostrate variazioni di portata, in positivo ed in negativo, con andamento costante e riferite a periodi differenti rispetto alla realtà, meglio rappresentata nei grafici con cadenza mensile. Ne consegue un'errata valutazione delle portate estreme in termini di valori assoluti e di tempi di occorrenza. Sia nel caso del Chienti, che del Fornace e del Fiastrone le portate minime misurate sono quelle del mese di novembre. Disponendo dei soli dati stagionali la portata minima risulterebbe essere quella di agosto; quindi, volendo estrapolare la portata di novembre, questa risulterebbe notevolmente superiore a quella effettivamente presente in alveo.

I grafici in basso di figura 5, relativi alle misure con periodicità mensile, permettono di individuare con più chiarezza gli apporti delle acque di superficie rispetto a quelli sorgivi che alimentano il fiume, inoltre mostrano che il sensibile aumento delle portate non inizia ad agosto ma a novembre ed evidenziano un *trend* negativo da aprile a novembre con un piccolo incremento in corrispondenza del mese di ottobre.

Dal confronto dei grafici relativi alle misure con periodicità stagionale, i tre corsi d'acqua sembrano avere lo stesso andamento delle portate, mentre dal confronto dei grafici con cadenza mensile si nota che nei mesi relativi al 2003 le portate del fiume Fiastrone hanno un andamento lievemente differente rispetto agli altri corsi d'acqua.

Fiume Chienti

Nella figura 5 (prima colonna) è riportato il grafico relativo alle misure con periodicità stagionale e quello relativo alle misure eseguite con periodicità mensile.

In entrambi i casi si vede che la portata del Chienti cresce progressivamente dalla sezione Ch583 verso la sezione Ch488. Il maggiore contributo viene evidentemente dall'apporto della sorgente Peschiera e dalla sorgente lineare Ch488-527

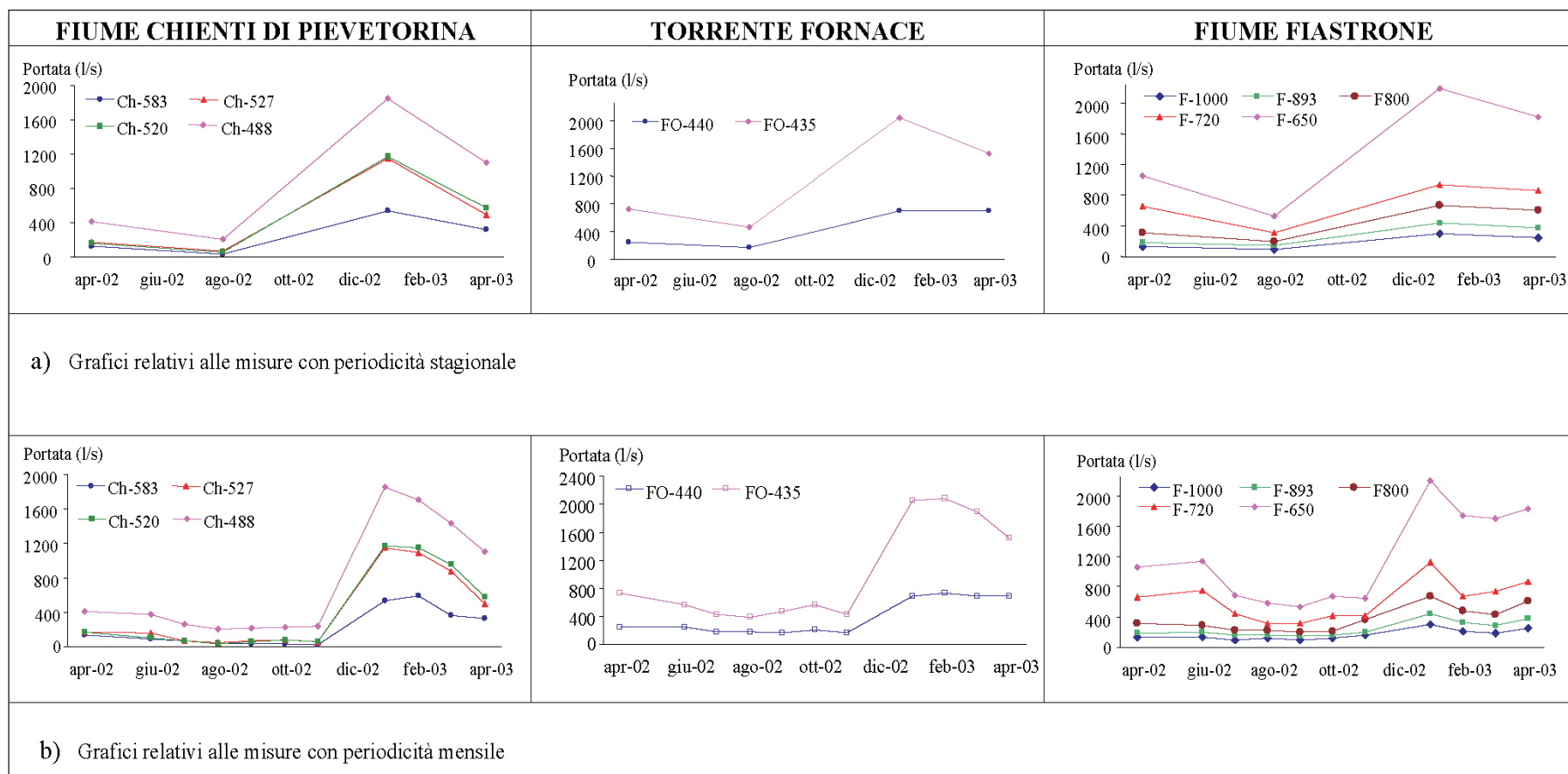


Fig. 5 - I grafici relativi alle misure con periodicità stagionale (a) mostrano un decremento della portata tra aprile ed agosto 2002, un aumento della portata tra agosto 2002 e gennaio 2003 ed un decremento tra gennaio ed aprile 2003. Le variazioni di portata, positive e negative, figurano con andamento costante. I grafici in basso, relativi alle misure con periodicità mensile (b), mostrano dettagliatamente l'andamento della portata con un aumento che inizia solo a novembre 2002.

- The seasonal discharge measurement plots (a) show decreasing values in the period April-August 2002, increasing values in August 2002-January 2003 and decreasing values again in January-April 2003. The stream discharge variations seem, with both a positive and a negative trend, quite regular. The monthly discharge measurement plots (b) show an accurate stream discharge trend and the increasing trend starting in November 2002.

che si estende tra la sorgente di Peschiera e l'abitato di Pieve Torina. Le variazioni di portata si osservano in tutti i mesi, anche se in misura differente: nel grafico relativo alle misure con periodicità stagionale si osserva una caduta apparentemente continua tra i mesi di aprile ed agosto 2002 e tra dicembre 2002 ed aprile 2003, mentre tra agosto e dicembre sembra esserci un incremento continuo.

Nel grafico relativo alle misure eseguite con periodicità mensile si osserva che la diminuzione non si arresta ad agosto, ma prosegue fino a novembre, quindi aumenta fino a gennaio per poi diminuire progressivamente fino ad aprile.

Nel periodo da aprile ad ottobre, ma con maggiore evidenza tra giugno e luglio, vengono operate apprezzabili derivazioni artificiali dagli alvei, dal momento che le portate misurate a monte sono leggermente superiori di quelle misurate a valle.

Torrente Fornace

Sempre in figura 5 (colonna centrale) sono mostrate le variazioni di portata lungo l'alveo misurate con cadenza stagionale e mensile. Confrontando le stazioni di misura riportate nella "Carta dell'idrologia di superficie" (inserita a margine della cartografia idrogeologica allegata) si osserva che il corso del T. Fornace è sostenuto dalle sorgenti di Capodacqua e di Boccafornace.

Nel mese di aprile la portata complessiva è risultata di 700 l/s, mentre nel mese di agosto scende a 500 l/s. Le sorgenti di Capodacqua, che hanno portate variabili tra 250 e 200 l/s, mostrano maggiore stabilità. L'incremento di portata fra le due sezioni è riconoscibile in tutti i mesi anche se in diversa misura. Il grafico in cui sono indicate le variazioni di portata misurate con periodicità mensile, fornisce ovviamente un maggiore dettaglio; analogamente a quanto visto per il Fiume Chienti la portata minima misurata con periodicità stagionale non coincide con quella misurata mensilmente: anche in questo caso la portata minima misurata nel mese di agosto è un minimo relativo, mentre quella misurata a novembre è più prossima al minimo assoluto del periodo di osservazione.

Fiume Fiastrone

I grafici della colonna di sinistra nella figura 5 illustrano le misure eseguite in sezioni successive lungo il corso del F. Fiastrone con cadenza sia stagionale che mensile. Si osserva un progressivo aumento di portata da 100 l/s a circa 1100 l/s nel mese di aprile; si possono identificare chiaramente le entità degli apporti che il Fiastrone riceve lungo il suo corso. Nel mese di agosto le portate si riducono sensibilmente ad un valore complessivo di circa 600 l/s, mentre a gennaio si registra la portata massima.

Un maggiore dettaglio della situazione è evidenziato nel grafico in basso dove le misure utilizzate sono state eseguite con periodicità mensile.

6. - IDROGEOLOGIA

Oltre alle già citate fonti bibliografiche, sono consultabili gli ANNALI IDROLOGICI (1921-1992), che forniscono i dati essenziali per la valutazione degli afflussi meteorici e per il calcolo dell'evapotraspirazione. Di particolare interesse è l'individuazione di due stazioni idrometriche che per alcuni anni hanno misurato la portata del Chienti (a Pieve Torina) e del Fiastrone (a Fiastra). Sebbene il loro funzionamento sia molto limitato nel tempo e si riferisca ad un passato lontano, l'elaborazione di questi dati è estremamente utile per una migliore definizione della locale situazione idrogeologica e conseguentemente sono stati considerati nel modello concettuale.

Sono chiaramente distinguibili tre complessi calcarei di estensione regionale sovrapposti, prevalentemente costituiti da calcari dotati di particolare attitudine ad assorbire, immagazzinare e restituire in superficie le acque meteoriche in corrispondenza di sorgenti puntuali, lineari o diffuse: a) Complesso calcareo basale indifferenziato; b) Complesso della Maiolica; c) Complesso della Scaglia calcarea. Tali complessi costituiscono, in affioramento, vaste aree di infiltrazione e, nel sottosuolo, estesi acquiferi in corrispondenza dei settori saturati da una falda. Questi complessi sono tra loro separati da complessi dotati di minore permeabilità che hanno la funzione di *aquiclude* o di *aquitard*, in relazione alla loro capacità di costituire dei limiti a flusso nullo o di consentire uno scambio idrico significativo tra acquiferi differenti. Infatti, TARRAGONI (2005) ha identificato l'esistenza sia di acquiferi indipendenti, tra loro sovrapposti e con diversi potenziali ed emergenze, che di fenomeni di scambio per *drainance* tra acquiferi sovrapposti attraverso complessi che assumono la funzione di *aquitard*. Le condizioni di isolamento tra acquiferi sovrapposti o l'esistenza di fenomeni di *drainance* sono in gran parte funzione del locale assetto strutturale, che ha determinato i reciproci rapporti giacaturali tra masse litoidi con caratteri differenti e ne ha sovente alterato le originarie proprietà litologiche.

Sono state, inoltre, definite le principali proprietà dei complessi più caratteristici. Restano da definire meglio i loro limiti e le loro caratteristiche, possibilmente con criteri di valutazione oggettiva, basati sulle proprietà fisiche, quali la resistività elettrica e la velocità di propagazione delle onde sismiche.

Sono state identificate tutte le principali sorgenti e ne è stata definita la portata mediamente erogata. È stato individuato il reticolo idrografico perenne, costantemente alimentato da acque sorgive anche nei mesi più aridi; questi dati consentono di impostare correttamente la rete di monitoraggio delle portate.

L'analisi litostratigrafica e strutturale ha permesso di definire la geometria degli acquiferi.

7. - CARTOGRAFIA IDROGEOLOGICA

Secondo le indicazioni della "Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000" (MARI *et alii*, 1995), i complessi idrogeologici dovrebbero essere distinti in funzione delle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti, che riflettono la presunta permeabilità relativa, e dovrebbero essere rappresentati con i colori codificati per ciascuna età geologica desunti dalla Carta Geologica Ufficiale d'Italia.

La sperimentazione condotta secondo i criteri della suddetta "Guida" non ha portato ad un risultato soddisfacente, pertanto i Complessi carbonatici individuati, dotati presumibilmente di elevata permeabilità, non sono stati suddivisi in diversi gradi di permeabilità relativa, perché non si è riconosciuto alcun attendibile elemento che potesse consentire tale distinzione senza incorrere in proposte soggettive e non giustificabili. È risultato conseguentemente inapplicabile anche l'uso di simboli per indicare presunte variazioni di permeabilità all'interno dei Complessi identificati.

Pertanto, la Cartografia Idrogeologica sperimentale proposta in questo studio è stata preparata come la sovrapposizione di diversi livelli informativi che non sono rappresentabili in un unico documento cartografico. Sono stati allestiti diversi documenti ciascuno dei quali mostra particolari aspetti dei caratteri idrogeologici locali. Il primo tipo di documento è la "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali", il secondo è la "Carta dell'Idrologia di superficie", il terzo è il "Modello Idrogeologico Concettuale" dei differenti acquiferi riconosciuti e il quarto sono i profili idrogeologici.

I vari documenti prodotti sono stati raccolti in un unico documento cartografico allegato, in cui alla "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali" si affiancano come elementi a margine gli altri elaborati, in modo da poter avere un quadro d'insieme ottimale. I profili idrogeologici che mettono in evidenza i rapporti di giacitura tra complessi idrogeologici diversi, la distribuzione dei principali acquiferi riconosciuti, le differenze di potenzia-

le tra i vari acquiferi, l'influenza esercitata dalle barriere idrauliche ed i settori saturi degli acquiferi riconosciuti.

La permeabilità dei complessi idrogeologici identificati non è stata attribuita in modo sommario ed arbitrario (bassa, media, alta ecc.), ma seguendo un criterio oggettivo, secondo cui un complesso è considerato permeabile quando permette un'infiltrazione delle acque meteoriche valutabile tramite calcoli di bilancio: il grado di permeabilità è stato pertanto stimato in base ai valori dell'infiltrazione efficace media calcolata.

7.1. - CARTA DEI COMPLESSI IDROGEOLOGICI E DELLE EMERGENZE NATURALI

La Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali è stata compilata secondo il criterio dell'identificazione dei Complessi in funzione del ruolo idrogeologico svolto, desunto dalle osservazioni di campo ed il criterio dell'analisi dell'idrologia di superficie, basato sulla misura sistematica delle portate erogate dalle sorgenti puntuali e lineari e sulla misura del flusso di base, lungo l'intero reticolo idrografico perenne. Sono stati, pertanto, distinti Complessi con permeabilità trascurabile, perché sostengono o limitano gli acquiferi riconosciuti e perché sono privi di significative emergenze. Questi Complessi sono rappresentati con un colore pieno nei toni del grigio o, qualora sussistano fenomeni di *drainance*, nei toni del verde.

Sono stati riconosciuti anche diversi Complessi, costituiti da sedimenti prevalentemente calcarei e interessati da un evidente processo d'infiltrazione, che ospitano un acquifero chiaramente identificabile, alimentano sorgenti puntuali, lineari o diffuse riconoscibili, ed erogano portate misurabili con un'accorta campagna di apposite misure.

Questi Complessi sono stati rappresentati con una duplice simbologia: un retino indicativo del complesso dominante ed un colore, nei toni del rosso, rappresentativo dell'entità dell'Infiltrazione Efficace, valutata da calcoli di bilancio idrogeologico eseguiti su ciascun acquifero individuato e riportati nei Modelli Idrogeologici Concettuali. Lo stesso Complesso, che affiora in punti differenti, può avere diversi valori di Infiltrazione Efficace, in funzione dello stato di alterazione prodotto dalla tettonica e dell'entità dei locali afflussi meteorici. Talvolta l'alterazione di questi Complessi è talmente spinta da obliterarne completamente le caratteristiche idrogeologiche originali; in questi casi la rappresentazione si avvale di un ulteriore simbolo, un sovrassegno che indica l'intensa laminazione.

Altri complessi (Complesso dei depositi alluvionali e Complesso dei depositi detritici di versante), riferibili tutti a depositi di copertura recente, rivestono un ruolo secondario nell'economia idrogeologica regionale e sono rappresentati con un retino indicativo della tipologia del complesso ed un fondo in colore chiaro e tenue.

Viene qui di seguito riportata la descrizione dei singoli Complessi identificati che mette in evidenza le loro particolari caratteristiche idrogeologiche.

Complesso dei depositi alluvionali (*Pleistocene - Olocene*)

Sono costituiti da ghiaie calcaree sciolte o debolmente cementate da una matrice marnosa con orizzonti e lenti di sabbie e limi in varia proporzione. Questo complesso quasi ovunque ha spessori di pochi metri ed estensione limitata ad alcune centinaia di metri lungo i principali corsi d'acqua. Fa eccezione il deposito alluvionale che borda il tratto terminale del Chienti di Pieve Torina, a monte della confluenza con il Chienti di Gelagna, dove i depositi alluvionali sono più potenti ed estesi.

Questi depositi, lungo gli alvei dei corsi d'acqua effimeri o temporanei, non ospitano falde significative. Lungo i corsi d'acqua perenni, invece, il Complesso dei depositi alluvionali assume il ruolo di acquifero caratterizzato da attivi scambi idrici con il corso d'acqua che lo solca. A causa della loro limitata estensione questi acquiferi assumono un ruolo secondario nell'economia idrogeologica regionale.

Complesso dei depositi detritici di versante (*Pleistocene - Olocene*)

Sono detriti di falda e conoidi detritiche prevalentemente costituite da ghiaie calcaree localmente legate da una matrice argilloso-marnosa. Laddove poggiano su un substrato marnoso-argilloso, questi depositi sono interessati da fenomeni di instabilità anche vistosi (Frana di Bolognola).

Questo complesso, molto permeabile, è caratterizzato da un'elevata capacità di assorbimento delle acque meteoriche. Dove poggia su un substrato permeabile, trasmette le acque assorbite al complesso permeabile sottostante. Dove poggia su un complesso poco permeabile, ospita acquiferi che alimentano i corsi d'acqua perenni o modeste sorgenti. Gli acquiferi dei depositi detritici di versante possono avere rilevanza locale, ma assumono un ruolo idrogeologico secondario nell'economia idrogeologica regionale.

Complesso dei depositi terrigeni marnoso-arenacei (*Miocene inf. - Pliocene inf.*)

Questo complesso è costituito da una regolare alternanza di arenarie e marne, con locali intercalazioni argillose e calcarenitiche. Gli spessori pos-

sono variare da pochi metri a poche centinaia di metri. Affiora al nucleo di una sinclinale con asse submeridiano, lungo l'allineamento (Appennino-Pieve Torina).

Questo complesso è dotato di permeabilità molto scarsa ed è quindi privo di acquiferi significativi. Dove le arenarie sono intensamente fratturate, possono costituire aree di infiltrazione, contenere modesti acquiferi epidermici ed alimentare piccole sorgenti o corsi d'acqua a regime temporaneo. Il ruolo idrogeologico di questo complesso è molto limitato e di esclusivo interesse locale.

Complesso dei depositi marnosi e calcareo-marnosi (*Langhiano - Tortoniano*)

Questo complesso è costituito da una potente successione di marne con selce in liste e noduli, livelli argillosi con intercalazioni di calcari marnosi. Comprende il Bisciario, lo Schlier e le Marne con Cerrognia degli Autori.

A causa dell'elevata componente marnoso-argillosa e dello spessore, questo complesso è idrogeologicamente impermeabile ed assume un ruolo di limite idraulico nei confronti dei complessi a maggiore permeabilità con cui viene a contatto.

Nelle aree in cui il complesso è caratterizzato da un'elevata componente calcarea abbinata ad un alto stato di fratturazione, questo può ospitare modesti acquiferi che alimentano piccole sorgenti o il flusso di base di corsi d'acqua stagionali.

Complesso della Scaglia marnosa (*Eocene - Langhiano*)

Questo complesso è costituito da una potente successione di marne prevalenti, intercalate a calcari marnosi e con livelli argillosi. Comprende la Scaglia Variegata e la Scaglia Cinerea.

Lo spessore, molto variabile, è compreso tra le diverse decine e il centinaio di metri. Per l'elevata componente marnoso-argillosa e per il notevole spessore, questo complesso si comporta come una massa impermeabile, che assume un ruolo di limite idraulico nei confronti dei complessi calcarei con cui viene a contatto.

Nelle zone più fratturate e dove è più abbondante la componente calcarea, questo complesso può ospitare modesti acquiferi che alimentano piccole sorgenti o il flusso di base di corsi d'acqua temporanei.

Complesso della Scaglia calcarea (*Cretacico sup.*)

Calcari micritici e calcari marnosi in varia proporzione, bianchi e rosati, con liste e noduli di selce, ben stratificati della Formazione della Scaglia Rossa e della Scaglia Bianca. Spessore variabile tra 250 e 400 metri. I caratteri litologici di questo complesso non sono omogenei nell'area considerata, perché dipendono dalla locale abbon-

danza della componente marnosa e dello stato di laminazione prodotto da motivi tettonici compressivi.

In generale, la Scaglia calcarea è dotata di buona permeabilità d'insieme, che facilita il processo d'infiltrazione delle acque meteoriche e l'immagazzinamento di acque sotterranee. Questo complesso assume quindi il ruolo di area di infiltrazione dove si trova in affioramento e di serbatoio saturo dove è sostenuto dal Complesso delle Marne a Fucoidi e delimitato lateralmente da superfici a flusso nullo. Dove l'assetto strutturale è favorevole, il Complesso della Scaglia calcarea dà origine ad estesi acquiferi che alimentano sorgenti puntuali e lineari con portate medie di alcune centinaia di l/s. Il regime delle sorgenti è sufficientemente regolare, con portate di magra pari a circa il 50% delle portate medie.

Localmente questo complesso è stato intensamente laminato da linee tettoniche compressive che hanno profondamente alterato i suoi caratteri litologici. In queste zone il Complesso della Scaglia calcarea si presenta come un ammasso compatto, con permeabilità molto limitata e ridottissima capacità d'immagazzinamento, tanto da assumere il ruolo di *aquiclude* o di *aquitard*. A luoghi (Gole dell'Acquasanta) questo *aquitard* è saturo per spessori di un centinaio di metri; al suo interno le acque defluiscono lentamente lungo un reticolo discontinuo di fratture sovrapposte, che alimentano emergenze diffuse, distribuite su un fronte alto un centinaio di metri e lungo circa un chilometro. Queste sorgenti diffuse danno origine a suggestive cascate. L'infiltrazione efficace risulta variabile, compresa tra 650 e 1100 mm/a.

Complesso delle Marne a Fucoidi (*Aptiano - Albiano*)

Questo complesso, di colore variabile dal rosso al verde è costituito da marne calcaree, marne argillose e calcari marnosi con liste di selce. Lo spessore può variare tra 50 e 100 metri.

Laddove si conservano inalterati i loro caratteri litologici e l'originaria continuità, le Marne a Fucoidi costituiscono un orizzonte caratterizzato da permeabilità molto ridotta che può sostenere l'acquifero della Scaglia calcarea e delimitare il sottostante acquifero della Maiolica.

Dove è stato interessato da linee tettoniche con rigetto superiore al suo spessore, o dove è stato intensamente laminato, assume la funzione di *aquitard* che consente lo scambio idraulico fra gli acquiferi che, normalmente, tiene separati.

Complesso della Maiolica (*Cretacico inf.*)

È costituito dai calcari micritici bianchi della Formazione della Maiolica, ben stratificati, con sottilissimi orizzonti marnosi lungo i giunti di stratificazione e liste e noduli di selce. Spessore

molto variabile da poche decine a qualche centinaia di metri.

Il complesso della Maiolica è stato cartografato con simbologia specifica solo dove poggia sul sottostante Complesso calcareo-silico-marnoso e dove esistono, quindi, le condizioni necessarie per dare origine ad un acquifero indipendente e distinto dal sottostante acquifero basale. Dove i calcari della Maiolica poggiano direttamente sulla Formazione del Bugarone sono stati cartografati con il simbolo del Complesso calcareo basale indifferenziato. Questo complesso, nella media Valle del Fiastrone, ospita acquiferi che alimentano sorgenti puntuali e lineari con portate medie comprese tra 150 e 250 l/s. L'infiltrazione efficace è stata valutata tra 500 e 750 mm/a.

Complesso calcareo-silico-marnoso (*Giurassico medio*)

È costituito da marne e calcari marnosi, marne argillose, diaspri in varia proporzione. Questo complesso indifferenziato, raggruppa tutti i termini della successione completa Umbro-Marchigiana compresi tra la Formazione della Corniola e la Formazione della Maiolica (Marne del Sentino, Formazione del Bosso, Calcareniti di Monte Valvaseto, Calcari diaspri-gni, Marne ad Aptici) per spessori variabili da 100 a 250 metri.

Esso generalmente assume il ruolo di *aquiclude* che sostiene o limita lateralmente l'acquifero della Maiolica e chiude al tetto il Complesso calcareo basale, quando la successione stratigrafica è "completa". Localmente, il Complesso calcareo-silico-marnoso assume il ruolo di *aquitard* attraverso cui si sviluppano apprezzabili apporti per *drainance*. Tali condizioni si verificano nella media Valle del Fiastrone dove il flusso proveniente dall'acquifero del Complesso calcareo basale si sviluppa dal basso verso l'alto e dà origine ad una sorgente lineare. Sul versante sinistro della stessa valle, il fenomeno di *drainance* si sviluppa invece dall'alto verso il basso, dall'acquifero della Maiolica, dando origine a sorgenti diffuse su un fronte di circa 300 m e su un'altezza di 50 m. L'area sorgiva è caratterizzata dalla presenza di estesi depositi di travertino.

Complesso calcareo basale indifferenziato (*Lias inf. - Cretacico inf.*)

Consiste di calcari micritici bioclastici in grandi banchi, calcari nodulari, calcari micritici stratificati con orizzonti pelitici. Questo complesso comprende le formazioni del Calcare Massiccio, della Corniola, del Bugarone e della Maiolica indifferenziate; dove sussiste la successione stratigrafica "completa" il Complesso calcareo basale (*Lias inf. - Toarciano inf.*) comprende solo le formazioni del Calcare Massiccio e della Corniola. Il

Complesso calcareo basale indifferenziato ha spessori molto variabili, sempre superiori a diverse centinaia di metri ed affiora ampiamente in riva destra della media Valle del Fiastrone e al nucleo di una modesta anticlinale nella Val di Tazza.

In questo complesso ha sede l'acquifero basale, che satura i terreni più antichi affioranti nella regione, e che alimenta importanti sorgenti lineari. L'Infiltrazione Efficace è stata valutata approssimativamente in 750 mm/a.

Da notare che nella "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali" alcuni Complessi sono stati riportati senza attribuirvi il colore rappresentativo dell'entità dell'Infiltrazione Efficace. La rappresentazione di questi Complessi si è resa necessaria per meglio definire l'assetto geologico-strutturale ed idrogeologico dell'area, ma poiché la loro estensione va oltre i limiti dell'area indagata e le sorgenti che drenano gli acquiferi in essi contenuti non sono state riconosciute e/o studiate, non è stato possibile allestirne un Modello Idrogeologico Concettuale e calcolarne il bilancio idrogeologico.

Per quanto concerne la rappresentazione delle emergenze, questa è stata eseguita, per quanto possibile, nei modi previsti dalla "Guida" (MARI *et alii*, 1995), con alcune variazioni che si sono ritenute opportune. Ad esempio, sono state indicate con apposito simbolo le sorgenti definite "lineari", che non figurano come tali nella citata "Guida" (MARI *et alii*, 1995). La simbologia adottata consente di valutare non solo la portata media dell'emergenza, ma anche la sua variabilità stagionale con l'indicazione dei minimi riconosciuti.

7.2. - CARTA DELL'IDROLOGIA DI SUPERFICIE

Sulla Carta dell'Idrologia di superficie sono indicate le sezioni di misura controllate nell'arco di un anno (corredate dalla sintesi dei dati acquisiti), le stazioni idrometriche (da tempo dismesse), le sorgenti puntuali, lineari e diffuse (indicate da una sigla) e le derivazioni municipali e idroelettriche riconosciute.

I risultati delle campagne di misura di portata in alveo sono stati elaborati negli appositi grafici (fig. 5) precedentemente discussi, riguardo ai quali si richiama l'evidente opportunità di eseguire misure con periodicità mensile e non stagionale.

Da questi elaborati risulta anche il rapporto tra le misure eseguite nel periodo aprile 2002-aprile 2003 e quelle eseguite in periodi precedenti (tab. 7; fig. 4): si nota che le portate delle sorgenti che alimentano il flusso di base dei corsi d'acqua misurati subiscono variazioni cicliche, ma risultano in ogni modo tra loro confrontabili. È altret-

tanto evidente che il forte innalzamento di portata registrato negli alvei naturali, tra il novembre del 2002 ed il gennaio del 2003 (fig. 5), è presumibilmente influenzato anche da processi di ruscellamento che, in periodi particolarmente umidi, non sono distinguibili dal flusso di base alimentato dalle acque sotterranee. Nel calcolo delle portate medie delle sorgenti lineari si è tenuto conto di questa osservazione. Come sintesi delle informazioni acquisite in merito alle sorgenti puntuali e lineari riconosciute viene fornita la portata media e la portata di magra che è parsa più significativa (tab. 8).

Tab. 8 - *Portata media e minima delle principali sorgenti identificate. Con lo sfondo giallo sono indicate le sorgenti che appartengono ad acquiferi nel Complesso della Maiolica e/o del Complesso calcareo basale indifferenziato; con lo sfondo verde chiaro sono indicate le sorgenti che appartengono ad acquiferi nel Complesso della Scaglia calcarea. *valori di portata desunti da studi inediti del 1992-1993 (AGOSTINI, 1994; NAPPI, 1994); ** valori di portata desunti da studi inediti, ZOLLET (2001).*

- Mean and minimum discharges of the main springs of the study area. The springs within "Maiolica" and "Calcareo basale indifferenziato" complexes and those within the "Scaglia Calcareo" complex are distinguished with a yellow and a green background, respectively. *from AGOSTINI (1994) and NAPPI (1994); ** from ZOLLET (2001).

Sorgenti lineari (l/s)		
	Q media	Q minima
F893-1000	170	100
F800-880	75	50
F720-830	170	165
F650-830	220	165
RS840-900	100	60
Fo440-461	120	60
Ch565-643	285	55
Ch488-527	190	110
Ca540-565*	50	15
Sorgenti puntuali (l/s)		
	Q media	Q minima
Fo453**	310	205
Fo461**	270	140
Ch518	150	50

Si ribadisce che nella “Guida” (MARI *et alii*, 1995) non è prevista la rappresentazione delle sorgenti lineari; mentre queste costituiscono il principale apporto di acque sotterranee al reticolo idrografico perenne nell’area considerata.

Delle stazioni idrometriche che hanno funzionato in passato viene fornita una scomposizione dell’idrogramma secondo il Metodo delle Portate Mensili Caratteristiche (BONI *et alii*, 1993), che consente di scomporre il deflusso totale in diverse componenti:

- il ruscellamento;
- il massimo flusso di base alimentato dalle sorgenti;
- il minimo flusso di base alimentato dalle sorgenti;
- i minimi assoluti registrati nel periodo di osservazione.

La scomposizione dell’idrogramma del Fiume Fiastrone (fig. 6, a sinistra) identifica valori minimi assoluti prossimi ai $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ nella tarda estate e valori massimi di portata del flusso di base nei mesi di aprile-maggio, variabili tra un massimo di $2 \text{ m}^3/\text{s}$ e $1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. La portata media del flusso di base si può stimare di poco inferiore a $1 \text{ m}^3/\text{s}$. È significativo osservare che il valore medio registrato in questa campagna è risultato prossimo a $1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il dato trova giustificazione, nonostante quanto asserito nel paragrafo 4.2, nel contributo al valore medio dei valori del flusso di base invernale e primaverile.

L’idrogramma relativo alle sorgenti del T. Fornace di Pievebovigliana si riferisce a soli due anni di osservazione, e quindi non consente attendibili valutazioni statistiche. Risulta, inoltre, incer-

ta anche la posizione della stazione e quindi il settore del reticolo idrografico sotteso. La stazione ha registrato valori minimi delle portate mensili sufficientemente regolari, variabili tra $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,35 \text{ m}^3/\text{s}$, con sporadici picchi di piena nei mesi invernali e primaverili variabili tra 2 e $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

L’idrogramma relativo al Fiume Chienti a Pieve Torina (fig. 6, a destra) è particolarmente significativo perché desunto da 26 anni di funzionamento. Dall’esame dell’idrogramma è evidente una variabilità delle portate medie compresa tra massimi di $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ nei mesi invernali-primaverili e minimi di $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ nella tarda estate. Dalla scomposizione dell’idrogramma è anche evidente una marcata variabilità delle portate del flusso di base in periodo invernale e primaverile, con minimi di $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e massimi superiori a $2 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre le portate estive variano tra $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$. I valori registrati a Roti, nell’apposita campagna 2002-2003, hanno fornito valori medi di $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ e minimi di $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, sensibilmente inferiori ai corrispondenti valori di lungo periodo.

7.3. - MODELLI IDROGEOLOGICI CONCETTUALI

I Modelli Idrogeologici Concettuali dei singoli acquiferi individuati contengono le informazioni più significative sull’idrogeologia dell’area esaminata e consentono di valutare con buona approssimazione l’entità delle risorse sotterranee rinnovabili mediamente disponibili nei diversi settori del territorio.

Di ciascun acquifero è stata riconosciuta l’area d’alimentazione, il settore saturo, l’eventuale copertura operata da un Complesso idrogeologico carat-

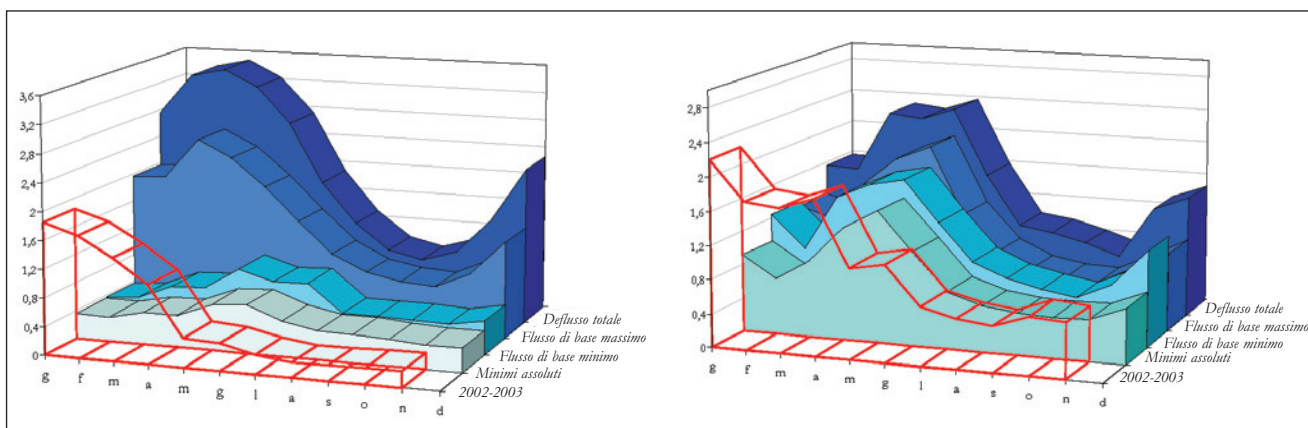


Fig. 6 - Grafico di scomposizione dell’idrogramma dei Fiumi Chienti e Fiastrone (sull’asse verticale è indicata la portata in m^3/s). Sui grafici dei Fiumi Chienti di Pieve Torina e Fiastrone è stato riportato anche il valore della portata misurata sperimentalmente (2002-2003): si noti come i valori delle portate misurate nel periodo di magra siano prossimi, o addirittura inferiori (F. Chienti), ai minimi assoluti registrati dalle stazioni idrometriche. Per la localizzazione delle stazioni idrometriche vedere figura 4.

- Hydrogram break-up charts of Chienti di Pieve Torina and Fiastrone Rivers (discharge in m^3/s in the vertical axis). The discharges measured during field survey (2002-2003) along the Chienti and Fiastrone rivers are also shown: note that the low regime values are close or even lower (Chienti) than the smallest values obtained during the hydrometric station measurements. Hydrometric stations location are showed in figure 4.

terizzato da permeabilità trascurabile. Di ciascun acquifero è stata, inoltre, definita l'estensione dell'area d'alimentazione, l'estensione dell'area satura, il campo piezometrico medio, la portata media complessivamente erogata dalle sorgenti che alimenta ed effettuato il calcolo dell'Infiltrazione Efficace con il metodo diretto (valore medio annuo erogato dalle sorgenti rapportato all'area di alimentazione; BONI *et alii*, 1986).

I limiti idraulici (tettonici e/o stratigrafici) sono indicati in toni di grigio o in verde quando permettono la *drainance*. La copertura è rappresentata da un retino grigio, mentre l'area di alimentazione è raffigurata da un retino rosso; la porzione satura è indicata con due diversi toni di azzurro: scuro dove non sussiste copertura e chiaro dove l'acquifero è coperto.

Sono stati riconosciuti 6 acquiferi tra loro indipendenti, 3 nel Complesso della Maiolica e del Complesso calcareo basale indifferenziato e 3 nel Complesso della Scaglia calcarea.

Nella Maiolica e nel Complesso calcareo basale indifferenziato sono stati identificati:

Acquifero del Chienti

La situazione idrogeologica relativa all'acquifero del Chienti è relativamente complessa, perché è stato riconosciuto un evidente apporto per *drainance* attraverso il Complesso delle Marne a Fuoidi da parte del contiguo Complesso della Scaglia calcarea. La portata media erogata dalla sorgente Peschiera è stata valutata 150 l/s, l'area d'alimentazione che si estende nel Complesso della Maiolica risulta di soli 4,3 km²; ne risulterebbe un valore d'Infiltrazione Efficace prossima ai 1100 mm/a, che appare decisamente eccessiva considerato il basso valore della Precipitazione Efficace (circa 500 mm/a, ZOLLET, 2001) in corrispondenza dell'area d'alimentazione. Si è pertanto ipotizzato un apporto per *drainance* di circa 50 l/s proveniente dal Complesso della Scaglia calcarea.

Da questo calcolo risulta una Infiltrazione Efficace calcolata pari a 730 mm/a. Questo acquifero si estende presumibilmente in profondità, in una vasta area circostante l'area d'alimentazione.

Acquifero del Rio Sacro

È stata valutata una portata media di 100 l/s proveniente da un'area d'alimentazione di circa 6,1 km², dove è stata calcolata un'Infiltrazione Efficace di 520 mm/a. Questo valore d'infiltrazione è relativamente basso, se confrontato con quello calcolato per l'acquifero contiguo del Fiastrone. Questa valutazione può avere due giustificazioni:

- può risultare sottostimata la portata media della sorgente lineare;

- può dipendere dal considerevole stato di laminazione che interessa i calcari affioranti nell'area d'alimentazione.

Acquifero del Fiastrone

L'acquifero del Fiastrone, alimentato in parte dalla Maiolica ed in parte dal Calcere Massiccio, eroga una portata media valutata in 415 l/s, proveniente da un'area d'alimentazione di circa 21,2 km², per cui è stata calcolata un'Infiltrazione Efficace di 620 mm/a. Il campo piezometrico dovrebbe variare da 1250 a 700 m di quota con un forte gradiente idraulico. Questo valore anormale del gradiente idraulico troverebbe giustificazione nel particolare assetto idrogeologico proprio dell'alta valle del Fiastrone, dove coesistono una successione condensata ed una completa, pertanto nella porzione più meridionale, dove il Complesso calcareo-silico-marnoso sostiene le acque che s'infiltrano nel Complesso della Maiolica, si hanno delle emergenze proprio al contatto tra i due complessi (sorgente F893-1000; tab. 8). Procedendo verso N, verso la successione condensata, il Complesso calcareo-silico-marnoso si assottiglia e ne aumenta la componente carbonatica (Calcareni di Monte Valvaseto), tanto da dare luogo a delle emergenze lungo l'asta del Fiastrone (sorgente F800-880). In corrispondenza della successione condensata è il Complesso calcareo basale a drenare le acque di infiltrazione del Complesso della Maiolica, a partire dall'ultimo tratto del Fosso dell'Acqua Santa e proseguendo lungo l'asta del Fiastrone (sorgente F720-830). Si tratterebbe, quindi, di una sorta di gradiente idraulico imposto condizionato dalla giacitura del Complesso calcareo-silico-marnoso. Sulla base di questo Modello Idrogeologico Concettuale è stato allestito un Modello di Simulazione Numerica delle condizioni di flusso (TARRAGONI, 2001) che sembrerebbe validare le ipotesi di circolazione idrica formulate. Tuttavia TARRAGONI (2005) ipotizza un Modello Idrogeologico Concettuale il cui acquifero ha un'area di alimentazione ben più estesa (che si allunga verso sud fino a Monte Vettore) ed è drenato anche da altre sorgenti lungo gli alvei dei fiumi Ambro ed Aso.

Nella Scaglia calcarea sono stati identificati:

Acquifero del Chienti-Fornace

Eroga una portata media di 1205 l/s proveniente da un'area d'alimentazione di 60,3 km², dove si sviluppa un'Infiltrazione Efficace calcolata di 630 mm/a; tenendo conto dei 50 l/s persi per *drainance* nell'Acquifero del Chienti (Complesso della Maiolica), si avrebbero 1255 l/s e un'Infiltrazione Efficace calcolata di 655 mm/a. Il campo piezometrico riconosciuto varia

da una quota di 650 m ad una quota di poco inferiore ai 500 m, dove si trovano le principali sorgenti. Un vasto settore dell'acquifero è imprigionato sotto la coltre impermeabile del Complesso dei depositi terrigeni marnoso-arenacei, del Complesso dei depositi marnosi e calcareo-marnosi e del Complesso della Scaglia marnosa. Le principali sorgenti di Boccafornace e di Capodacqua si trovano dove il Complesso della Scaglia calcarea affiora dalla coltre impermeabile che lo copre, ma in porzioni così poco estese da rendere impossibile la loro indicazione cartografica alla scala di rappresentazione 1:50.000.

Acquifero del Fiastrone

L'acquifero del Fiastrone ha una portata media di 220 l/s e un'area d'alimentazione di 17,3 km². È stata valutata un'Infiltrazione Efficace di 400 mm/a. Il campo piezometrico è variabile da quota 850 a 650 m circa. Nel suo settore più settentrionale l'acquifero risulta sostanzialmente coperto dal Complesso della Scaglia marnosa.

Acquifero dell'Acquasanta

L'acquifero dell'Acquasanta è posto in alta quota presso i limiti dell'area studiata. I limiti della sua area d'alimentazione, nel settore più meridionale, non sono stati identificati con certezza ed il relativo calcolo dell'Infiltrazione Efficace risulta quindi impreciso. La portata media erogata nelle Gole dell'Acquasanta è stata stimata 170 l/s tenendo conto dei dati di portata disponibili. L'area d'alimentazione è stata approssimativamente valutata 4,7 km². È stata, quindi, calcolata un'Infiltrazione Efficace di 1140 mm/a, presumibilmente sovrastimata.

I valori d'Infiltrazione Efficace calcolati per i vari acquiferi sono simili o superiori a quelli valutati dalla maggior parte degli studi idrogeologici condotti sulla dorsale umbro-marchigiana, variabili tra 400–500 mm/a. Il calcolo dell'Infiltrazione Efficace nel Complesso della Scaglia calcarea (acquifero del Chienti-Fornace e dell'Acquasanta) ha fornito valori notevolmente superiori al valore medio calcolato sulla dorsale umbro-marchigiana; tali valori sarebbero sovrastimati a causa del particolare assetto idrogeologico dei due acquiferi. Per l'acquifero del Chienti-Fornace tale valore potrebbe essere imputabile:

- ad una sovrastima della portata media come conseguenza di misure di portata "contaminate" da ruscellamento; in quanto le sezioni di misura, pur essendo prossime alle sorgenti, sottendono un bacino piuttosto esteso caratterizzato dall'affioramento di complessi a permeabilità trascurabile, soprattutto per quanto riguarda le sezioni sul Fornace;
- ad una sottostima dell'area d'alimentazione; occorrerebbe estendere lo studio idrogeologico

nella porzione di territorio a nord-ovest del corso del Fiume Chienti, per verificare la presenza di altre sorgenti e la relativa quota nel Complesso della Scaglia calcarea.

Per l'acquifero dell'Acquasanta l'elevato valore dell'Infiltrazione Efficace (superiore a 1000 mm/a) è sicuramente attribuibile all'imprecisione con cui è stata definita l'area di alimentazione, i cui limiti non sono stati completamente definiti; TARRAGONI (2005) fornisce un valore dell'Infiltrazione Efficace di 750 mm/a (riferibile ad un'area di alimentazione che si estende verso sud per un totale di 7 km²), anch'esso piuttosto elevato ma ragionevole, se si considera che l'area d'alimentazione si estende a quote superiori ai 1200 m.

Il calcolo dell'Infiltrazione Efficace nel Complesso della Maiolica ha fornito un valore particolarmente elevato per l'acquifero del Chienti pari a 1100 mm/a, riducibile a 750 mm/a, ipotizzando una *drainance* di 50 l/s da parte dell'acquifero della Scaglia calcarea, e a circa 600 mm/a, secondo il Modello Idrogeologico Concettuale proposto da TARRAGONI (2005).

7.4. - VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE RINNOVABILI

Nell'area considerata è stata valutata una portata media complessiva erogata dalle sorgenti pari a 2110 l/s, che si riduce in periodo di magra a circa 1175 l/s. Le risorse idriche sotterranee rinnovabili misurate risiedono nella porzione più superficiale degli acquiferi, sopra la quota delle sorgenti naturali, mentre al di sotto di tale quota sono immagazzinate cospicue riserve permanenti la cui entità è ben visibile nei profili idrogeologici riportati nella cartografia allegata.

8. - SINTESI DELLE CONSIDERAZIONI SULL'APPLICABILITÀ DELLA GUIDA E PROPOSTE OPERATIVE

Per quanto concerne la rappresentazione delle emergenze, questa è stata eseguita, per quanto possibile, nei modi previsti dalla "Guida" (MARI *et alii*, 1995), con alcune variazioni che si sono ritenute opportune. Ad esempio, sono state indicate con apposito simbolo le sorgenti definite "lineari", che non figurano come tali nella citata "Guida". La simbologia adottata consente di valutare non solo la portata media (dimensione del simbolo esterno) dell'emergenza, ma anche la sua variabilità stagionale con l'indicazione dei

minimi riconosciuti (simbolo in colore pieno al centro del precedente) e dell'acquifero cui essa appartiene (diverso tono di colore blu). Di rilievo è che le sorgenti lineari sono state evidenziate con uno specifico simbolo che indica con chiarezza anche la lunghezza del tratto drenante. Sempre riguardo alle sorgenti lineari, si noti anche che questa fondamentale tipologia non è prevista come voce nel riquadro "Tipo di emergenza" della Scheda sorgente proposta in appendice al Quaderno, e, pertanto, se ne auspica l'inserimento.

In seguito ad un tentativo d'elaborazione della Carta Idrogeologica secondo le indicazioni della "Guida" (in cui i complessi idrogeologici devono essere distinti in funzione delle caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti, che riflettono la presunta permeabilità relativa, ed essere rappresentati con i colori dell'età geologiche desunti dalla Carta Geologica Ufficiale d'Italia), è evidente che i Complessi carbonatici individuati, dotati presumibilmente di elevata permeabilità, non presentano alcun attendibile elemento che possa consentire tale distinzione senza incorrere in proposte soggettive e non giustificabili. È risultato conseguentemente inapplicabile anche l'uso di simboli per indicare presunte variazioni di permeabilità all'interno dei Complessi identificati.

Alla luce dei risultati di questo studio, nonché di altre analoghe esperienze di campo si sottolinea che, poiché i caratteri idrogeologici di un'area sono molteplici, la loro rappresentazione, per quanto simbolica, richiede l'allestimento di diverse carte tematiche, ciascuna dedicata all'illustrazione di particolari aspetti dell'idrogeologia regionale: non si ritiene possibile elaborare un unico documento cartografico rappresentante la topografia, i complessi idrogeologici, l'assetto idrostrutturale, le sorgenti, i campi piezometrici, l'idrologia di superficie, le opere idrauliche, gli apporti meteorici, i modelli concettuali degli acquiferi, ecc. Sulla base di queste considerazioni si propone l'adozione di un documento cartografico, frutto di approfonditi studi condotti su diversi aspetti dell'idrogeologia e costituito da più elaborati dai quali si sono dovute necessariamente selezionare le informazioni disponibili, al fine di fornire un documento di facile lettura. Il documento proposto, fortemente ancorato agli aspetti quantitativi, vuole evidenziare l'importanza del dato sperimentale acquisito con il rilevamento di campagna. Pertanto, la Cartografia Idrogeologica sperimentale proposta in questo studio è stata preparata come sovrapposizione di diversi livelli informativi, da cui sono quindi derivati documen-

ti distinti, ciascuno dei quali mostra particolari aspetti delle caratteristiche idrogeologiche locali. Il documento fondamentale è la "Carta dei Complessi Idrogeologici e delle Emergenze naturali", cui si affiancano, come elementi a margine, la riproduzione a scala ridotta della "Carta dell'Idrologia di superficie" e del "Modello Idrogeologico Concettuale" dei differenti acquiferi riconosciuti, in modo da poter avere un quadro d'insieme ottimale. Nel documento proposto figurano anche alcuni profili idrogeologici che evidenziano la distribuzione dei principali acquiferi riconosciuti, le differenze di potenziale tra i vari acquiferi e l'influenza esercitata dalle barriere idrauliche.

Con particolare riguardo alla legenda dei complessi idrogeologici riportati nell'allegato cartografico, sono stati rappresentati:

- con una duplice simbologia i complessi carbonatici sede preferenziale del processo di infiltrazione (un retino indicativo del complesso ed un colore nei toni del rosso che mostra l'entità dell'Infiltrazione Efficace calcolata). È evidente che uno stesso complesso può essere rappresentato da diversi toni di rosso relativi a differenti valori dell'Infiltrazione Efficace, in funzione dello stato di alterazione prodotto dalla tettonica e dell'entità dei locali afflussi meteorici;

- con un colore pieno i complessi che non sono sede del processo di infiltrazione e sostengono o limitano gli acquiferi riconosciuti (nei toni del grigio o del verde se sussiste *drainance*);

- con un retino rosso i complessi che rivestono un ruolo secondario nell'economia idrogeologica regionale (es. coperture recenti);

- senza colore specifico ma solo con il relativo retino i complessi che definiscono l'assetto geologico strutturale ed idrogeologico dell'area, ma che non sono stati oggetto di uno studio quantitativo e per i quali non è stato possibile allestire il Modello Idrogeologico Concettuale dato che si sviluppano in parte oltre i limiti dell'area di studio.

Inoltre, un cenno merita anche l'inserimento di un sovrassegno indicante le zone soggette ad intensa laminazione, per l'effetto che questo processo comporta rispetto all'alterazione delle caratteristiche idrogeologiche originali delle rocce che ne sono interessate.

Infine, è stato sottolineato come sia necessario il dettaglio dell'informazione acquisita per mezzo di campagne di misura in alveo con cadenza mensile, rispetto a quello ottenibile da campagne con periodicità stagionale, per poter identificare con un'adeguata definizione gli apporti di acque di superficie e di acque sotterranee che alimentano il fiume. La raccolta di misure di campo mensili

facilita, inoltre, la valutazione dell'attendibilità delle portate misurate (loro coerenza nello spazio e nel tempo) e permette di meglio definire l'andamento delle portate e di individuare con maggiore precisione il momento di massima magra e quello di piena.

Ringraziamenti

Si ringraziano la Dott.ssa S. PIERDOMINICI ed il Dott. N. DANIELE per la collaborazione al rilevamento idrogeologico svolto dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza". Si ringrazia inoltre il Dott. M. ROMA per la revisione tecnico-scientifica dell'allestimento cartografico e dell'informatizzazione dei dati idrogeologici.

BIBLIOGRAFIA

- AGOSTINI A. (1994) - *Contributo all'idrogeologia del bacino del Fiume Fiastrone*. Tesi di Laurea. Università di Roma "La Sapienza".
- AMBROSETTI P., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U. (1981) - *Schema di evoluzione neotettonica dell'area Umbro-Marchigiana tra il Tronto e il Metauro*. Rend. Soc. Geol. It., **4**, 471-475.
- ANNALI IDROLOGICI (1921 - 1992) - *Parte prima e parte seconda (sezioni di Bologna e Roma)*. Servizio Idrografico Ministero dei Lavori Pubblici, anni 1921-1992, Roma.
- BARCHI M., MINELLI G. & PIALI G. (1996) - *Tettonica dell'Appennino settentrionale alla luce dei risultati del CROP 03*. Abstract Convegno: "Presentazione dei risultati del profilo sismico CROP 03". Roma, novembre 1996, 11-12.
- BONI C.F., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) - *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio*. CNR.
- BONI C.F., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 991-1012.
- CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & MICARELLI A. (1986) - *Evoluzione tettonico-sedimentaria dell'area umbro-marchigiana dal Trias al Pleistocene*. Da: "La Geologia delle Marche", Studi Geol. Camerti, numero speciale in occasione del 73° Congresso della Società Geologica Italiana, Roma 30 settembre-4 ottobre 1986, 89-90.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 311-316.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Evoluzione strutturale neogenico-quadernaria dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale: "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. & TOSTI A. (1990) - *Blind-thrust: esempi nell'appennino Umbro-Marchigiano*. Carta allegata "Le associazioni strutturali di Monte Patino e di Monte Fema". Studi Geol. Camerti Vol. speciale 1990, 57-67.
- CALAMITA F., DEIANA G., INVERNIZZI C. & PIZZI A. (1991) - *Tettonica*. Da: "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato Urbanistico, (Ed.) S.EL.CA. (FI), 67-80.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (1992) - *Tettonica quadernaria nella Dorsale appenninica umbro-marchigiana e bacini intrappenninici associati*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale 1992/I, 17-25.
- CALAMITA F., PIZZI A. & ROSCIONI M. (1992) - *I fasci di faglie recenti ed attive di M. Vettore - M. Bove e di M. Castello - M. Cardosa (Appennino umbro-marchigiano)*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale 1992/I, 81-95.
- CALAMITA F., COLTORTI M., FARABOLLINI P. & PIZZI A. (1994) - *Le faglie normali quaternarie nella dorsale appenninica umbro-marchigiana: proposta di un modello di tettonica di inversione*. Studi Geol. Camerti, Vol. speciale, CROP 18, 211-226.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (1994) - *Recent and active extensional tectonics in the southern Umbro-Marchean Apennines (Central Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 541-548.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A. & PIERUCCINI U. (1971) - *Contributo alla conoscenza del Giurassico dell'Appennino umbro-marchigiano*. Studi Geol. Camerti, **1**, 7-90.
- CENTAMORE E., JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1972) - *Modello strutturale umbro-marchigiano. Correlazione con le regioni adiacenti*. Boll. Serv. Geol. d'It., **93**, 155-188.
- CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - *Il Trias-Paleogene delle Marche*. Da: "La Geologia delle Marche", Studi Geol. Camerti, numero speciale in occasione del 73° Congresso della Società Geologica Italiana, Roma 30 settembre-4 ottobre 1986, 9-27.
- CENTAMORE E. & MICARELLI A. (1991) - *Stratigrafia*. Da: "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato Urbanistico (Ed.), 1-66, S.EL.CA. Firenze.
- CENTAMORE E., PAMBIANCHI 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 Urbanistico (Ed.), S.EL.CA., Firenze.
- CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A., MORETTI A. & PIERUCCINI U. (1976) - *Geologia dei Monti Sibillini nord-orientali*. Studi Geol. Camerti, **2**, 7-44.
- 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.
- DAMIANI A.V. (1975) - *Aspetti geomorfologici e possibile schema evolutivo dei Monti Sibillini (Appennino umbro-marchigiano)*. Boll. Serv. Geol. It., **46**, 231-314.
- DECANDIA F.A. (1982) - *Geologia dei Monti di Spoleto (provincia di Perugia)*. Boll. Soc. Geol. It., **101**, 291-315.
- DRAMIS F. & DEIANA G. (1972) - *Le sorgenti della provincia di Macerata*. Cam. Comm. Ind. Artig. e Agr. di Macerata, vol. **1-2**, Macerata.
- ELTER P., GIGLIA C., TONGIORGI M. & TREVISAN L. (1975) - *Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the Northern Apennines*. Boll. Geofis. Teor. Appl., **17**, 3-19.
- FARABOLLINI P., PAMBIANCHI G. & PARIS E. (1990) - *Segnalazione di sedimenti eolici nei pressi di Bolognola (Monti Sibillini, Appennino Umbro-Marchigiano)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **13-1**, 83-85.
- KOOPMAN A. (1983) - *Detachment tectonics in the Central Apennines, Italy*. Geol. Ultraiectina, **30**, 1-155.
- LAVECCHIA G. (1979) - *Analisi cinematica del sovrascorrimento del F. Fiastrone (Sibillini nord-orientali)*. Boll. Soc. Geol. It., **98**, 457-468.
- LAVECCHIA G. (1981) - *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano. 3 - Lo stile deformativo*. Boll. Soc. Geol. d'It., **100**, 271-278.
- LAVECCHIA G. (1985) - *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. Geol. It., **104**, 161-194.

- LAVECCHIA G., BARCHI M. & BROZZETTI F. (1994) – *Recent tectonics and active stress field in the Umbria – Marche Apennines*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, 535-537.
- LAVECCHIA G. & PIALLI G. (1981) – *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano. 1 – Il basamento*. Geologica Romana, **20**, 183-195.
- MARI G.M., MOTTERAN G., SCALISE A.R., TERRIBILI D. & ZATTINI N. (1995) – *Carta Idrogeologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione*. Quad. SGN Serie III, **5**, IPZS, Roma.
- MERLA G. (1951) – *Ricerche tettoniche nell'Appennino settentrionale*. Boll. Soc. Geol. d'It., **70**, 95-382.
- MIGLIORINI C.I. (1948) – *I cunei composti nell'orogenesi*. Boll. Soc. Geol. d'It., **67**, 29-142.
- NANNI T. (1991) – *Idrogeologia*. Da: "L'ambiente fisico delle Marche", Regione Marche, Assessorato Urbanistico (Ed.), 115-209, S.EL.CA. Firenze.
- NAPPI F. (1994) – *Contributo all'idrogeologia dell'alto bacino del Fiume Chienti*. Tesi di Laurea. Università di Roma "La Sapienza".
- PARISI G. (1994) – *Le successioni pelagiche del dominio umbro-marchigiano*. In: Guide Geologiche Regionali (Soc. Geol. It.) **N.7**, Ed. BE-MA, 31-36.
- 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 Marecchia e del litorale Adriatico, da Porto Corsini a Pesaro*. Min. Agr. Ind. e Comm., Mem. Illustrative della Carta idrografica d'It., **35**, Roma.
- PIALLI G. (1971) – *Facies di piana cotidale nel Calcere Massiccio dell'Appennino umbro-marchigiano*. Boll. Soc. Geol. It., **90**, 481-507.
- SCARSELLA F. (1946) – *Di un motivo tettonico dell'Appennino centrale Umbro-Marchigiano*. Boll. Soc. Geol. d'It., **65**, 21-23.
- SCARSELLA F. (1951a) – *Un aggruppamento di pieghe dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Boll. Serv. Geol. d'It., **73**, 307-320.
- SCARSELLA F. (1951b) – *Sulla zona d'incontro dell'Umbria e dell'Abruzzo*. Boll. Serv. Geol. d'It., **71**, 155-166.
- SELLI R. (1950) – *I caratteri geologici della regione marchigiana*. Giornale di Geologia, serie 2, **21**, 99-125.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – *Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000 - Foglio geologico n. 124 Macerata (1967)*, IPZS, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – *Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000-Foglio geologico n.132 Norcia (1941)*, IPZS, Roma.
- TARRAGONI C. (2001) – *Modello Concettuale e simulazione numerica delle condizioni di flusso degli acquiferi dell'alto bacino del Fiastrone (Sibillini nord-orientali)*. Tesi di Laurea, Università degli Studi di Roma "La Sapienza".
- 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".
- ZOLLET D. (2001) – *Modello Idrogeologico Concettuale delle pendici nord-occidentali dei Monti Sibillini*. Tesi di Laurea, Università di Roma "La Sapienza".