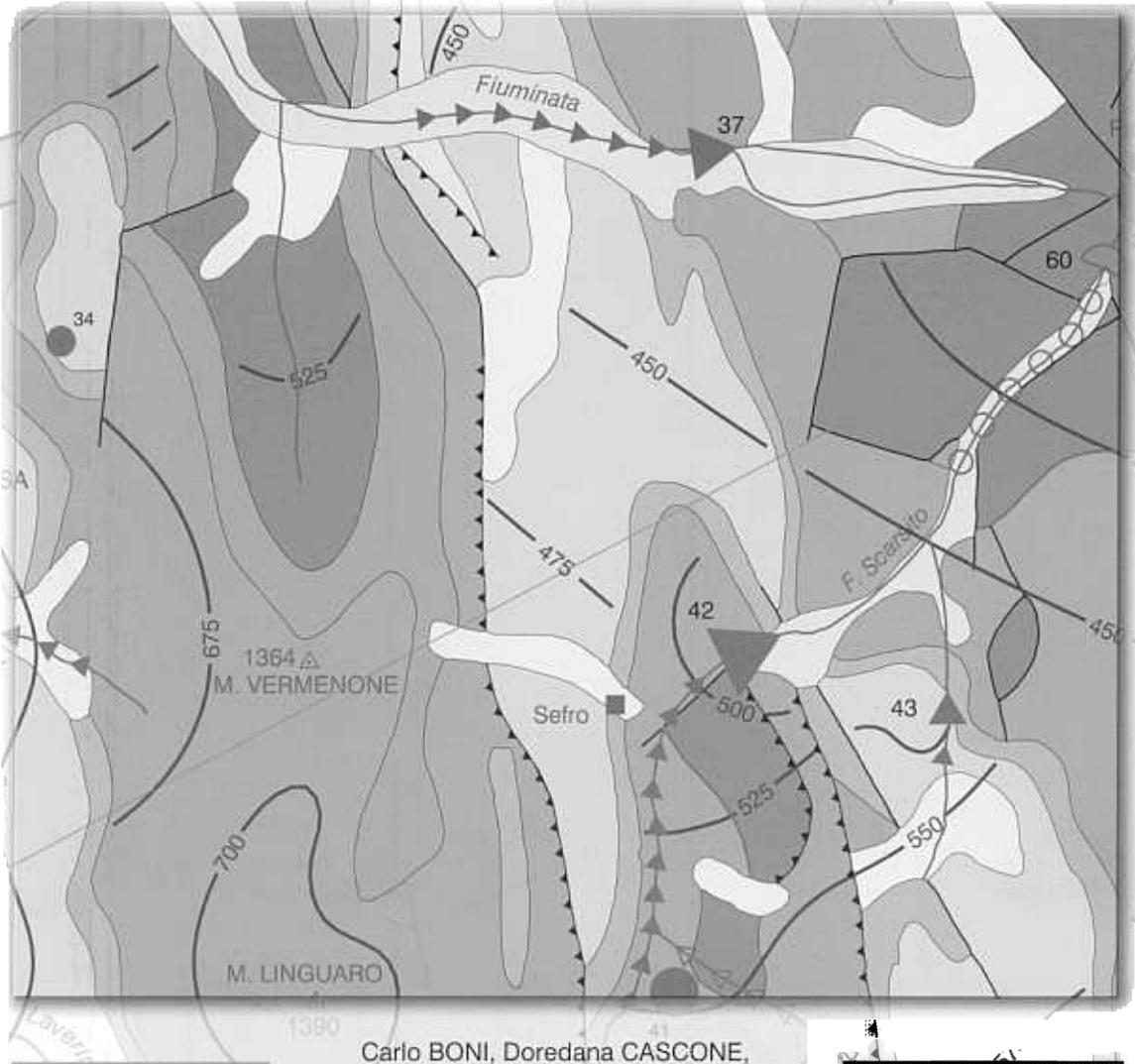




# CARTA IDROGEOLOGICA DELLE DORSALI INTERNE UMBRO-MARCHIGIANE

Scala 1:50 000

## NOTE ILLUSTRATIVE



Carlo BONI, Doredana CASCONE,  
Lucia MASTRORILLO e Claudia TARRAGONI

**CARTA IDROGEOLOGICA  
DELLE DORSALI INTERNE  
UMBRO-MARCHIGIANE  
SCALA 1:50.000**

**NOTE ILLUSTRATIVE**

**di**

**Carlo BONI, Doredana CASCONI,  
Lucia MASTRORILLO e Claudia TARRAGONI**

**Pubblicazione G.N.D.C.I. n.2865 CNR-Roma (2005)**



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA**

**CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE**  
**GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE**  
**CATASTROFI IDROGEOLOGICHE**



## INDICE

PREMESSA	.pag.	5
2. INTRODUZIONE . . . . .	.«	9
<u>Scala di rappresentazione</u>	.«	10
<u>Geologia</u> . . . . .	.«	10
<u>Sorgenti</u> . . . . .	.«	10
<u>Reticolo idrografico</u> . . . . .	.«	
<u>Campo piezometrico</u> . . . . .	.«	1
<u>Barriere idrauliche</u> . . . . .	.«	
<u>Profili idrogeologici</u> . . . . .	.«	12
3. GEOLOGIA	.«	13
3.1. STRATIGRAFIA	.«	14
3.2. ASSETTO STRUTTURALE	.«	16
3.3. CONSIDERAZIONI SULLA GEOLOGIA DELL'AREA	.«	17
4. IDROGEOLOGIA .	.«	19
4.1. STUDI PRECEDENTI	.«	19
4.2. PRECIPITAZIONI METEORICHE	.«	21

4.3.	METODI DI INDAGINE	«	22
4.4.	ANALISI IDROGEOLOGICA		
	DELL'ASSETTO STRATIGRAFICO E STRUTTURALE	«	23
4.5.	BARRIERE IDRAULICHE .....	«	25
4.6.	ANALISI DELL'IDROLOGIA DI SUPERFICIE .....	«	25
4.7.	CAMPO PIEZOMETRICO .....	«	27
4.8.	CONFIGURAZIONE DEGLI ACQUIFERI .....	«	28
4.9.	INFILTRAZIONE EFFICACE .....	«	34
4.10.	RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE RINNOVABIL		
	E RISERVE PERMANENTI .....	.....«	37
5.	BIBLIOGRAFIA .....	...«	39

## 1. PREMESSA

Questo documento cartografico, alla scala 1:50.000, è il risultato di molti anni di studi, condotti tra il 1990 e il 2004, a più riprese, sempre orientati alla migliore valutazione quantitativa delle risorse idriche sotterranee rinnovabili, in un'area di circa 1000 km<sup>2</sup> posta tra le Regioni dell'Umbria e delle Marche.

Rispetto ad analoghi documenti, che illustrano alcuni caratteri idrogeologici delle dorsali appenniniche (complessi idrogeologici e sorgenti), questa carta presenta due sostanziali novità che la caratterizzano e che esprimono un nuovo modo di concepire la cartografia idrogeologica regionale.

Sulla Carta Idrogeologica è rappresentato quello che gli Autori ritengono il più probabile campo piezometrico degli acquiferi che alimentano le emergenze riconosciute.

In una carta derivata, a scala ridotta, sono state identificate e rappresentate le barriere idrauliche che separano acquiferi contigui, con diverso potenziale, o settori diversi dello stesso acquifero.

La rappresentazione delle barriere idrauliche e del campo piezometrico conferisce a questa Carta Idrogeologica (che ha lo scopo prioritario di rappresentare gli acquiferi) un aspetto quasi-tridimensionale che consente:

- di identificare acquiferi indipendenti delimitati da barriere idrauliche o da limiti di potenziale;
- di conoscere la geometria degli acquiferi (area di alimentazione, quota di saturazione dei serbatoi, punti di emergenza, probabili gradienti idraulici);
- di conoscere direzioni di flusso e percorsi compiuti dalle acque sotterranee;
- di valutare la compatibilità tra l'estensione delle aree di alimentazione, la loro infiltrazione efficace media e la portata delle sorgenti;
- di conoscere l'entità delle risorse idriche sotterranee rinnovabili ed i processi idrodinamici che le rigenerano;
- di conoscere dove si accumulano nel sottosuolo le riserve idriche permanenti, utili per interventi di regimazione dei deflussi sorgivi e per una migliore usufruibilità delle risorse disponibili.

Tutte queste informazioni assumono una particolare valenza applicativa perché sono utili agli Enti Locali per la migliore gestione delle risorse, in condizioni ordinarie e di emergenza.

Questo documento facilita la redazione di efficaci Piani di tutela e organici Piani d'uso della risorsa, basati su più attendibili dati quantitativi; consente la rapida identificazione di eventuali cause di inquinamento delle acque utilizzate per uso municipale; consente di individuare agevolmente nuove fonti di approvvigionamento, idonee per affrontare eventuali situazioni di crisi; facilita l'esecuzione di studi di impatto ambientale, intesi ad evitare la progettazione e l'esecuzione di opere in sottterraneo che potrebbero provocare lo "svuotamento" dei serbatoi naturali; indica quali sono le più probabili quote di saturazione dei serbatoi sotterranei; facilita la scelta dei percorsi sotterranei più idonei e sicuri, allo scopo di evitare catastrofi ambientali.

In una prospettiva di più lungo periodo, questo documento, che sarà certamente migliorato ed affinato da nuovi studi, diverrà indispensabile per avviare una nuova fase nella tutela e nella gestione delle risorse idriche sotterranee e di superficie, fondata su criteri e metodi più moderni ed efficaci di quelli finora utilizzati.

Gli acquiferi identificati in questo studio costituiscono la risorsa idrica rinnovabile fondamentale e indispensabile per l'equilibrato sviluppo socio-economico del territorio e per la tutela dell'ambiente. Al modello idrogeologico concettuale degli acquiferi, proposto in questo documento in forma cartacea, dovrà seguire un modello di simulazione numerica delle condizioni di flusso sotterraneo, prima stazionario e poi transitorio, che consentirà di conoscere, in tempo reale, l'entità delle risorse rese disponibili dal naturale processo di rialimentazione degli acquiferi, l'entità delle risorse utilizzate dalle diverse utenze e l'entità del deflusso superficiale, necessario alla tutela delle condizioni ambientali ed alla fisiologica funzione di smaltimento delle acque residue.

L'approvvigionamento idrico per il consumo umano, oggi prevalentemente basato sulla derivazione integrale delle acque sorgive, frammentato in una miriade di acquedotti locali, sarà progressivamente sostituito da prelievi operati, non più alle sorgenti, ma direttamente dagli acquiferi che garantiscono un approvvigionamento molto più affidabile, sia in termini di quantità che di qualità delle acque distribuite.

Queste necessarie innovazioni, che dovranno essere gradualmente adottate dagli Enti preposti, richiedono una conoscenza sempre più approfondita degli acquiferi e delle loro caratteristiche e l'adozione di adeguati provvedimenti di tutela della qualità delle acque e dell'ambiente.

Questo documento si può considerare l'embrione dei futuri strumenti di gestione delle risorse idriche rinnovabili che saranno basati sulla valutazione delle risorse, sulla pianificazione degli usi e sul rigoroso controllo dei prelievi, per consentire un'equilibrata distribuzione tra le utenze, nel rispetto degli equilibri di bilancio.

## **2. INTRODUZIONE**

La rappresentazione simbolica dei molteplici caratteri idrogeologici, specifici di un territorio, non può essere riportata su un solo documento cartografico, ma richiede la preparazione di diverse carte tematiche correlate che illustrino, ciascuna, particolari aspetti dell'idrogeologia regionale (base topografica; complessi idrogeologici; assetto idrostrutturale; sorgenti; idrologia di superficie; apporti meteorici; infiltrazione efficace; geometria degli acquiferi; campo piezometrico; modelli concettuali degli acquiferi; caratteristiche chimico fisiche delle acque sotterranee e di superficie; opere idrauliche; opere di derivazione di acque sotterranee; possibili fonti di inquinamento delle acque sotterranee e di superficie; ecc.).

La redazione di una sola carta (imposta da evidenti motivi economici) comporta quindi la scelta degli aspetti che si vogliono rappresentare e di quelli che è necessario omettere.

La Carta Idrogeologica delle dorsali interne umbro-marchigiane, alla scala 1:50.000, è un documento redatto con specifiche finalità applicative, che intende mettere in evidenza alcuni aspetti dell'idrogeologia regionale considerati particolarmente utili agli Enti territoriali preposti alla tutela ed alla gestione delle risorse idriche e alla Protezione Civile, per fronteggiare più agevolmente eventuali situazioni di crisi idrica.

### Scala di rappresentazione

Si è scelta la scala 1:50.000, che è parsa adeguata al dettaglio delle conoscenze acquisite ed alle finalità del lavoro. Alcuni aspetti sono stati illustrati in una carta derivata, ridotta di circa il 50%.

Purtroppo non è ancora disponibile una base topografica alla scala prescelta, estesa sull'intero territorio considerato. Si è quindi allestito un documento nel quale i principali riferimenti topografici sono costituiti dal reticolo idrografico, dalle cime dei rilievi e dai centri abitati. I riferimenti altimetrici sono deducibili dalla quota delle sorgenti e dal campo piezometrico esteso sulla maggior parte del territorio.

### Geologia

La rappresentazione dei caratteri geologici è stata notevolmente semplificata, in modo da illustrare con migliore evidenza i litotipi affioranti e le linee strutturali che assumono un particolare ruolo idrogeologico. Le note formazioni che costituiscono la successione umbro-marchigiana, sono state rappresentate come complessi idrogeologici ed indicati in carta con colori convenzionali, che evidenziano gli affioramenti di litotipi dotati di scarsa permeabilità (toni grigi, verdi e blu) e gli affioramenti di rocce che hanno invece attitudine ad assorbire ed immagazzinare le acque meteoriche (toni rossi).

### Sorgenti

Le sorgenti puntuali (ubicata in aree circoscritte) e le sorgenti lineari (ubicata lungo gli alvei dei corsi d'acqua) sono indicate con la usuale simbologia del cerchio e del triangolo, riportata in legenda. Tutte le sorgenti considerate sono indicate da un numero; una tabella a margine riporta il nome o l'ubicazione, la quota e la portata media. I valori della portata media sono stati desunti dall'elaborazione dei dati acquisiti.

La portata delle sorgenti lineari è stata valutata con ripetute campagne di misura in alveo, eseguite nel corso degli anni e in diverse stagioni.

Più difficile è risultata la valutazione delle portate erogate dalle sorgenti captate, non direttamente misurabile. In questi casi si sono utilizzati dati di let-

teratura o informazioni raccolte presso i gestori. Le portate medie valutate si possono considerare significative ed esprimono il valore medio di lungo periodo. Tutte le sorgenti sono soggette a variazioni di portata sia stagionali che cicliche di più lungo periodo.

### Reticolo idrografico

Come si è già detto, mancando una base topografica, il reticolo idrografico assume particolare importanza come riferimento topografico. Non è stata fatta una distinzione tra il reticolo temporaneo ed il reticolo perenne.

### Campo piezometrico

Il campo piezometrico è l'elemento più nuovo e significativo che viene proposto in questo documento.

La sua configurazione è stata desunta da un accurato esame del territorio ed in particolare dalle quote di tutte le emergenze puntuali e lineari riconosciute, da considerazioni di bilancio e dal controllo morfologico (il campo piezometrico deve trovarsi sempre ad una quota inferiore a quella di fondo valle, dove manca un corso d'acqua alimentato). Nel territorio, prevalentemente montano, le informazioni desumibili da pozzi sono scarsissime. Le quote riportate in carta si devono considerare come valori medi che possono subire limitate variazioni stagionali, ma notevoli variazioni pluriennali, come verrà precisato più avanti.

### Barriere idrauliche

Non è parso opportuno riportare le barriere idrauliche sulla carta alla scala 1:50.000. Le barriere idrauliche condizionano la circolazione delle acque sotterranee. La loro identificazione e rappresentazione costituisce un'ulteriore novità che mette in evidenza i limiti dei principali acquiferi riconosciuti. Per illustrare, con maggiore chiarezza, la posizione e la funzione delle barriere idrauliche più significative è stato necessario allestire la "Carta della configurazione degli acquiferi e delle barriere idrauliche" che figura a margine della Carta Idrogeologica ad una scala ridotta di circa il 50%. Questo

documento evidenzia le linee essenziali della circolazione sotterranea ed i fattori che la condizionano.

### Profili idrogeologici

Alcuni profili idrogeologici mettono in evidenza la distribuzione dei principali acquiferi riconosciuti, le notevoli differenze di potenziale tra acquiferi sospesi e basali e l'influenza esercitata dalle barriere idrauliche.

### 3. GEOLOGIA

La geologia del territorio considerato è ben nota nelle sue linee essenziali e descritta da una vasta letteratura. I lavori prodotti a metà del secolo scorso hanno tracciato le linee essenziali della stratigrafia e dell'assetto strutturale. Negli anni '70-'80 è stata eseguita la cartografia geologica dell'area, in parte alla scala 1:100.000 e in parte alla scala 1:50.000.

E' parso opportuno dare una breve sintesi dei principali contributi che hanno portato all'attuale stato delle conoscenze.

Lotti (1926), in un lavoro magistrale, traccia le linee essenziali delle geologia dell'Umbria con intuizioni sull'evoluzione paleoambientale, contrastate dai contemporanei, ma pienamente confermate nei decenni successivi. Selli (1951), Scarsella (1951) e Merla (1954) propongono uno schema strutturale dell'Appennino centrale costituito da pieghe (le rughe) tra loro parzialmente accavallate (virgazione scalare).

Gli studi successivi hanno approfondito l'analisi sedimentologica e stratigrafica (Ceretti, 1964; Colacicchi et alii, 1970; Centamore et alii, 1969, 1971 e 1973; Piali, 1971; Passeri, 1972; Santantonio, 1993 e molti altri), l'analisi strutturale e il quadro evolutivo del bacino umbro-marchigiano (Ambrosetti et alii, 1981; La Vecchia et alii, 1980 e 1981; Bally et alii, 1986; Barchi et alii, 1988; Calamita e Deiana, 1986; Menichetti, 1992 e molti altri).

Contemporaneamente il Servizio Geologico d'Italia, in collaborazione con le Università, ha aggiornato la cartografia geologica con nuovi rilevamenti alla scala 1:100.000 e 1:50.000.

### 3 STRATIGRAFIA

La successione stratigrafica umbro-marchigiana si è deposta su un substrato metamorfico paleozoico, dal Trias medio al Miocene superiore.

Nel Trias medio si apre il bacino della Tetide dove si depongono sedimenti di mare sottile, dolomie, gessi e marne di spessore indefinito, valutato almeno alcune centinaia di metri.

Nel Lias inferiore l'ambiente sedimentario assume i tipici caratteri di una piattaforma carbonatica subsidente, dove si depone la formazione del Calcare Massiccio che ha spessori variabili fino ad un massimo di circa 700 metri. La parte sommitale della formazione assume caratteri sedimentologici differenziati, dovuti alle prime fasi di una incipiente tettonica distensiva che provoca gradualmente la frammentazione della piattaforma e il progressivo annegamento di vasti settori, dove si instaurano condizioni proprie di un bacino pelagico.

Sull'articolato substrato liassico si depongono successioni molto diverse per spessori e per caratteri litologici e paleontologici, definite "complete", "ridotte" e "condensate".

Gli Autori hanno definito "complete" le successioni che comprendono tutte le formazioni riconosciute, "ridotte" le successioni che presentano spessori limitati e lacune di sedimentazione. Le successioni "condensate" poggiano direttamente sul Calcare Massiccio e sostituiscono, con diversi litotipi, la successione completa. Questi sedimenti prendono il nome della Formazione del Bugarone che è costituita da calcari generalmente marnosi, nodulari, localmente dolomitizzati, potenti, nel loro insieme, da pochi metri a poche decine di metri.

La successione completa comprende tutte le formazioni riconosciute.

La Corniola, del Lias medio, poggia direttamente sul Calcare Massiccio, è costituita da calcari micritici avana o grigi, ben stratificati con liste e noduli di selce e sottili intercalazioni di argille e marne verdi, nei giunti di stratifi-

cazione. Ha spessori variabilissimi, da alcune centinaia di metri a pochi metri, nelle successioni ridotte. Nel Lias superiore, nel Dogger e nel Malm seguono depositi calcareo-silico-marnosi che sono stati variamente suddivisi dagli Autori in formazioni distinte, con nomi diversi. Queste suddivisioni riflettono la varietà degli ambienti di sedimentazione nei settori più profondi del bacino e lungo le scarpate che bordavano gli alti strutturali dove si deponavano successioni condensate. Lo spessore complessivo è molto variabile, da pochi metri ad un massimo di circa 250 metri. In questo lavoro tutti questi sedimenti sono stati raggruppati e rappresentati da un solo complesso idrogeologico, caratterizzato da bassa permeabilità di insieme.

Nel Cretacico inferiore si depono la formazione della Maiolica, costituita da micriti bianche, ben stratificate con noduli e liste di selce policroma. Anche la Maiolica ha spessori molto variabili (minimi di poche decine di metri e massimi di 350 metri) ma è sempre presente nell'intera area qui considerata. La Maiolica costituisce un complesso idrogeologico molto importante per la notevole estensione dei suoi affioramenti e per le caratteristiche litologiche che favoriscono il processo di infiltrazione profonda delle acque meteoriche e l'immagazzinamento temporaneo di acqua libera di muoversi per gravità.

Nell'Aptiano-Albiano segue la formazione delle Marne a Fucoidi con spessori variabili tra i 50 e 100 metri; è costituita da marne ed argille prevalenti nella parte inferiore che passano a calcari marnosi, sottilmente stratificati, nella parte superiore. Le Marne a Fucoidi, dove sono integre, hanno permeabilità trascurabile e costituiscono una barriera idraulica che separa l'acquifero della Maiolica da quello della Scaglia Calcareo; dove sono frammentate da dislocazioni che hanno prodotto rigetti superiori al loro spessore, perdono le loro caratteristiche di barriera idraulica. Ne consegue che nella Scaglia e nella Maiolica si riscontra l'esistenza di un unico acquifero continuo.

Sopra le Marne a Fucoidi, nel Cretacico superiore, si depongono le formazioni della Scaglia. Alla base, la Scaglia Calcareo, bianca e rosata, è costituita da micriti stratificate prevalenti, selciferi, con intercalazioni marnose che, a luoghi, possono risultare tanto abbondanti da limitare sensibilmente la permeabilità d'insieme. La Scaglia Calcareo costituisce un complesso idrogeologico di spessore variabile da 250 a 400 metri, che affiora su vaste esten-

sioni e ospita acquiferi indipendenti o connessi a quelli della Maiolica.

Dopo la deposizione della Scaglia Calcarea, nell'Eocene medio-superiore, si riduce progressivamente la sedimentazione calcarea e aumenta la componente terrigena.

In questa fase si sviluppa il processo di corrugamento che migra da occidente ad oriente.

Nel Miocene, formazioni torbiditiche, arenacee e pelitico-arenacee, colmano le depressioni di avanfossa che si aprivano in posizione sempre più orientale. I depositi terrigeni, che hanno caratteristiche molto variabili e spessori che possono raggiungere anche un migliaio di metri, sono stati tutti raggruppati in un solo complesso idrogeologico che delimita ad occidente e ad oriente le dorsali carbonatiche qui considerate e le separa idraulicamente dalle dorsali contigue. All'interno dei rilievi, lembi di questo complesso sono implicati lungo alcuni piani di ricoprimento o al nucleo di strette sinclinali schiacciate. Nel Pleistocene medio-superiore si sviluppa una fase tettonica marcatamente distensiva che ribassa ampi settori della dorsale calcarea, dove si producono depressioni oggi parzialmente colmate da depositi fluvio-lacustri (Colfiorito e Montelago in particolare), ancora interessati da periodica attività sismica.

### 3.2. ASSETTO STRUTTURALE

Gli Autori hanno proposto diversi modelli che interpretano l'assetto tettonico regionale. Scarsella (1951) e Merla (1954) propongono un tipico sistema di catena, a pieghe con vergenza orientale, tra loro accavallate da motivi compressivi che hanno prodotto traslazioni contenute, dove anticlinali e sinclinali si succedono con continuità.

Bally et alii (1986a e 1986b) ipotizzano un diverso modello che prevede il totale scollamento delle successioni mesozoiche dal substrato cristallino e un assetto a falde di ricoprimento traslate e accavallate.

Altri Autori propongono modelli più conservativi: la catena sarebbe costituita da pieghe e sovrascorrimenti prodotti da motivi traslativi con vergenza da orientale a nord-orientale. Nel settore più settentrionale, fenomeni traslativi più contenuti avrebbero prodotto un insieme di pieghe, mentre a sud della

linea del Chienti, si sarebbe sviluppata una tettonica più intensa, caratterizzata da marcati sovrascorrimenti. Centamore et alii (1973) considerano la dorsale umbro-marchigiana come una catena costituita da anticlinali asimmetriche, con fianco orientale rovesciato e fianco occidentale interessato da motivi distensivi. I nuclei liassici delle anticlinali risultano interessati da motivi rigidi, mentre la successione stratificata sovrastante appare deformata da motivi plicativi.

Si può dire in sintesi che esiste un sostanziale accordo tra gli Autori sulle caratteristiche stratigrafiche e strutturali della porzione affiorante dei rilievi, cioè della parte direttamente osservabile. Più varia e articolata risulta la discussione sull'assetto strutturale profondo, sui rapporti tra il substrato cristallino e la coltre sedimentaria, sull'entità e le modalità di traslazione. L'interesse degli Autori su questo argomento si è vivacizzato a seguito degli eventi sismici che hanno recentemente interessato gran parte dell'area ed in particolare la vasta depressione di Colfiorito, proprio nel periodo in cui questo studio era in corso.

### 3.3 CONSIDERAZIONI SULLA GEOLOGIA DELL'AREA

Per la finalità di questo studio è stato necessario definire la situazione stratigrafica e strutturale della porzione più corticale delle dorsali, posta sopra il livello del mare, dove le opinioni degli Autori sono sostanzialmente concordi. Gli studi stratigrafici di grande dettaglio e la cartografia geologica disponibile hanno consentito di identificare i complessi idrogeologici riportati sulla Carta Idrogeologica, che sono descritti nel capitolo dedicato all'idrogeologia. Da questo esame risulta che la successione umbro-marchigiana è costituita da complessi carbonatici prevalenti (Complesso Basale dei Calcari Giurassici Indifferenziati; Complesso della Maiolica e Complesso della Scaglia Calcarea), intercalati da complessi silico-marnosi-arenacei (Complesso calcareo-silico-marnoso; Complesso delle Marne a Fucoidi e Complesso dei depositi marnoso-arenacei). I complessi calcarei hanno spessori notevoli e sono caratterizzati da un'originaria continuità orizzontale. Il Complesso calcareo-silico-marnoso giurassico è invece caratterizzato da forti variazioni di spessore e da originaria discontinuità orizzontale. Dove

presente, separa il Complesso della Maiolica dal Complesso Basale; dove manca, il Complesso della Maiolica si viene a trovare in continuità con il Complesso Basale giurassico.

Il Complesso delle Marne a Fucoidi separa il Complesso della Maiolica dal Complesso della Scaglia Calcarea; si estende con continuità sull'intera area considerata, ma è caratterizzato da spessori relativamente modesti. Per questo motivo perde la sua continuità dove è interessato da dislocazioni tettoniche con rigetti superiori al suo spessore o da intensa laminazione. In queste aree il Complesso della Scaglia Calcarea si viene a trovare in continuità con il Complesso della Maiolica.

Il Complesso dei depositi marnoso-arenacei delimita, con notevoli spessori, ad oriente e ad occidente le dorsali calcaree umbro-marchigiane qui considerate ed è presente con spessori più modesti anche nelle depressioni interne della catena.

L'assetto strutturale è caratterizzato dalla presenza di motivi tettonici compressivi e da motivi distensivi. Tutti i motivi tettonici compressivi sono orientati in direzione submeridiana ed alterano sensibilmente l'originaria continuità orizzontale dei complessi calcarei: portano i complessi più antichi a sovrapporsi su complessi più recenti, rompono la continuità dei complessi silico-marnosi e producono fasce milonitiche che modificano totalmente gli originari caratteri litologici delle rocce interessate.

I motivi tettonici distensivi, più recenti, hanno prodotto fenomeni di collasso soprattutto nel settore centrale della dorsale, dove sono orientati in senso antimeridiano; hanno interrotto la continuità delle linee compressive e dei complessi silico-marnoso-arenacei.

Le linee tettoniche secondarie che interessano prevalentemente i nuclei liasici delle dorsali carbonatiche hanno la funzione di interrompere la continuità del Complesso calcareo-silico-marnoso giurassico e di mettere quindi il Complesso Basale a diretto contatto con il Complesso della Maiolica.

I complessi più antichi, come è ovvio, affiorano prevalentemente al nucleo delle anticlinali ed a quote più elevate, mentre sui bassi versanti affiora prevalentemente il Complesso della Scaglia Calcarea.

## 4. IDROGEOLOGIA

### 4. STUDI PRECEDENTI

Il primo lavoro che si può definire idrogeologico risale ai primi anni del '900 (Perrone, 1910); l'Autore tra il 1904 e il 1910 ha eseguito una serie di misure di portata delle sorgenti e del flusso di base lungo gli alvei dei corsi d'acqua delle Marche. Obiettivo di questo studio era la valutazione della potenzialità idraulica, intesa come fonte energetica, a servizio della rete elettrica che in quegli anni era in corso di costruzione. I dati, acquisiti quando il regime dei corsi d'acqua non era ancora alterato da massicce utilizzazioni, costituiscono un patrimonio di conoscenza estremamente utile, come dato di confronto con la situazione attuale.

Molti lavori pubblicati a partire dagli anni '70 affrontano alcuni aspetti specifici dell'idrogeologia (Lippi Boncampi, 1953; Selli, 1961; Deiana et alii, 1970; Dramis e Deiana, 1972; Centamore et alii, 1976; Boila et alii, 1983; Calamita et alii, 1984; Duchi et alii, 1987; Menichetti, 1987; Menichetti et alii, 1988; Cantelli et alii, 1989; Cencetti et alii, 1989; Dragoni e Verdacchi, 1990; Angelini e Dragoni, 1997) ma raramente forniscono informazioni

quantitative utili per la valutazione delle risorse idriche sotterranee.

Boni e Bono (1982) propongono una prima valutazione dell'infiltrazione efficace nelle dorsali umbro-marchigiane.

Boni et alii (1986) pubblicano lo schema idrogeologico dell'Italia Centrale nel quale l'idrogeologia della regione qui considerata viene illustrata in modo schematico; sono forniti i primi elementi quantitativi sull'entità delle risorse idriche rinnovabili e viene messa in evidenza l'importanza delle sorgenti lineari nell'economia idrogeologica regionale.

Boni et alii (1991) tracciano una sintesi delle conoscenze sulle risorse idriche sotterranee dei massicci carbonatici umbri.

Giaquinto e Mattioli (1991) propongono uno schema idrogeologico e geochimico sulle sorgenti del Clitunno che definisce con grande dettaglio i caratteri geochimici delle acque sorgive.

Nanni (1991) illustra l'idrogeologia delle Marche, dedicando particolare attenzione allo studio idrochimico delle acque sotterranee.

Boni e Mastrotillo (1993) tracciano le linee essenziali dell'idrogeologia dei Monti di Foligno; Boni et alii (1993) affrontano il problema dell'origine delle acque continentali del Lazio che provengono in gran parte dalla regione dell'Umbria; Boni et alii (1994) affrontano il problema della scomposizione degli idrogrammi dei corsi d'acqua appenninici per valutare l'entità del flusso di base alimentato dalle acque sorgive.

Mastrotillo (1996) propone una valutazione delle risorse idriche sotterranee rinnovabili, disponibili in un vasto settore della dorsale marchigiana.

Barchi et alii (1996), con studi di geologia strutturale, di geochimica delle acque sorgive e di idrologia isotopica propongono la delimitazione del bacino di alimentazione del gruppo delle sorgenti del Clitunno, che differisce sensibilmente da quella proposta in questo studio.

Caprari e Nanni (1999) pubblicano uno studio idrogeologico di dettaglio della dorsale carbonatica di M. Catria-M. Nerone, dove identificano acquiferi indipendenti caratterizzati da diversi regimi di flusso. Descrivono in dettaglio le caratteristiche idrochimiche delle acque sorgive e propongono alcuni valori di infiltrazione efficace, calcolati in diversi complessi idrogeologici. In base a considerazioni di bilancio è ipotizzato un deficit idrico consi-

stente, che viene giustificato da un deflusso sotterraneo verso le strutture più meridionali.

Mastrorillo (2001) descrive le caratteristiche idrogeologiche della dorsale carbonatica interna. Identifica due sistemi idrogeologici separati: un sistema settentrionale che comprende M. Nerone, M. Catria, M. Cucco e M. della Strega (fuori carta) ed un sistema meridionale, da Fossato di Vico a Colfiorito che coincide con il territorio rappresentato nel Foglio 1 della Carta Idrogeologica allegata. Sono riportate tutte le principali sorgenti, puntuali e lineari, e sono proposti calcoli dell'infiltrazione efficace media di acquiferi ubicati al nucleo delle dorsali e di acquiferi periferici. Dai dati acquisiti risulta la netta separazione idraulica tra il sistema umbro-marchigiano settentrionale e il sistema umbro-marchigiano meridionale, in contrasto con quanto affermato da Caprari e Nanni (1999). Viene messo in evidenza che i valori medi di infiltrazione efficace, calcolati per il sistema settentrionale (240 mm/a), sono nettamente inferiori rispetto ai corrispondenti valori calcolati per il sistema meridionale (470 mm/a). Un'ulteriore differenziazione considera gli acquiferi posti al nucleo delle dorsali separati dagli acquiferi più periferici, ubicati nella Scaglia Calcarea. La differenza dei valori medi di infiltrazione efficace è attribuita al differente assetto strutturale riscontrato nel sistema settentrionale e meridionale. Il diverso comportamento idrogeologico del Complesso della Scaglia Calcarea nelle dorsali più settentrionali (infiltrazione media calcolata 120 mm/a) rispetto a quelle più meridionali (370 mm/a) è sostanzialmente riferito all'abbondanza della componente marnosa nella Scaglia, che decresce da nord verso sud.

#### 4.2 PRECIPITAZIONI METEORICHE

L'analisi delle precipitazioni meteoriche, desunte dagli Annali del Servizio Idrografico di Stato (Sezioni di Roma e di Bologna) ha messo in evidenza alcuni aspetti caratteristici, che sono qui di seguito sintetizzati.

- Le stazioni pluviometriche, disponibili nell'area considerata e nelle zone limitrofe, sono distribuite a quote relativamente basse, da 100 metri a poco più di 1000 metri sul livello del mare. Non sono disponibili stazioni a quote più elevate;

- l'entità delle precipitazioni meteoriche è influenzata da molte cause: tra queste la quota assume particolare importanza, sebbene non si riscontri un'evidente relazione univoca tra aumento della quota e aumento dell'afflusso;
- l'estrema carenza di stazioni a quote superiori a 1000 metri, dove sono più abbondanti le precipitazioni solide e dove si estendono le aree di alimentazione dei principali acquiferi individuati, non consente di conoscere la reale consistenza degli afflussi meteorici più efficaci per l'alimentazione degli acquiferi. E' molto probabile che i dati disponibili portino ad una stima per difetto;
- le precipitazioni medie più elevate sono di circa 1800 mm/a e le minime di circa 800 mm/a, per un valore medio di circa 1200 mm/a;
- le temperature medie sono comprese tra minimi di 10 °C e massimi di 15 °C;
- l'evapotraspirazione, stimata con il metodo speditivo di Turc, in corrispondenza di ciascuna stazione pluviometrica, risulta compresa tra valori massimi di 650 e minimi di 550 mm/a;
- la precipitazione efficace calcolata varia da massimi di 1100 a minimi di 400 mm/a.

Questi valori, sommariamente riportati, paiono poco attendibili ma si possono considerare come utili dati di confronto.

La valutazione delle risorse sotterranee rinnovabili non è stata eseguita con calcoli indiretti, basati sui valori delle precipitazioni meteoriche, ma è stata calcolata dalla misura diretta delle portate erogate dalle sorgenti.

#### 4.3. METODI DI INDAGINE

I metodi di indagine che hanno portato alla redazione di questo documento cartografico si sono basati sull'analisi di due diversi aspetti dell'idrogeologia regionale e sul successivo confronto dei risultati. Il primo aspetto riguarda la geologia del territorio, che ha portato all'identificazione dei complessi idrogeologici, dotati di diverse caratteristiche e delle barriere idrauliche, che dividono il territorio in settori distinti. Il secondo aspetto riguarda l'analisi

dell'idrologia di superficie, basata sulla misura sistematica delle portate erogate dalle sorgenti puntuali e lineari e sulla misura del flusso di base, lungo l'intero reticolo idrografico perenne. Si è così valutata la portata media di lungo periodo.

Dal confronto tra l'assetto idrostrutturale (che delinea la presunta geometria degli acquiferi) e la distribuzione territoriale delle sorgenti è possibile apportare le opportune correzioni al quadro idrogeologico regionale, fino ad ottenere la più probabile configurazione degli acquiferi. Questo modello deve essere validato da verifiche di bilancio, che mettono a confronto la natura e l'estensione delle aree di alimentazione con la portata media erogata dalle sorgenti: dal confronto devono risultare attendibili valori dell'infiltrazione efficace.

Lo studio si conclude con l'identificazione del più probabile campo piezometrico, che delimita il settore saturo degli acquiferi ed evidenzia le direzioni di flusso e la posizione dei limiti di potenziale tra acquiferi contigui.

#### 4.4. ANALISI IDROGEOLOGICA DELL'ASSETTO STRATIGRAFICO E STRUTTURALE

Come risulta dalla legenda della Carta Idrogeologica sono stati identificati nove complessi idrogeologici: tre di questi (Complesso Basale dei calcari giurassici indifferenziati, Complesso della Maiolica e Complesso della Scaglia Calcarea) sono prevalentemente calcarei, hanno permeabilità elevata, notevole capacità di immagazzinamento e costituiscono pertanto i principali acquiferi regionali; sono indicati in carta con diverse tonalità di rosso. Altri tre (Complesso calcareo-silico-marnoso, Complesso delle Marne a Fucoidi e Complesso dei depositi marnoso-arenacei) sono caratterizzati da permeabilità trascurabile e hanno la funzione di dividere e di limitare i complessi calcarei; sono indicati in carta, rispettivamente con toni blu, verdi e grigi. I tre complessi più recenti (Complesso dei depositi fluvio-lacustri delle conche intramontane, Complesso dei depositi alluvionali indifferenziati e Complesso dei depositi detritici) sono tutti depositi di copertura che, nell'economia idrogeologica regionale, rivestono un ruolo secondario.

La stima della permeabilità dei complessi idrogeologici non è stata fatta in modo generico ed arbitrario (alta, media, bassa, ecc.) ma si è basata su criteri più oggettivi. Si sono considerati permeabili i complessi sicuramente dotati di una capacità di assorbimento delle acque meteoriche valutabile, perché sede di acquiferi che alimentano sorgenti perenni con portate significative. In altri termini il grado di permeabilità è stato stimato in base ai valori numerici dell'infiltrazione efficace calcolata.

Lo studio geologico del territorio si pone l'obiettivo di definire i reciproci rapporti di giacitura tra i complessi permeabili e i complessi con bassa permeabilità, in modo da identificare la natura e l'estensione delle aree di alimentazione e dei "serbatoi" e la configurazione dei loro limiti.

I tre complessi carbonatici costituiscono le principali aree di infiltrazione che alimentano gli acquiferi regionali. La locale situazione stratigrafica e strutturale condiziona la possibilità che nei tre complessi carbonatici si trovino acquiferi indipendenti, con aree di alimentazione identificabili e limiti ben definiti. Acquiferi indipendenti, costituiti da un solo complesso carbonatico, si riscontrano solo dove i complessi a bassa permeabilità, intercalati ai complessi calcarei, conservano una continuità ed integrità tale da garantire la chiusura idraulica dell'acquifero. Questa situazione non si riscontra al nucleo delle dorsali, dove la continuità del Complesso calcareo-silico-marnoso viene a mancare, per l'originaria situazione stratigrafica o per effetto della tettonica. Ne risulta che, ai nuclei delle anticlinali, il Complesso Basale si trova in contatto idraulico con il più esteso Complesso della Maiolica, tanto da costituire un unico acquifero indifferenziato.

Sebbene abbia uno spessore assai più limitato, il Complesso delle Marne a Fucoidi conserva notevole continuità ed integrità tanto da isolare, su gran parte del territorio, il Complesso della Maiolica da quello della Scaglia, prevalentemente diffuso alla periferia delle dorsali.

Dall'analisi dei rapporti stratigrafici e dell'assetto strutturale deriva una prima ipotesi di lavoro sulla geometria di acquiferi indipendenti, che possono essere costituiti da un solo o da più complessi permeabili. Questa ipotesi dovrà essere verificata da calcoli di bilancio, basati essenzialmente sui valori medi delle portate erogate in superficie dagli acquiferi identificati.

#### 4.5. BARRIERE IDRAULICHE

I limiti periferici degli acquiferi non si trovano solo in corrispondenza di contatti stratigrafici tra complessi con diversa permeabilità, ma anche lungo le principali linee tettoniche compressive, con direzione prevalentemente meridiana, dove si sono alterate le originali caratteristiche delle rocce coinvolte e dove si sono prodotte fasce milonitiche continue, che assumono il ruolo di barriere idrauliche. Queste suddividono le dorsali carbonatiche in settori indipendenti, dove la circolazione si sviluppa secondo direttrici prevalentemente meridiane. Dall'esame della Carta Idrogeologica risulta evidente che le barriere idrauliche, indicate con apposito simbolo nella carta derivata "Configurazione degli acquiferi e barriere idrauliche", sono in parte costituite da limiti idraulici posti al contatto tra complessi a diversa permeabilità e sono in parte costituite da motivi tettonici compressivi.

L'identificazione delle barriere idrauliche non è agevole dove mancano o sono carenti attendibili informazioni sulla quota del campo piezometrico (ad esempio nel settore meridionale della dorsale), mentre la loro presenza è molto evidente dove separano acquiferi contigui, con diverso potenziale.

#### 4.6. ANALISI DELL'IDROLOGIA DI SUPERFICIE

L'analisi dell'idrologia di superficie parte dall'identificazione del reticolo idrografico perenne, esclusivamente alimentato da apporti sorgivi.

Conviene qui richiamare una considerazione già fatta in altra sede (Boni et alii, 1993) e ormai comunemente accettata. Il regime di portata dei corsi d'acqua appenninici è dovuto all'apporto di due componenti chiaramente identificabili e valutabili. La prima componente è il ruscellamento di superficie, molto discontinuo, e strettamente legato al regime delle precipitazioni, che tende al totale esaurimento, in un tempo di pochi giorni dal termine dell'ultima precipitazione significativa. La seconda componente è il contributo del flusso di base, con regime molto più regolare, esclusivamente alimentato dagli apporti sorgivi, che garantiscono un flusso perenne. L'analisi dell'idrologia di superficie è servita a valutare il valore medio del flusso di base del reticolo idrografico perenne e di tutte le più significative sorgenti che lo

alimentano. Per ottenere questi risultati si sono eseguite campagne di misure di portata in sezioni opportunamente ubicate e ripetute nel tempo, in anni e stagioni differenti. In tutte le campagne si è adottato l'accorgimento di eseguire le misure sempre in condizioni meteorologiche favorevoli, in totale assenza di ruscellamento di superficie.

Questa indagine, per essere efficace, deve verificare che, in ogni sezione del reticolo perenne, la portata misurata corrisponda alla somma delle portate contemporaneamente erogate dalle sorgenti identificate, poste a monte. Se questa condizione non è soddisfatta, la campagna di misure deve essere ripetuta fino a raggiungere una ragionevole corrispondenza tra la portata erogata dalle sorgenti e il flusso di base misurato.

Questa analisi ha consentito di identificare le sorgenti e il loro regime di portata. Da tale studio è stata desunta la portata media erogata da ciascuna emergenza, indicata in un'apposita tabella a margine della Carta Idrogeologica. I dati acquisiti non sono omogenei perché le campagne di misura non sono state eseguite contemporaneamente sull'intero territorio considerato. Dall'analisi complessiva dei dati acquisiti risultano tuttavia caratteristiche comuni che è opportuno menzionare. Tutte le sorgenti hanno un regime di portata che risente sempre i ritmi stagionali (portate maggiori in primavera e minori in autunno), ma che risulta anche sensibilmente influenzato da variazioni di più lungo periodo, con ritmicità pluriennale. Manca ancora un dettaglio sufficiente per illustrare esaurientemente questo aspetto. Si può comunque anticipare che in alcuni anni (tra il 1990 e il 1992 e tra il 2002 e il 2004) si è registrato un generale abbassamento delle portate (in alcuni casi fino al loro totale esaurimento). La variazione è risultata più sensibile in corrispondenza di sorgenti con portate medie minori o poste a quote più elevate e meno sensibile in corrispondenza delle emergenze con portate medie più elevate o poste a quote più basse. In altri termini, in alcuni periodi si sono osservate magre severe, in altri un generale aumento delle portate. Queste variazioni sono ovviamente riferibili alla diversa consistenza degli apporti meteorici, che risentono di marcata variabilità di breve e di lungo periodo. Analoghe osservazioni si possono fare sulle oscillazioni del campo piezometrico.

Nell'area considerata sono state identificate e misurate 76 sorgenti significative (con portate medie variabili da un minimo di 10 ad un massimo di 1200 l/s) che erogano complessivamente una portata media di 11700 l/s.

#### 4.7 CAMPO PIEZOMETRICO

Su gran parte del territorio considerato è stato tracciato un probabile campo piezometrico, desunto dai dati attualmente disponibili. In carta sono indicati valori medi che possono subire modeste variazioni stagionali (dell'ordine dei metri) nell'ambito dello stesso anno, ma più ampie variazioni cicliche pluriennali (dell'ordine delle decine di metri). Questa variabilità risulta dalle osservazioni relative alle diverse quote di origine del flusso di base, negli alvei alimentati da una sorgente lineare.

Si può citare il caso delle sorgenti lineari che alimentano il flusso di base dell'alto corso del fiume Chienti e che hanno origine dalla vasta depressione di Colfiorito. In alcuni anni, nella rete di canali che drenano la pianura, si osserva un flusso costante che, attraverso una galleria artificiale, alimenta l'alto corso del fiume, a partire da una quota di 750 metri, durante l'intero arco dell'anno. In altri anni nell'alto corso del Chienti il flusso di base ha origine a quote molto inferiori, prossime a 650 metri. E' questa la massima escursione osservata, dovuta al particolare contesto idrogeologico locale; nel restante territorio le fluttuazioni pluriennali sono risultate molto più contenute.

Il campo piezometrico è stato tracciato basandosi essenzialmente sulle quote delle sorgenti più significative che alimentano il flusso di base con apporti regolari e continui e sulla geometria degli acquiferi. Si è inoltre considerato che il livello piezometrico deve sempre trovarsi ad una quota più bassa, rispetto alla quota di fondovalle, in tutte le incisioni che non sono alimentate da apporti sorgivi. La terza considerazione riguarda la coerenza tra l'estensione dell'area di alimentazione delle sorgenti e la loro portata media. Si identificano in tal modo limiti di potenziale (dove il campo piezometrico medio raggiunge un massimo relativo) che separano linee di flusso divergenti, dirette verso sorgenti diverse.

Il gradiente idraulico calcolato varia mediamente tra 20 e 50 metri per chilometro. Valori più bassi si riscontrano nelle zone più lontane dalle sorgenti e valori maggiori nei settori più prossimi alle emergenze.

I gradienti idraulici sono mediamente inferiori (20-30 m/km) negli acquiferi del Complesso della Maiolica e del Complesso Basale, prevalentemente posti al nucleo delle dorsali; i gradienti risultano nettamente più elevati (30-60 m/km) negli acquiferi della Scaglia Calcarea, distribuiti alla periferia delle strutture.

Da quanto sopra esposto risulta evidente che il campo piezometrico proposto è stato calcolato in modo indiretto e deve quindi essere considerato come un dato orientativo che necessita di verifiche puntuali, soprattutto nel caso di progetti che prevedano scavi nel settore saturo degli acquiferi riconosciuti.

#### 4.8. CONFIGURAZIONE DEGLI ACQUIFERI

La configurazione degli acquiferi è illustrata sulla Carta Idrogeologica e sintetizzata nella specifica carta derivata, posta a margine.

La vasta dorsale carbonatica, qui considerata, è delimitata ad oriente e ad occidente da barriere idrauliche continue che la isolano dalle dorsali carbonatiche contigue. Al suo interno si identificano chiaramente numerose barriere secondarie, tutte disposte secondo direttrici submeridiane.

La chiusura orientale è dovuta ad un motivo tettonico traslativo che produce l'accavallamento dei Complessi carbonatici mesozoici sul Complesso dei depositi marnoso-arenacei miocenici.

A nord-ovest la dorsale è chiusa da un limite di permeabilità molto netto, posto in corrispondenza del passaggio stratigrafico tra il Complesso della Scaglia Calcarea e il Complesso dei depositi marnoso-arenacei. A sud-ovest la chiusura è meno netta perché la situazione strutturale è più articolata e perché le coperture detritiche mascherano la barriera idraulica. Il drenaggio sotterraneo, in quest'area, è rivolto verso le sorgenti che danno origine al Fiume Clitunno e verso le sorgenti lineari che alimentano il suo corso per un lungo tratto.

A nord, la porzione di dorsale qui considerata, è nettamente separata dai rilievi più settentrionali (M. Cucco-M. Catria-M. Nerone, fuori carta), com'è già

stato messo in evidenza da studi precedenti (Boni e Mastrorillo, 1993 e Mastrorillo, 2001).

L'intera dorsale si può dividere in tre settori: settentrionale, centrale e meridionale.

#### Settore settentrionale

Nel settore settentrionale si identificano tre aree principali separate da barriere idrauliche ad andamento submeridiano. Ad occidente si trova il rilievo M. Maggio–M. Colle Croce, ad oriente il rilievo M. Corsegno–M. Primo e nel settore centrale la dorsale M. Puro–M. Cafaggio–M. Linguaro e la depressione di Campodonico.

La dorsale M. Maggio–M. Colle Croce, già considerata e descritta da Boni e Mastrorillo (1993) e Mastrorillo (2001), è posta al nucleo dell'articolata anticlinale che si estende da Fossato di Vico a Nocera Umbra. L'acquifero è costituito dal Complesso Basale e dal Complesso della Maiolica che in quest'area si trovano, in più punti, in sicura continuità idraulica per le discontinuità di natura stratigrafica e tettonica.

Il campo piezometrico, da una quota di poco superiore ai 600 m in corrispondenza di M. Maggio–M. Serra Santa–M. Penna, si deprime a quote di circa 500 m dove l'acquifero alimenta le sorgenti di Vaccara, Boschetto e S. Giovenale. Sul margine orientale la chiusura è assicurata dal fronte di accavallamento della Maiolica sulla Scaglia, marcato da un vistoso processo di laminazione che interessa anche il Complesso delle Marne a Fucoidi: tra i due complessi carbonatici si identifica una netta barriera idraulica che separa l'acquifero della Maiolica, con un potenziale di 600 m in corrispondenza di M. Penna, dall'acquifero della Scaglia con potenziali nettamente minori lungo la depressione di Campodonico.

La chiusura idraulica nel settore occidentale è assicurata dal Complesso delle Marne a Fucoidi che costituiscono una barriera continua. Il Complesso della Scaglia Calcarea, posta ai limiti della struttura, ospita un modesto acquifero che alimenta sorgenti lineari.

Il bilancio della dorsale M. Maggio–M. Colle Croce si può così riassumere: portata media erogata dalle sorgenti 0.980 m<sup>3</sup>/s; superficie dell'area di alimentazione 71 km<sup>2</sup>; infiltrazione efficace 434 mm/anno.

La dorsale M. Corsegno–M. Primo è costituita da un nucleo del Complesso Basale che affiora nell'area circostante la città di Pioraco, e da estesi affioramenti del Complesso della Maiolica e della Scaglia Calcarea. Questo settore, ad oriente, è delimitato da barriere idrauliche ben definite, in parte costituite dal Complesso delle Marne a Fucoidi e in parte da linee tettoniche compressive che mettono a contatto i calcari mesozoici con il Complesso dei depositi marnoso-arenacei. La chiusura occidentale è data dal motivo compressivo che corre lungo il fronte orientale dell'anticlinale M. Puro–M. Cafaggio–M. Linguaro. All'interno dell'area così definita si identificano diversi acquiferi separati sia da barriere idrauliche che da limiti di potenziale. L'acquifero più esteso alimenta il corso del Potenza da Fiuminata a Pioraco ed è costituito da tutti e tre i complessi carbonatici che si trovano in continuità idraulica. La chiusura meridionale è assicurata dal Complesso delle Marne a Fucoidi che, in corrispondenza di Sefro, separa settori della dorsale con potenziali sensibilmente diversi. Mentre l'acquifero che alimenta il Potenza ha un potenziale medio compreso fra i 450 e i 350 m, l'acquifero che alimenta l'alto corso dello Scarsito, tra Sorti e Sefro, ha potenziali che variano tra i 550 e i 500 m s.l.m.. La chiusura settentrionale è dovuta ad un limite di potenziale che separa il drenaggio diretto a sud, verso il Potenza, da quello diretto a nord, verso l'alto corso dell'Esino. Con i dati a disposizione non è parso opportuno distinguere il contributo all'alimentazione dato dalla Scaglia Calcarea da quello fornito dalla Maiolica.

Il bilancio di questo acquifero si può così riassumere: portata media erogata dalle sorgenti 0.97 m<sup>3</sup>/s; superficie di alimentazione 50 km<sup>2</sup>. Per il calcolo dell'infiltrazione efficace media sull'area di alimentazione alla portata complessiva delle sorgenti è stata sottratta la perdita di circa 160 l/s riscontrata nel basso corso dello Scarsito. Si è considerata, pertanto, una portata erogata dalle sorgenti di soli 0.810 m<sup>3</sup>/s. Da questi dati risulta un'infiltrazione efficace media di 506 mm/anno.

A nord dell'acquifero che alimenta il Potenza la situazione idrogeologica appare articolata da limiti di potenziale e da barriere idrauliche che separano settori di acquifero con diverso potenziale. Il nucleo dell'anticlinale di M. Corsegno alimenta il corso dell'Esino e del F.so di S. Giovanni, che conflui-

scono presso Esanatoglia. Nel settore più settentrionale, l'esteso affioramento di Scaglia Calcarea attraversato dal corso del Giano, tra Cancelli e Fabriano, risulta nettamente separato in due settori a diverso potenziale da una barriera idraulica, in parte dovuta ad un motivo compressivo e in parte alla presenza del Complesso delle Marne a Fucoidi. Ad occidente l'acquifero ha un potenziale variabile approssimativamente fra i 550 e i 400 m in corrispondenza del F.so di Valleremita e del T.te Giano, mentre ad oriente, il potenziale dell'acquifero della Scaglia, risulta variabile tra i 375 e i 350 m s.l.m.. Il settore centrale, che si estende da M. Pennino–M. Stinco a sud, fino a M. Puro e al F.so di Serradica a nord, è caratterizzato da una situazione idrostrutturale molto articolata. Si identifica un alto piezometrico di oltre 600 m (in corrispondenza di M. Giuoco del Pallone–M. Cafaggio), che si deprime progressivamente verso nord a quote comprese tra 550 m (all'altezza di Campodonico), di 450 m in corrispondenza del F. so di Serradica, e di 400 m in corrispondenza del T.te Giano. A sud di M. Cafaggio–M. L'Antica si osservano forti gradienti idraulici nel settore di acquifero che alimenta il F.so di Campodonico. All'altezza dell'abitato di Campodonico un limite di potenziale divide le direttrici di flusso dirette a settentrione da quelle dirette verso sud. Un marcato alto piezometrico (750 m s.l.m.) si riscontra in corrispondenza di M. Pennino e di M. Linguaro (700 m s.l.m.), separati da una barriera idraulica che divide due acquiferi a diverso potenziale. In corrispondenza di M. Pennino un limite di potenziale separa il flusso diretto verso nord da quello diretto verso sud. L'acquifero di M. Pennino alimenta, a nord, la sorgente Bagnara a quota 630 m e più a valle, il corso del Potenza e del F.so di Capodacqua. L'acquifero di M. Linguaro alimenta le sorgenti dell'alto corso del Potenza e la sorgente lineare del F.so di Laverino.

I settori meridionali dei rilievi di M. Pennino e di M. Linguaro ospitano due acquiferi indipendenti che confluiscono a quota 650 m circa, in corrispondenza di M. di Copogna. Nello stesso punto confluisce anche l'acquifero di Colfiorito che ha il suo alto piezometrico a 800 m di quota in corrispondenza di M. Tologna ed alimenta, a quote variabili tra 750 e 600 m, l'alto corso del Chienti. A valle di quota 600 m si identificano due direttrici di flusso, separate da un limite di potenziale. Una, diretta verso nord, alimenta la sor-

gente di S. Giovanni e l'alto corso dello Scarsito con una portata media complessiva di circa 1000 l/s; l'altra direttrice alimenta il corso del Chienti con sorgenti lineari che erogano una portata media di 375 l/s.

In sintesi si identifica un acquifero assai articolato alimentato dalle dorsali di M. Linguaro-M. Pennino e M. Tologna che alimenta sia il corso dell'alto Chienti, a monte di Serravalle, sia i consistenti apporti riscontrati nell'alto corso dello Scarsito.

Il bilancio di questo acquifero si può così riassumere: portata media erogata 1,290 m<sup>3</sup>/s; superficie dell'area di alimentazione 95 km<sup>2</sup>; infiltrazione media calcolata 427 mm/a.

#### Settore centrale

Nel settore centrale della dorsale si identifica un grande acquifero continuo che assume il suo massimo potenziale a circa 800 metri di quota in corrispondenza di Colfiorito-M. Tologna.

La recente tettonica distensiva, che ha interessato quest'area, ha infatti interrotto tutte le barriere idrauliche di origine stratigrafica e strutturale (riconoscibili nel settore settentrionale e meridionale) ed ha posto in contatto idraulico tutti i complessi carbonatici presenti.

L'acquifero di Colfiorito alimenta direttrici di flusso radiali, variamente orientate.

Verso nord si riconosce una direttrice che alimenta le sorgenti lineari dell'alto Chienti e dello Scarsito. Le sorgenti lineari del Chienti, distribuite tra quota 750 e 650 metri non sono sempre attive, ma risultano soggette a periodiche fasi di esaurimento. Erano attive tra il 1993 e il 1998, con portate medie consistenti; risultavano esaurite nel 2003/2004, quando il flusso di base del Chienti aveva origine a quota 600 metri.

L'acquifero di Colfiorito è soggetto a marcate oscillazioni piezometriche di lungo periodo, dell'ordine di diverse decine di metri: il campo piezometrico riportato in carta riflette i valori medi osservati negli ultimi 15 anni.

Verso ovest, l'acquifero di Colfiorito alimenta il corso del Topino, all'altezza di Nocera Umbra e in parte, le sorgenti di Capodacqua.

Verso sud questo acquifero alimenta le principali sorgenti del bacino del Menotre (Rasiglia ed Alzabove) poste a quota 650 metri circa. La sorgente

di Rasiglia ha un regime di flusso particolarmente irregolare che risente sia i ritmi stagionali che la variabilità di più lungo periodo. Le portate sono comprese tra minimi di poche centinaia di l/s e massimi di oltre 2000 l/s: poiché mancano registrazioni continue, risulta difficile valutare la portata media.

### Settore meridionale

Anche nel settore meridionale la configurazione degli acquiferi è molto articolata.

Si identificano due acquiferi sospesi ad alta quota ed un esteso acquifero basale suddiviso da barriere idrauliche.

L'acquifero sospeso di M. Siliolo-M. Catino si trova in corrispondenza di una sinclinale schiacciata ed asimmetrica a nucleo miocenico. Il modesto serbatoio è costituito dal Complesso della Scaglia Calcarea, sostenuto dalle Marne a Fucoidi. Il limite meridionale si trova all'altezza di M. Cammoro, dove si interrompe la continuità delle Marne a Fucoidi; i limiti settentrionali si trovano all'altezza di M. Catino, dove la sinclinale si chiude per l'effetto di un motivo compressivo. Questo acquifero alimenta con portate significative e relativamente costanti il corso del Fosso di Fauvella tra quota 800 e 720 metri. Lo stesso acquifero, più a nord (quota 625-600 metri), alimenta il corso del Menotre, tra Rasiglia e Serrone. Questo modesto apporto subalveo, di difficile determinazione, non è sempre osservabile.

L'acquifero sospeso di M. San Salvatore-M. Maggiore alimenta le sorgenti dell'Argentina, nella valle del Vigi. Questo acquifero risulta in continuità idraulica con il settore meridionale dell'acquifero di Colfiorito-M. Tologna che alimenta le sorgenti di Rasiglia; un limite di potenziale, posto a quota 750 metri, separa le due direttrici di flusso. L'area di alimentazione e il serbatoio sono costituite dal Complesso della Maiolica, sostenuto alla base dal Complesso calcareo-silico-marnoso, che in quest'area risulta particolarmente esteso e potente. Il potenziale assume valori massimi prossimi ai 700 metri e si deprime gradualmente verso sud fino ai 575 metri di quota in corrispondenza dalla sorgente Argentina. Il limite meridionale dell'acquifero è dovuto ad un motivo distensivo che corre tra M. Grande e M. Felcito.

Il bilancio del grande acquifero che alimenta le sorgenti di Rasiglia e dell'Argentina, da M. Tologna a M. Maggiore si può così sintetizzare: por-

tata media erogata dalle sorgenti 1565 l/s; area di alimentazione 115 km<sup>2</sup>; infiltrazione efficace media 418 mm/a.

L'acquifero basale che alimenta le sorgenti e l'alto corso del Clitunno è molto articolato e presumibilmente suddiviso in settori indipendenti.

Ad ovest, la dorsale M. Serrone–M. Matigge, costituita in parte dal Complesso Basale e in parte dai Complessi della Maiolica e della Scaglia è sicuramente saturo a quote relativamente basse, tra 275 e 225 metri s.l.m..

La dorsale M. Santo Stefano–M. Serano è saturo a quote molto più elevate, valutate circa 500 metri all'altezza del corso del Menotre. Il campo piezometrico si deprime verso l'alto corso del Clitunno con un gradiente medio di 20 metri per chilometro.

Di questa dorsale viene proposto un campo piezometrico semplificato, desunto dai pochi dati disponibili: è possibile che la situazione di dettaglio sia molto più articolata per la presenza di barriere idrauliche non evidenziate in questo studio.

Anche i rilievi di M. Carpegna e di M. Felcito contribuiscono all'alimentazione delle sorgenti del Clitunno e risultano saturi a quote variabili tra 350 e 225 metri.

L'alto corso del Clitunno è alimentato da sorgenti che erogano una portata media di 2040 l/s; la loro area di alimentazione si estende su una superficie di 137 km<sup>2</sup>; risulta un'infiltrazione efficace media di 471 mm/a.

#### 4.9. INFILTRAZIONE EFFICACE

I dati di letteratura sull'infiltrazione efficace nelle dorsali umbro–marchigiane sono scarsi e non sempre coerenti.

La maggior parte degli studi (Boni, Bono e Capelli, 1986; Boni e Mastrorillo, 1993; Boni e Petitta, 1994; Boni, Mastrorillo e Preziosi, 1994; Boni e Preziosi, 1994 e 1995; Mastrorillo, 1996; Boni, 2000) valuta l'infiltrazione efficace media nelle dorsali carbonatiche umbro-marchigiane tra 400 e 500 mm/a. Nella Scaglia Calcarea i valori calcolati sono sensibilmente inferiori ai valori medi.

Altri Autori (Giaquinto & Mattioli, 1991; Barchi et alii, 1996; Caprari e Nanni, 1999) propongono valori di infiltrazione efficace generalmente molto più elevati, soprattutto nei termini equivalenti al Complesso Basale.

Il metodo di calcolo diretto (volume medio annuo erogato dalle sorgenti rapportato all'area di alimentazione) sebbene sia soggetto ad errori di valutazione delle portate medie erogate dalle sorgenti e di delimitazione delle aree di alimentazione, è parso comunque più efficace di altri metodi indiretti. Le determinazioni sono tanto più attendibili quanto più è vasta l'area considerata.

L'area di alimentazione degli acquiferi più estesi è generalmente costituita da più complessi che contribuiscono, in diversa proporzione, al processo di infiltrazione. Ne consegue che il valore dell'infiltrazione nei singoli complessi non può essere valutata direttamente, ma solo stimata.

In particolare non è stato ancora possibile valutare quale sia un attendibile campo di valori dell'infiltrazione efficace nel Complesso Basale che costituisce sempre una porzione, generalmente limitata, dell'area di alimentazione estesa in corrispondenza dei nuclei delle dorsali. Si può solo stimare un valore, relativamente elevato, prossimo a quello attribuito al Complesso della Maiolica.

Il calcolo dell'infiltrazione efficace nel Complesso della Scaglia Calcarea ha fornito risultati interessanti (Mastrorillo, 2001) che risultano confermati da questo studio. Dai calcoli eseguiti si ricavano sempre valori medi inferiori a quelli calcolati per altri complessi carbonatici della successione umbro-marchigiana; risultano inoltre notevoli differenze nelle diverse strutture idrogeologiche considerate. Si passa da valori minimi di 120 mm/a a valori massimi di 365 mm/a. Queste differenze sono state attribuite prevalentemente all'abbondanza delle intercalazioni marnose che influenzano sia la litologia degli affioramenti, sia la tipologia delle deformazioni subite dalla Scaglia, durante l'orogenesi. Si è notata (Mastrorillo, 2001) una notevole differenza nei valori dell'infiltrazione efficace media tra la porzione della dorsale umbro-marchigiana settentrionale e la porzione meridionale, dove i valori medi calcolati risultano rispettivamente di 240 mm/a e di 470 mm/a.

Per la dorsale umbro-marchigiana settentrionale Caprari e Nanni (1999) hanno ottenuto valori di infiltrazione efficace media molto più elevati, di 420

mm/a così ripartiti: 155 mm/a per la Scaglia; 240 mm/a per la Maiolica e valori compresi tra 865 e 1160 mm/a per il Calcare Massiccio. La differenza di valutazione è presumibilmente dovuta a diverse modalità di calcolo delle aree di alimentazione, perché i valori medi di portata delle sorgenti, considerati nei due studi, non paiono molto diversi.

Si può dire in sintesi che un attendibile calcolo dell'infiltrazione efficace, con il metodo diretto, si fonda sull'accurata valutazione della portata media erogata dalle sorgenti e sulla corretta delimitazione delle rispettive aree di alimentazione. Con i mezzi attualmente disponibili questa valutazione risulta particolarmente laboriosa, soprattutto nel caso delle sorgenti lineari. I dati presentati in questo studio, sebbene imprecisi, forniscono un quadro sufficientemente coerente, esposto nella tabella seguente, che riassume i calcoli eseguiti su un'area di 488 km<sup>2</sup> pari a circa la metà dell'intero territorio considerato.

L'area di alimentazione dei diversi acquiferi considerati in tabella si ricava agevolmente dalla configurazione delle barriere idrauliche e dall'estensione del campo piezometrico.

Acquiferi	Portate medie (l/s)	Aree (km <sup>2</sup> )	Infiltrazione efficace media (mm/a)
M. Maggio - M. Croce	980	71	434
Sorgenti di Pioraco	810	50	506
Colfiorito - Chienti - Scarsito	.290	95	427
Colfiorito - Rasiglia - Argentina	565	118	418
Fosso Fauvella e Menotre	220	7	408
Clitunno	2.040	137	471
<i>Totale degli acquiferi considerati</i>	6.905	488	446
<i>Totale dell'intera dorsale</i>	11.780	918	405

Il valore dell'infiltrazione efficace calcolato per i principali acquiferi, prevalentemente costituiti dal Complesso Basale e dalla Maiolica, varia da 400 a 500 mm/a circa. Il valore medio calcolato sull'intera dorsale (compresi vasti affioramenti del Complesso della Scaglia Calcarea) è molto prossimo ai 400 mm/a.

#### 4.10. RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE RINNOVABILI E RISERVE PERMANENTI

Le risorse idriche sotterranee rinnovabili, che corrispondono alla portata media erogata dalle sorgenti, sono state valutate poco meno di 12 m<sup>3</sup>/s. Questa importante risorsa, costantemente rinnovata dal processo di infiltrazione, viene a giorno in modo sufficientemente distribuito nella maggior parte del territorio, ad eccezione del settore più meridionale, dove le acque sotterranee convergono verso le sorgenti e l'alto corso del fiume Clitunno. Non figurano in questo studio dati relativi alla "qualità" delle acque sorgive, che devono essere ricercati in altra sede. Si può dire tuttavia che la maggior parte delle risorse sorgive sono di ottima "qualità" perché si generano in un territorio sufficientemente integro che conferisce alle acque sotterranee un'equilibrata mineralizzazione bicarbonato-calcica, perfettamente idonea al consumo umano. Sono tuttavia note delle eccezioni (ad esempio le sorgenti del Clitunno e di Rasiglia) dovute alla notevole mineralizzazione ed alla concentrazione di solfati particolarmente elevata (Giaquinto & Mattioli, 1991 e Barchi et alii, 1996).

Oltre alle risorse sotterranee rinnovabili, che saturano i settori più epidermici degli acquiferi, posti a quote superiori alle quote delle emergenze naturali, le dorsali carbonatiche umbro-marchigiane immagazzinano enormi riserve permanenti, nei settori di acquifero posti a quote inferiori alla quota delle sorgenti. Queste riserve non emergono naturalmente in superficie, ma restano immagazzinate nelle strutture idrogeologiche. L'entità delle riserve permanenti appare evidente nei profili idrogeologici. Questo prezioso patrimonio, deve essere accuratamente conservato e tutelato: in particolare si devono evitare prelievi artificiali sconsiderati che provocherebbero modificazioni irreversibili agli equilibri idrogeologici con gravis-

sime conseguenze sulla usufruibilità delle risorse rinnovabili e sulle condizioni ambientali. Le riserve permanenti possono tuttavia essere utilizzate, con estrema cautela, come serbatoio di compenso, utile per rendere più usufruibile la risorsa rinnovabile disponibile.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- AMBROSETTI P., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. & PIERUCCINI U (1981) – *Schema di evoluzione neotettonica dell'area umbro-marchigiana fra il Tronto e il Metauro* – Rend. Soc. Geol. It. 4, pp. 471 – 475.
- ANGELINI P., DRAGONI W. (1997) - *The problem of modeling limestone springs: the case of Bagnara (North Apennines, Italy)* - GROUNDWATER, vol. 35, n 4, pp.612 - 618.
- AUTORI VARI (1991) – *L'ambiente fisico delle Marche* – Regione Marche Giunta Regionale Assessorato urbanistica. Ed. SELCA, Firenze.
- BALEK J. (1989) – *Groundwater resources assessment* Developments in water science, n 38, Amsterdam, Elsevier.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C., GHELARDONI R. (1986a) - *La tettonica di scollamento dell'Appennino Centrale* - Atti del 73 Congresso della Società Geologica Italiana, Roma 30 Settembre/4 Ottobre 1986, pp. 75-80.
- BALLY A.W., BURBI L., COOPER C., GHELARDONI R. (1986b) – *Balanced sections and seismic reflection profiles across the Central Apennines* – Atti del 73 Congresso della Società Geologica Italiana “Geologia dell'Italia centrale”. Mem. Soc. Geol. 35, pp. 257 – 310.
- BARCHI M., CONVERSINI P. & TAZIOLI (1996) - *Schema idrogeologico delle emergenze delle Fonti del Clitunno e del Tempio del Clitunno, Umbria Orientale* - Quaderni di Geologia Applicata, 3-1, pp. 37-48.
- BARCHI M., GUZZETTI F., LA VECCHIA G., LOLLI O. & BONTEMPO R. (1988) – *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-*

*marchigiano: 1) la sezione Trevi – Valle dell'Ambro – Boll. Soc. Geol. It. 107, pp. 109 - 130.*

BARCHI M., LA VECCHIA G., MENICETTI M., MINELLI G., PIALI G., NARDON S. (1991) - *Analisi della fratturazione del Calcare Massiccio in una struttura anticlinale dell'Appennino Umbro-Marchigiano* - Boll. Soc. Geol. It. **110**, pp. 101-124.

BARCHI M., LA VECCHIA G. & MINNELLI G. (1989) - *Sezioni geologiche bilanciate attraverso il sistema a pieghe umbro-marchigiano: 2) la sezione Scheggia – Serra S. Abbondio* - Boll. Soc. Geol. It. **108**, pp. 68 - 81.

BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F. (1983) - *The Umbria-Marche Apennines: an example of thrust and wrenching tectonics in a model of ensialic neogenic-quadernary deformation* - Boll. Soc. Geol. It. **102**, pp. 581 – 592.

BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MORATTI G., MICARELLI A., POTETTI M. (1986) - *Evoluzione dell'Appennino tosco-umbro-marchigiano durante il Neogene* – *Giornale di Geologia* **48**, pp.227-233.

BOILA P., MARCHETTI G. & MATTIOLI B. (1983) – *Lineamenti idrogeologici della struttura di Monte Cucco* - *Atti del Conv. Inter. "Carso di alta montagna"* Imperia 30 Aprile – 4 Maggio 1982.

BONI C.F. (2000) - *Les aquifères karstiques de l'Apennines Central* *Hidrogeologie*, **4**, pp. 49-62.

BONI C.F., BONO P. (1982) – *Prima valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace sui sistemi carsici della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese e nei sistemi di facies pelagica umbro-marchigiana-sabina (Italia Centrale)* - *Geologia applicata e idrogeologia*, **17**, Bari, pp. 427-436.

BONI C. F., BONO P., CAPELLI G. (1982) - *Valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace in un bacino carsico dell'Italia Centrale. Confronto con analoghi bacini rappresentativi di diversa litologia* - *Geologia applicata e idrogeologia*, **17**, Bari, pp. 437-451.

- BONI C.F., BONO P., CAPELLI G. (1986) - *Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale* - Memorie Società Geologica Italiana , **35** , pp. 991-1012.
- BONI C.F., BONO P., CAPELLI G., LOMBARDI S., ZUPPI G.M. (1986) - *Contributo all'idrogeologia dell'Italia Centrale: analisi critica e metodi di ricerca* - Mem. Soc. Geol. It., **35**, pp. 947-956.
- BONI C.F., FALCONE M., GIAQUINTO S., MARTINI E. & ZOPPI L. (1991) – *Risorse idriche sotterranee dei massicci carbonatici umbri* - In “Le acque sotterranee in Umbria”, a cura di Giaquinto S., Marchetti G., Martinelli A., Martini E. Pubbl. n 413 del GNDCI-CNR, Protagon edit.
- BONI C.F., MASTRORILLO L. (1993) – *Rilevamento idrogeologico dei Monti di Foligno* – Atti del Convegno “Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose” 24-25 Ottobre 1991, Brescia. Quaderni di sintesi 43 a cura dell’Azienda Servizi Municipali di Brescia.
- BONI C.F., MASTRORILLO L., PETITTA M. (1994) - *Scomposizione della portata dei corsi d'acqua dell'Appennino Marchigiano con il metodo delle portate mensili caratteristiche* - Quaderni di geologia applicata, **1**, Pitagora Bologna.
- BONI C.F., MASTRORILLO L., PREZIOSI E. (1994) - *Simulazione numerica di acquiferi carbonatici: l'esempio della struttura Monte Maggio- Monte Penna (Nocera Umbra)* - Geologica Romana, **30**, pp. 27-36.
- BONI C.F., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) – *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio* – Consiglio Nazionale delle Ricerche, Ufficio Pubblicazioni, Collana di Monografie Scientifiche, Roma.
- CALAMITA F. (1986) - *I back-thrust sul fronte montuoso dell'Appennino Umbro-Marchigiano* - Mem. Soc. Geol. It., **35**, pp. 539-545.
- CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. (1986) - *Evoluzione tettonico sedimentaria dell'area umbro-marchigiana dal Trias al Pleistocene* - Studi Geologici Camerti, volume speciale “La Geologia delle Marche”, pp. 89-90.

- CALAMITA F., DEIANA G. (1981) – *Contributo alle conoscenze strutturali dell'Appennino umbro-marchigiano: la tettonica polifasata* – Studi Geologici Camerti 2, pp. 7-15.
- CALAMITA F., DEIANA G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino Umbro-Marchigiano* - Mem. Soc. Geol. It., **35**, pp. 311-316.
- CALAMITA F., DEIANA G., INVERNIZZI C., PIZZI A. (1991) – *Tettonica - Da l'Ambiente fisico delle Marche, Regione Marche Assessorato Urbanistica*, pp. 69-80.
- CALAMITA F., PIZZI A., ROMANO A., ROSCIONI M., SCISCIANI V., VECCHIONI G. (1995) - *La tettonica quaternaria nella dorsale appenninica umbro-marchigiana: una deformazione progressiva non coassiale* - Studi Geologici Camerti Vol. Spec. 1995/1, pp. 203-223.
- CANTELLI C., MOSCA M. & TOMASSONI D. (1989) – *Indagine geologica volta all'individuazione del bacino idrogeologico della sorgente Gorgovivo* – Rapporto interno inedito del Consorzio Acquedotto Valle dell'Esino, Ancona.
- CAPRARI M. & NANNI T. (1999) – *Idrogeologia della dorsale carbonatica del M. Catria – M. Nerone (Appennino Umbro-marchigiano)* – Boll. Soc. Geol. It. **118**, pp. 313-326.
- CATTUTO C. (1976) – *Correlazione fra piani carsici ipogei e terrazzi fluviali nella valle del fiume Esino ( Marche)* – Boll. Soc. Geol. It. **95**, pp. 313-326.
- CENCETTI C., DRAGONI W., NEJAD MASSOUM M. (1989) - *Contributo alle conoscenze delle caratteristiche idrogeologiche del fiume Nera (Appennino Centro Settentrionale)* - Geologia Applicata e Idrogeologia, **24**, Bari, pp. 191-210.
- CENTAMORE E., CATENACCI V., CHIOCCHINI M., CHIOCCHINI U., JACOBACCI A., MARTELLI G., MICARELLI G. & VALLETTA M. (1976) – *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 291 Pergola, Carta idrogeologica* – Serv. Geol. d'It.

- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A., & PIERUCCINI V. (1969) – *Considerazioni preliminari su alcune serie mesozoiche dell'Appennino umbro-marchigiano* – Mem. Soc. Geol. It. 8 fasc. 3, pp. 237-263.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., DEIANA G., MICARELLI A., & PIERUCCINI V. (1971) - *Contributo alla conoscenza del Giurassico nell'Appennino Umbro Marchigiano* - Studi Geologici Camerti, 1, pp. 1-89.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DRAMIS F., GIARDINI G., JACOBACCI A., MARTELLI G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1979) – *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 301 Fabriano, Carta idrogeologica* – Servizio Geologico d'Italia.
- CENTAMORE E., DEIANA G., DRAMIS F., & PIERUCCINI V. (1978) – *Guida alle escursioni nelle aree di Costacciaro-Gualdo Tadino e di Colfiorito* – Ist. di Geologia Camerino Publ. 181 Progetto Finalizzato Geodinamica.
- CENTAMORE E., JACOBACCI A., MALFERRARI N., MARTELLI G. & PIERUCCINI U. (1973) – *Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio Cagli* – Serv. Geol. d'It.
- CENTAMORE E., JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1973) - *Modello strutturale Umbro-Marchigiano. Correlazioni con le regioni adiacenti* - Boll. Serv. Geol. d'It. 93, pp. 155-188.
- CENTAMORE E., MICARELLI A. (1991) – *Stratigrafia* - Da “L'Ambiente Fisico delle Marche”, Regione Marche, Giunta Regionale, Assessorato Urbanistica, Ed. S.El.Ca., pp. 5-58.
- CENTAMORE E., PAMBIANCHI G., DEIANA G., CALAMITA F., CELLO G., DRAMIS F., GENTILE B & NANNI T. (1991) - *Foglio 2, scala 1:100000* - Da l'Ambiente fisico nelle Marche, Regione Marche, Assessorato all'urbanistica. Ed. S.El.Ca
- CERETTI E. (1964) – *L'attuale stato delle conoscenze sulla geologia marchigiana* – Mem. Soc. Geol. It. 4 (1), pp. 483-522.

- CICCACCI S., D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., FREDI P. & PAMBIANCHI G. (1985) – *Geomorphological and neotectonic evolution of the Umbria-Marche Ridge, Northern Sector* – Studi Geologici Camerti **10**, pp. 7-15.
- CICCACCI S. D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., FREDI P. & PAMBIANCHI G. (1989) – *Studio geomorfologico del comprensorio di Valleremita (Appennino umbro-marchigiano)* – Studi Geologici Camerti **11**, pp. 49-65.
- CIPOLLARI P., COSENTINO D., PAROTTO M. (1995) - *Modello cinematico-strutturale dell'Italia Centrale* - Studi geologici Camerti, volume speciale 1995/2, pp. 135-143.
- COLACICCHI R., PASSERI L., & PIALLI G. (1970) - *Nuovi dati sul Giurese umbro-marchigiano ed ipotesi per un suo inquadramento regionale* - Mem. Soc. Geol. It., **9**, pp. 839–874.
- COOPER C. & BURBI L. (1986) – *The geology of the central Sibilline Mountains* – Mem. Soc. Geol. It. **35**, pp. 323-347.
- DEIANA G., DRAMIS F. & MORETTI A. (1970) – *Condizioni idrogeologiche delle formazioni mesozoiche e paleogeniche dell'Appennino marchigiano* – Atti del I Conv. Inter. sulle Acque Sotterranee Palermo 1970, pp. 240-247.
- DE FEYTER A.J., KOOPMAN A., MOLENAR N. & VAN DE ENDE C. (1986) – *Detachment tectonics and sedimentation, Umbro-Marchean Apennines, Italy* – Boll. Soc. Geol. **100**, pp. 271-278.
- DRAMIS F. & DEIANA G. (1969 -1972) – *Le sorgenti della provincia di Macerata* – Volume I (1969) Volume II (1972).- Cam. Com. Ind. Art. Agr.
- DUCHI V., PAOLILLO F. & PRANZINI G. (1987) – *Chimismo delle acque di Fabriano-Jesi: un elemento di conferma del sovrascorrimento intrapliocenico del fronte umbro-marchigiano* – Boll. Soc. Geol. It. **106**, pp. 525-535.
- GIAQUINTO S. & MATTIOLI B. (1991) – *Il bacino delle sorgenti del Clitunno: lineamenti idrogeologici e idrogeochimici* - In “Le acque sotterranee in

Umbria”, a cura di Giaquinto S., Marchetti G., Martinelli A., Martini E.  
Pubbl. n 413 del GNDICI-CNR, Protagon edit.

LAVECCHIA G. (1981) - *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano. 3) Lo stile deformativo* - Boll. Soc. Geol. It. **100**, pp. 271-278.

LAVECCHIA G. (1982) - *Confronto tra due sistemi a pieghe: l'Appennino Umbro-Marchigiano ed il Giura franco-svizzero* - Boll. Soc. Geol. It. **101**, pp. 69-76.

LAVECCHIA G., MINELLI G., PIALLI G. (1983) - *Strutture plicative minori dell'Appennino Umbro-marchigiano* Boll. Soc. Geol. It. **102**, pp. 95-112.

LAVECCHIA G., PIALLI G. (1980) - *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano: 2) La copertura* - Studi Geologici Camerti **6**, pp. 23-30.

LAVECCHIA G., PIALLI G. (1981) - *Appunti per uno schema strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano. 1) Il basamento* - Geologica Romana **20**, pp. 183-195.

LIPPI BONCAMPI C. (1948) - *La circolazione idrica sotterranea nei Sibillini centro-settentrionali (1° campagna 1947)* - La Ricerca Scientifica **18**, pp. 594-598.

LIPPI BONCAMPI C. (1953) - *Le risorgenti alimentate dal bacino carsico di Colfiorito* - I Congr. Intern. de Speleologie pp. 229-235 Parigi.

LOTTI B. (1926) - *Descrizione geologica dell'Umbria* Mem. Descr. Carta Geologica d'It. **21**, pp. 1-320.

MANFREDINI M. (1966) - *Sui rapporti fra facies abruzzese e facies umbra nell'Appennino centro-meridionale* - Boll. Serv. Geol. d'It., **86**.

MASTRORILLO L. (1996) - *Contributo alla valutazione delle risorse idriche sotterranee dell'Appennino carbonatico marchigiano* - Quaderni di Geologia Applicata, **3-1**, pp. 25-35.

- MASTRORILLO L. (2001) - *Elementi strutturali e caratteristiche idrogeologiche della dorsale carbonatica Umbro-Marchigiana interna* - Memorie Società Geologica Italiana, **56**, pp. 219-226.
- MENICHETTI M. (1987) – *Evoluzione spaziale e temporale del sistema carsico del Monte Cucco nell'Appennino Umbro-Marchigiano* – Atti del 15 Congr. Naz. di Speleologia Castellana Grotte 10-13 settembre.
- MENICHETTI M., SALVATORI F. & REICHENBACH G. (1988) – *Contribution des essais de multitracages à la définition de l'hydrostructure carbonatique de Monte Cucco et de la source Scirca* – Annales scientifiques de l'Université de Basacon Geologie, Memorie Hors Serie n 6.
- MENICHETTI M. (1992) – *La sezione geologica Cingoli-M. Maggio-Tevere nell'Appennino umbro-marchigiano: analisi cinematica e strutturale* – Studi Geologici Camerti Volume speciale “Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 03 Punta Ala-Gabicce”.
- MERLA G. (1954) – *Geologia dell'Appennino settentrionale* - Boll. Soc. Geol. It. **70**, pp. 92-382.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1921-1976) – *Annali idrologici (parte prima e seconda)* – Pubbl. Serv. Idrografico Sezioni di Roma e Bologna, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1966) – *Distribuzione della temperatura dell'aria in Italia nel trentennio 1926-55* – Pubbl. Serv. Idrografico 21.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1968) – *Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921-50* – Pubbl. Serv. Idrografico 24.
- NANNI T. (1991) - *Caratteri idrogeologici delle Marche* - Da l'Ambiente fisico delle Marche, Regione Marche Assessorato Urbanistica Ed. S.El.Ca. Firenze, pp. 117-209.

- PASSERI L. (1972) – *Stratigrafia e sedimentologia dei calcari giurassici di Monte Cucco* – Geologica Romana X, pp. 93-130.
- PASSERI L. (1975) - *L'ambiente deposizionale della formazione evaporitica nel quadro della paleogeografia del Norico tosco-umbro-marchigiano* – Boll. Soc. Geol. It., **94**, pp. 231-268.
- PASSERI L. (1994) - *Guide geologiche regionali della Società Geologica Italiana, Appennino umbro-marchigiano* – BE.MA editrice.
- 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. di Agr. Ind. e Comm. Mem. Illustrative della carta Idrografica d'It. 35, Roma.
- PIALLI G. (1971) – *Geologia delle formazioni giuresi dei monti ad est di Foligno* – Geologica Romana IX, pp. 1-30.
- SANTANTONIO M. (1993) - *Facies associations and evolution of pelagic platform/basin system: examples from the italian Jurassic* - Sedimentology, **40**, pp. 1039- 1067.
- SCARSELLA F. (1931) - *Sulla geologia della Valle dell'Ussita (Sibillini Settentrionali)* - Boll. Soc. Geol. It., **50**, pp. 143-170.
- SCARSELLA F. (1946) - *Di un motivo tettonico dell'Appennino Centrale Umbro Marchigiano* - Boll. Soc. Geol. It., **65**, pp. 21-23.
- SCARSELLA F. (1951) - *Un aggruppamento di pieghe nell'Appennino Umbro-Marchigiano. La catena di M. Nerone- M. Catria-M. Cucco-M. Penna-Colfiorito-M. Serano* - Boll. Serv. Geol. It., **73**, (2 fasc.) n. 10, pp. 307-320.
- SELLI R. (1951) - *I caratteri geologici della regione marchigiana* - Giornale di Geologia, ser. 2, **21**, pp. 99-125.

SELLI R. (1961) - *Le risorse idriche per uso potabile della provincia di Pesaro* – Cam. Com. Ind. Art. Agr. di Pesaro.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1952-67) – *Carta Geologica d'Italia 1:100.000* – Fogli 116, 117, 123 e 124. Roma.

TAVERNELLI E. (1995) - *Controllo delle faglie dirette giurassiche e cretaceo-paleogeniche sullo sviluppo dei sovrascorrimenti neogenici dell'Appennino umbro-marchigiano* - Studi Geologici Camerti, volume speciale (1995/1), pp. 601- 609.