

Regione Umbria - Giunta Regionale
Direzione Regionale Ambiente,
Territorio e Infrastrutture
Servizi Tecnici Regionali
Responsabile Progetto A. Boscherini
Responsabile Scientifico R. Checcucci

Dipartimento di Scienze della Terra
Laboratorio di idrogeologia quantitativa
Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

CONTRATTO DI RICERCA

*"Redazione informatizzata della cartografia idrogeologica
tematica del territorio della Regione Umbria"*

Responsabili Scientifici
C. Boni e M. Petitta

REDATTO DA
Tiziana Baldoni
Francesca Banzato
Doredana Cascone
Lucia Mastrorillo

Aprile 2008

1.	INTRODUZIONE.....	3
2.	CENNI DI GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA REGIONALE	6
2.1.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE	6
2.1.1.	DOMINIO CARBONATICO.....	6
2.1.2.	DOMINIO VULCANICO	7
2.2.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	8
2.2.1.	DOMINIO CARBONATICO.....	8
2.2.2.	DOMINIO VULCANICO	10
3.	BASE CONOSCITIVA	12
3.1.	BASE CARTOGRAFICA	13
3.2.	DATI IDROGEOLOGICI	15
3.2.1.	RAPPORTI E RELAZIONI COMMISSIONATI DALLA REGIONE AD ALTRI SOGGETTI.....	16
3.2.2.	MISURE DIRETTE DI PORTATA ESEGUITE DALLA REGIONE UMBRIA.....	17
3.2.3.	DATI DEL MONITORAGGIO QUANTITATIVO ESEGUITO DALL'ARPA	17
3.2.4.	PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE E CARTE TEMATICHE PREESISTENTI.....	18
4.	METODOLOGIA.....	19
4.1.	METODO DI VALUTAZIONE DELL'INFILTAZIONE EFFICACE.....	20
4.2.	INDIVIDUAZIONE DELLE IDROSTRUTTURE	22
4.3.	CALCOLO DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO	24
5.	ANALISI DEGLI IDROGRAMMI DELLE SORGENTI	26
5.1.	SORGENTE RASIGLIA ALZABOVE	29
5.2.	SORGENTE SAN GIOVENALE	33
5.3.	SORGENTE CAPO D'ACQUA DI NOCERA UMBRA	36
5.4.	SORGENTE LUPA	39
5.5.	SORGENTE BAGNARA.....	42
5.6.	SORGENTE CAPODACQUA DI FOLIGNO	45
5.7.	CONFRONTO DELLE DIVERSE SORGENTI	48
6.	CARTA IDROGEOLOGICA DEL DOMINIO CARBONATICO E VULCANICO	50
6.1.	CONTENUTI DELLA CARTA.....	51
6.2.	COMPLESSI IDROGEOLOGICI.....	54
6.3.	SCHEMA DEI RAPPORTI FRA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA, COMPLESSI IDROGEOLOGICI E ACQUIFERI	60
6.4.	SORGENTI	62
6.5.	MODELLO CONCETTUALE DELL'ACQUIFERO VULCANICO.....	64
7.	CARTA DELLE IDROSTRUTTURE CARBONATICHE UMBRE.....	67
7.1.	CONTENUTI DELLA CARTA.....	68
7.2.	PORTATA DI MAGRA ORDINARIA E PORTATA MINIMA.....	71
7.3.	BILANCIO IDROGEOLOGICO.....	72
7.4.	INFILTRAZIONE EFFICACE	74
8.	STRUTTURE IDROGEOLOGICHE	76
8.1.	IDROSTRUTTURA N° 1: MONTE CUCCO	78
8.2.	IDROSTRUTTURA N° 2: MONTE MAGGIO	80
8.3.	IDROSTRUTTURA N° 3: MONTE PENNINO	82
8.4.	IDROSTRUTTURA N° 4: MONTE FAETO	83
8.5.	IDROSTRUTTURA N° 5: MONTE AGUZZO – MONTE MATIGGE	84
8.6.	IDROSTRUTTURA N° 6: MONTE SANTO STEFANO – MONTE BRUNETTE.....	85
8.7.	IDROSTRUTTURA N° 7: MONTE SILIOLO – MONTE CARPEGNA – MONTE GALENNE	87
8.8.	DRENAGGIO SOTTERRANEO VERSO LA VALLE UMBRA	88
8.9.	IDROSTRUTTURA N° 8: MONTE SAN SALVATORE – MONTE MAGGIORE	89
8.10.	AREA DI RICARICA PREFERENZIALE DI COLFIORITO	90

8.11.	IDROSTRUTTURA N° 9: MONTE CAVALLO	91
8.12.	IDROSTRUTTURA N° 10: MONTE ASPRA – MONTE COSCERNO	92
8.13.	IDROSTRUTTURA N° 11: MONTE TOLENTINO – MONTE CAVOGNA.....	93
8.14.	IDROSTRUTTURA N° 12: MONTE BOVE.....	95
8.15.	IDROSTRUTTURA N° 13: MONTE SOLENNE - FERENTILLO	97
8.16.	IDROSTRUTTURA N° 14: MONTE TERMINILLO.....	98
8.17.	IDROSTRUTTURA N° 15a: MONTI MARTANI	99
8.18.	IDROSTRUTTURA N° 15b: MONTI DI NARNI E AMELIA	100
8.19.	IDROSTRUTTURA N° 15c: MONTI DI SPOLETO	101
8.20.	IDROSTRUTTURA N° 15d: MONTI SABINI.....	102
8.21.	SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLE SORGENTI DI STIFONE MONTORO	103
8.22.	IDROSTRUTTURA N° 16: MASSICCI PERUGINI.....	104
8.23.	IDROSTRUTTURA N° 17: MONTI DI GUBBIO.....	105
8.24.	IDROSTRUTTURA N° 18: MONTE SUBASIO.....	106
9.	SEZIONI IDROGEOLOGICHE INTERPRETATIVE	107
9.1.	SEZIONE A – A’	109
9.2.	SEZIONE B – B’	110
9.3.	SEZIONE C – C’	111
9.4.	SEZIONE D – D’	112
9.5.	SEZIONE E – E’	113
10.	PROBLEMATICHE APERTE E PROSPETTIVE DI RICERCA.....	114
11.	CONCLUSIONI.....	117
	BIBLIOGRAFIA GEOLOGICA	121
	BIBLIOGRAFIA IDROGEOLOGICA	124
	BIBLIOGRAFIA IDROGEOLOGICA: RAPPORTI TECNICI INEDITI	128

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra i risultati di un contratto di studio e ricerca condotto su richiesta della Regione Umbria, Servizi Tecnici Regionali, da parte del Laboratorio di Idrogeologia Quantitativa del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza". Lo studio è stato impostato dal Prof. Carlo Boni, recentemente scomparso, sulla base delle informazioni quantitative raccolte sotto la sua guida durante gli ultimi 25 anni, durante i quali sono state realizzate numerose campagne di misura diretta della portata di sorgenti e corsi d'acqua, prevalentemente nel dominio carbonatico umbro. Le attività sono state portate a termine sotto la responsabilità scientifica del Prof. Marco Petitta, designato dal Dipartimento di Scienze della Terra in sostituzione del Prof. Boni.

Lo studio ha avuto l'obiettivo di valutare le risorse idriche sotterranee disponibili in regime di magra ordinaria e in periodo di crisi idrica nel dominio carbonatico e vulcanico del territorio della Regione Umbria, a partire dalla valutazione della portata erogata dalle sorgenti, per arrivare alla stesura del calcolo del bilancio idrogeologico con il metodo diretto, in funzione del riconoscimento delle aree di alimentazione delle sorgenti appartenenti a strutture idrogeologiche distinte.

I dati di partenza analizzati, prevalentemente inediti, sono costituiti da misure di portata sorgiva e fluviale relative a oltre 25 anni di attività pregressa nel settore appenninico umbro-marchigiano. Le informazioni suddette sono state integrate con tutte le banche dati messe a disposizione dalla Regione Umbria, relative ad altre ricerche condotte da soggetti pubblici e privati e ad informazioni provenienti da Enti e Istituzioni operanti sul territorio. Il lavoro ha quindi comportato non soltanto una revisione critica delle informazioni disponibili, ma anche la loro omogeneizzazione e confronto, laddove possibile, per ottenere un quadro informativo che coniugasse l'approccio a scala regionale con quello di dettaglio relativo a singole idrostrutture.

L'analisi condotta sui dati, integrata dallo studio delle influenze dell'assetto geologico-strutturale sulla circolazione idrica sotterranea, per mezzo della definizione dei complessi idrogeologici e dei limiti idrostrutturali, ha consentito la stesura di bilanci idrologici aggiornati, la definizione dei principali acquiferi regionali e l'individuazione delle principali strutture idrogeologiche (idrostrutture) sede di circolazione idrica distinta.

La metodologia utilizzata, basata sul calcolo di bilancio con metodo diretto (valutazione delle portate erogate, individuazione dell'area di ricarica e conseguente valutazione dell'infiltrazione efficace come rapporto dei primi due parametri), ha permesso di evitare calcoli quantitativi basati sui parametri climatici, quali precipitazione ed evapotraspirazione, la cui determinazione risente

delle variazioni spatio-temporali dei fenomeni succitati, nonché della loro estrapolazione ad un territorio vasto e caratterizzato da quote topografiche molto variabili.

I risultati attesi sono stati raggiunti nel corso del lavoro e vengono sintetizzati, oltre che dalla presente relazione, da elaborati cartografici allegati che rappresentano il prodotto più rilevante della ricerca svolta. In particolare, la Carta Idrogeologica (Allegato 1A-1B) contiene l'individuazione delle principali sorgenti (portate di magra ordinaria superiore a 30 l/s), dei complessi idrogeologici presenti sul territorio, dei principali pozzi e perforazioni e dello stato di utilizzo della risorsa. La Carta delle Idrostrutture (Allegato 2), da considerarsi come il prodotto maggiormente innovativo, riassume i bilanci idrogeologici per ogni idrostruttura riconosciuta, dotata ognuna di circolazione idrica sotterranea distinta, con il riconoscimento delle linee di deflusso principali, delle possibili aree di alimentazione delle sorgenti e delle principali barriere idrauliche che ne condizionano il flusso sotterraneo. Infine, Sezioni Idrogeologiche Interpretative appositamente realizzate illustrano le caratteristiche del deflusso in funzione dell'assetto geologico-strutturale e della profondità (Allegato 3).

In definitiva, questi prodotti cartografici descrivono un modello idrogeologico concettuale della circolazione idrica sotterranea nei domini carbonatico e vulcanico della Regione Umbria, appositamente elaborato sulla base delle conoscenze pregresse, basato sulle metodologie dell'idrogeologia quantitativa.

Rimandando ai singoli capitoli sia per la descrizione della metodologia che dei risultati dettagliati, in questa sede è opportuno specificare che lo studio è stato condotto con scopi prettamente applicativi, al fine di offrire strumenti conoscitivi utili e direttamente utilizzabili per la gestione della risorsa idrica a scala regionale. Va inoltre sottolineato che lo studio ha considerato un approccio multiscala, a partire dall'esame dell'intero dominio carbonatico e vulcanico, attraverso l'analisi dei principali processi che ne condizionano l'idrogeologia, per giungere ad un'applicazione a scala delle singole idrostrutture, sempre comunque inquadrata in un'ottica di gestione a scala regionale.

In altre parole, l'analisi è stata condotta a scala delle idrostrutture, diverse delle quali sono state in questa sede individuate e caratterizzate idrogeologicamente per la prima volta, ma al contempo i risultati hanno tenuto in considerazione le influenze reciproche, sia tra idrostrutture limitrofe (scambi tra idrostrutture) che in termini di comportamento idrogeologico (valori di infiltrazione efficace dei diversi complessi e acquiferi regionali); il tutto con l'obiettivo di superare un approccio dedicato alla singola porzione di territorio, senza rinunciare al grado di dettaglio minimo necessario per il governo della risorsa idrica sotterranea a scala regionale.

Il risultato finale, pur non avendo la pretesa di offrire soluzioni specifiche a problemi di gestione della risorsa e sollevando dubbi e necessità di ulteriori approfondimenti per singole aree, vuole rappresentare un documento di sintesi a scala regionale, allo stesso tempo abbastanza articolato territorialmente, che possa consentirne una diretta fruizione da parte degli Enti preposti.

2. CENNI DI GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA REGIONALE

2.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE

Le aree carbonatiche e vulcaniche del territorio della Regione Umbria appartengono a domini geologico-strutturali nettamente differenti. Si è ritenuto opportuno fornire solo una sintesi, estremamente concisa, delle principali informazioni di carattere geologico – strutturale dei due domini oggetto di questo studio. Si rimanda alla vasta letteratura esistente sull'argomento e riassunta in bibliografia per qualsiasi eventuale approfondimento.

2.1.1. DOMINIO CARBONATICO

La porzione umbra della catena carbonatica appenninica appartiene al vasto dominio geologico - strutturale dell'Appennino umbro – marchigiano, compreso fra il dominio umbro interno ad W e l'avanfossa marchigiana dove affiorano prevalentemente le successioni emipelagiche e torbiditiche. I nuclei carbonatici della Dorsale Narnese – Amerina, dei Monti Martani, di Monte Subasio, dei Monti di Gubbio e dei Massicci Perugini emergono dai depositi terrigeni del dominio umbro interno ad W della catena carbonatica vera e propria.

Le rocce carbonatiche più antiche, in affioramento nel territorio studiato, sono riferibili al Trias superiore (“Marne a Rhaetavicula Contorta” e “Anidriti di Burano”) e giacciono sotto il Calcere Massiccio del Lias inferiore, tipico deposito di piattaforma carbonatica. Sul substrato liassico, fortemente disarticolato dalla tettonica distensiva, si è depositata fino al Miocene la ben nota successione carbonatica pelagica umbro-marchigiana. Tale successione è caratterizzata da un'evidente disomogeneità dei sedimenti giurassici, legata ai differenti ambienti deposizionali di quel periodo (sedimentazione su alti e bassi strutturali). Le locali differenze dello spessore e dei caratteri litologici e paleontologici delle formazioni giurassiche, hanno portato alla distinzione di una successione umbro – marchigiana “completa” (quando sono presenti le formazioni tipiche di basso strutturale) e di una successione “ridotta” e “condensata” (quando le formazioni presentano spessori limitati e lacune di sedimentazione, tipici di ambienti deposizionali di alto strutturale). In particolare per “condensata” si intende la successione in cui i depositi giurassici sono rappresentati dalla Formazione del Bugarone che, su alcuni alti strutturali, sostituisce tutte le formazioni comprese fra Rosso Ammonitico e Maiolica.

L'assetto strutturale dell'Appennino Umbro - Marchigiano è quello tipico di una catena a pieghe e sovrascorrimenti a vergenza orientale. Le pieghe, fortemente asimmetriche, sono costituite da

anticlinali (con cresta piatta e fianchi orientali da verticali a rovesciati) e da strette sinclinali. Il fianco orientale delle pieghe è generalmente interessato da sovrascorrimenti e faglie inverse, a cui frequentemente si associano zone di taglio trascorrenti N-S destre e E-W sinistre. Nel settore settentrionale (che si estende prevalentemente in territorio marchigiano) e centrale i piani di sovrascorrimento hanno direzione da NW–SE a NNW–SSE e sono puramente compressivi; nel settore meridionale hanno direzione NNW–SSE e prevale la componente transpressiva destra.

Allo stile tettonico compressivo si associano e si sovrappongono gli effetti della tettonica distensiva pliocenico-quadernaria, che ha ribassato ampi settori carbonatici originando, all'interno della dorsale, vaste depressioni intramontane, successivamente colmate dai depositi fluvio – lacustri (Piani di Colfiorito, Piani di Castelluccio, Piana di Norcia, Piana di Cascia).

2.1.2. DOMINIO VULCANICO

Il settore sud occidentale del territorio umbro è stato interessato da espandimenti di lave leucititiche e da grandi flussi piroclastici di composizione trachi – fonolitica provenienti da centri localizzati sul versante est dei monti Vulsini, fuori dal territorio umbro. Le successioni vulcaniche poggiano in genere su successioni marine e marino - salmastre plio – pleistoceniche, che a loro volta ricoprono in discordanza successioni prevalentemente torbiditiche ad affinità toscana (Macigno, Scaglia Toscana) e umbra (Marnoso – Arenacea, Schlier) (De Rita, 1993; Sposato et alii, 1993).

2.2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

2.2.1. DOMINIO CARBONATICO

Il dominio carbonatico umbro appartiene al grande “Gruppo idrogeologico dei Monti dell’arco umbro – marchigiano” individuato da Boni et alii (1986). I risultati del bilancio idrogeologico fornito dagli Autori possono essere considerati tuttora validi a scala regionale. Per l’intera struttura è stata misurata una portata complessiva in uscita di 58,6 m³/s, di cui circa l’80% emergente in corrispondenza di sorgenti lineari, considerando un’area di ricarica complessiva di 3460 km²; l’infiltrazione efficace media calcolata per l’intero Gruppo idrogeologico è di circa 530 mm/anno.

Le ricerche di idrogeologia quantitativa regionale, che questo Dipartimento ha condotto dal 1990 al 2007 sotto la guida del Prof. Boni, hanno notevolmente approfondito il dettaglio delle conoscenze idrogeologiche dell’Appennino carbonatico umbro-marchigiano; risultati ottenuti da circa un ventennio di studi sono ampiamente descritti nei numerosi lavori riportati in bibliografia.

Le risorse idriche sotterranee della Regione Umbria sono state valutate complessivamente pari a circa 40 m³/s (Boni et alii,1991). Gli Autori suddividono gli affioramenti carbonatici umbri in sette strutture idrogeologiche ben definite (Figura 1.1), di cui valutano la potenzialità idrica e calcolano il bilancio idrogeologico (Tabella 1.1).

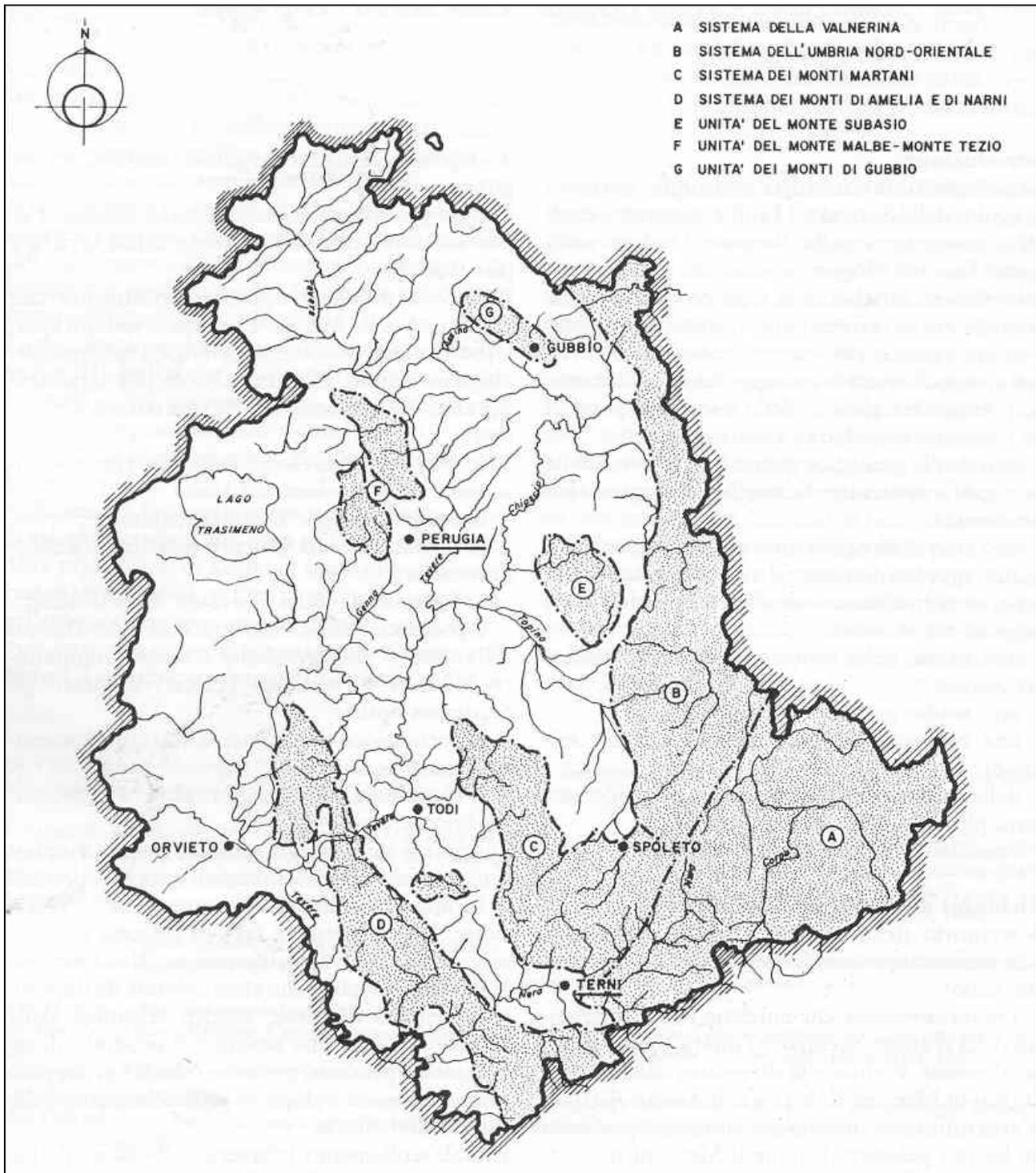


Figura 1.1 Distribuzione geografica delle strutture carbonatiche umbre (da Boni et alii, 1991).

I rapporti stratigrafici e le caratteristiche strutturali del dominio umbro-marchigiano danno origine ad un assetto idrogeologico regionale caratterizzato dall'esistenza di acquiferi separati, variamente articolati e con possibili reciproche interconnessioni idrauliche locali. E' noto che la successione stratigrafica umbro-marchigiana è costituita da un'alternanza di formazioni prevalentemente calcaree, che costituiscono i complessi idrogeologici potenzialmente sede di acquiferi, e di formazioni marnoso-argillose con funzione di aquiclude e aquitard.

	Superficie	Precipitazione media annua (P)	Infiltrazione presunta (I)		Ruscellamento 10% di P (R)		Evapotraspirazione calcolata per differenza E = P - (I + R)	
			% P	mm/a	m ³ /s	mm/anno	mm/anno	% P
	km ²	mm/anno	% P	mm/a	m ³ /s	mm/anno	mm/anno	% P
“A” Valnerina	1.076	1.001	50	500	17,1	100	401	40
“B” Umbria N-E	647	1.127	50	564	11,6	113	450	40
“C” Monti Martani	238	1.105	50	553	4,2	110	442	40
“D” monti Narni – Amelia	277	1.048	50	629	5,5	105	314	40
“E” Monte Subasio	48	951	50	476	0,7	95	380	40
“F” Monte Malbe-Tezio	63	805	50	403	0,8	81	321	40
“G” Gubbio	16	1.037	50	519	0,26	104	414	40

Tabella 1.1 *Calcolo del bilancio idrogeologico basato sull'infiltrazione presunta dedotta dai coefficienti di infiltrazione regionali (da Boni et alii, 1991).*

A scala regionale è stata riconosciuta una circolazione idrica, generalmente più profonda, all'interno dei complessi idrogeologici costituiti dalle formazioni del Calcarea Massiccio, della Corniola e della Maiolica ed una circolazione idrica generalmente meno profonda, all'interno del complesso della Scaglia calcarea (Scaglia bianca e Scaglia rossa) (Boni et alii, 2005). Soprattutto nel territorio umbro risulta ben evidente la netta distinzione dei nuclei delle anticlinali, prevalentemente calcarei, circondati dalla cintura impermeabile delle Marne a Fucoidi e contenenti acquiferi basali più o meno estesi, dalla fascia periferica della Scaglia calcarea sede di una circolazione idrica generalmente indipendente (Mastrorillo, 2001) in genere limitata dalla formazione della Scaglia Cinerea.

2.2.2. DOMINIO VULCANICO

La potenzialità idrica della porzione umbra (circa 100 km²) dell'estesa struttura idrogeologica vulsina, che ricade prevalentemente nel territorio della Regione Lazio, è stata valutata in circa 800 l/s, di cui 300 l/s alimentano la Valle del Fiume Paglia, emergendo in sorgenti puntuali (circa 100 l/s) e in sorgenti lineari (200 l/s); i restanti 500 l/s alimentano, fuori regione, le sorgenti di Bolsena e il lago stesso (Regione dell'Umbria, 1991).

L'assetto idrogeologico dei Monti Vulsini è governato essenzialmente da motivi strutturali e solo secondariamente dalle caratteristiche di permeabilità dei vari complessi idrogeologici di origine vulcanica. Le culminazioni del substrato prevulcanico determinano la distribuzione spaziale degli alti piezometrici intorno alla depressione del Lago di Bolsena. Questi rilievi sepolti corrispondono ai limiti a flusso nullo dei bacini idrogeologici che alimentano i principali punti di recapito della falda basale (Capelli et alii, 2005). Gli Autori individuano uno spartiacque sotterraneo fra Castel

Giorgio e Bagnoregio che separa il bacino di alimentazione del Fiume Marta – Lago di Bolsena da quello dei Monti Vulsini nordorientali; per il bacino idrogeologico umbro gli stessi Autori, valutano un'infiltrazione efficace di 220 – 240 mm/anno.

3. BASE CONOSCITIVA

Lo studio ha interessato un'area di circa 3.200 km², che si estende prevalentemente nel settore sudorientale della regione e prosegue parzialmente anche in territorio extra-regionale (Marche e Lazio). Quest'area corrisponde ai rilievi dell'Appennino umbro – marchigiano centro-meridionale, dove affiorano prevalentemente le formazioni della successione carbonatica umbro-marchigiana. Solo una piccola parte di territorio studiato (circa 100 km², ubicati lungo il confine sudoccidentale) è costituito da affioramenti vulcanici e corrisponde alla porzione umbra del sistema vulcanico vulsino.

Il settore centrale e nordoccidentale della regione, corrispondente alle valli alluvionali del Tevere e del Chiascio, alla Valle Umbra, ai rilievi collinari costituiti prevalentemente dalle formazioni terrigene mioceniche e alle aree di affioramento dei depositi marini pliocenici, non è stato oggetto del presente studio idrogeologico.

3.1. BASE CARTOGRAFICA

L'obiettivo finale di questo studio è stata la realizzazione, informatizzata, di prodotti cartografici tematici utilizzabili dai tecnici regionali, come strumenti operativi nelle fasi di programmazione e pianificazione delle risorse idriche regionali. Per tale motivo si è ritenuto necessario e quanto mai opportuno scegliere, come basi cartografiche di partenza, quelle utilizzate dagli uffici tecnici della Regione stessa.

I Servizi Tecnici Regionali, grazie alla collaborazione del Dottor Roberto Checcucci, hanno messo a disposizione dello studio idrogeologico il seguente materiale cartografico, fornito su supporto informatico:

- Base topografica IGM, scala 1:100.000;
- Carta idrogeologica della Regione Umbria, scala 1:100.000 (Boscherini et alii, 2005a);
- Carta geologica, scala 1:50.000 Foglio 299 Umbertide e Foglio 336 Spoleto;
- Carte geologiche, scala 1:10.000 Regione Umbria.

Sono state inoltre utilizzate le seguenti carte di base, disponibili presso questo Dipartimento:

- Carte geologiche d'Italia, scala 1:100.000;
- Cartografia tematica, scala 1:100.000 del volume "L'Ambiente Fisico delle Marche" (Regione Marche, 1991);
- Carte geologiche, scala 1:10.000 Regione Marche;
- Carta litologica, scala 1:250.000 Regione Lazio.

Il reticolo idrografico informatizzato è stato fornito dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, relativamente al territorio di sua competenza; per le restanti aree si è provveduto, quindi, alla digitalizzazione dei tratti di reticolo necessari, utilizzando le fonti cartografiche disponibili ma non sempre obiettivamente idonee.

La Carta Idrogeologica della Regione Umbria, alla scala 1:100.000, è stata scelta come supporto cartografico tematico di partenza, a cui riferire le informazioni integrative desunte dalle altre cartografie disponibili.

L'assemblaggio informatico dei diversi prodotti cartografici ha richiesto un impegno di tempo e di lavoro superiore a quanto previsto nella fase di programmazione delle attività. Le maggiori difficoltà sono state incontrate nella risoluzione di due particolari problematiche emerse durante l'allestimento della carta idrogeologica di base:

- 1) alcune tipologie delle informazioni di base (reticolo idrografico, limiti geologici, lineamenti tettonici, ecc.) in corrispondenza del limite regionale (corrispondente anche ad un passaggio fra basi cartografiche di differente origine) presentavano anomale interruzioni spaziali (di continuità) non correggibili automaticamente e in maniera univoca. La soluzione di questo problema ha richiesto un'attenta revisione critica delle posizioni reciproche di limiti stratigrafici, dei lineamenti tettonici e di tutti gli elementi posizionati a cavallo del confine regionale. Questo tipo di attività di revisione e di correzione ha portato alla luce la seconda problematica elencata, la cui soluzione ha richiesto un impegno più gravoso;
- 2) i contenuti della Carta Idrogeologica della Regione Umbria, alla scala 1:100.000, non presentano sempre una perfetta corrispondenza con la base topografica IGM. Questa anomalia, di cui i tecnici regionali sono stati messi al corrente, ma alla quale non è stato possibile trovare un'immediata soluzione correttiva, porta ad una errata sovrapposizione di elementi topografici (che è opportuno ricordare comprendono anche le sorgenti e i corsi d'acqua) ed elementi geologici e strutturali.

In tutto il territorio oggetto dello studio si è, quindi, proceduto alla correzione manuale di queste anomalie, ridigitalizzando per quanto possibile i limiti geologici e i lineamenti tettonici nella loro corretta posizione topografica. Questa operazione, che ha consentito di recuperare dal punto di vista grafico le corrette relazioni spaziali fra elementi geologico-strutturali e ubicazione delle sorgenti puntuali e lineari, ha inevitabilmente alterato, in alcuni casi anche in modo evidente, la corretta georeferenziazione delle informazioni.

Alla luce di quanto finora descritto l'eventuale utilizzazione di questo prodotto in ambiente GIS, non realizzato in questo studio, non può essere considerata immediata, ma richiederà necessariamente una revisione.

3.2. DATI IDROGEOLOGICI

Dai primi anni '80 il Laboratorio di Idrogeologia Quantitativa di questo Dipartimento, sotto la guida del Professor Boni, ha realizzato nel territorio umbro-marchigiano ricerche idrogeologiche finalizzate alla valutazione delle risorse idriche sotterranee.

Negli anni '90 il Prof. Boni ha partecipato, come consulente scientifico, alla realizzazione del "Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della Regione Umbria" e negli anni successivi (2000 – 2007) è stato responsabile scientifico di alcuni importanti contratti di ricerca con Enti statali sulla valutazione delle risorse idriche nel territorio del bacino del Tevere e del Parco Nazionale dei Monti Sibillini.

Questa consistente e duratura attività di ricerca ha portato alla realizzazione di numerose tesi di laurea e di alcune tesi di Dottorato di Ricerca che, avendo come obiettivo il progressivo miglioramento e approfondimento delle conoscenze idrogeologiche del territorio umbro-marchigiano, costituiscono attualmente una fonte di informazioni e dati idrogeologici inestimabile.

Per il presente studio idrogeologico sono stati controllati, elaborati ed omogeneizzati i dati di tutte le misure di portata su sorgenti e corsi d'acqua realizzate dal Laboratorio di Idrogeologia di questo Dipartimento negli ultimi 25 anni all'interno del dominio carbonatico umbro.

Questa grande disponibilità di dati è stata ulteriormente integrata dalle informazioni, relative a misure di portata, desunte dalle fonti di seguito brevemente descritte.

I dati raccolti sono inevitabilmente caratterizzati da una grande disomogeneità sia nella loro tipologia che nel periodo di rilevamento.

I dati di portata analizzati sono tutti rilevati in assenza di ricarica (portata di magra ordinaria) e possono essere distinti in due tipologie:

- misure di portata in corrispondenza delle sorgenti puntuali;
- misure di portata seriate lungo gli alvei, per individuare e quantificare le sorgenti lineari.

I periodi di rilevamento delle misure di portata non sono omogenei su tutto il territorio, ma corrispondono generalmente a locali campagne di misure, eseguite in occasione di specifiche ricerche realizzate nel corso del tempo con finalità differenti dallo studio qui presentato. Questo tipo di disomogeneità ha comportato alcune difficoltà interpretative soprattutto nella valutazione delle portate delle sorgenti lineari per la quale è necessario avere serie di misure contemporanee nella sezione di monte e di valle.

Le informazioni idrogeologiche relative al dominio vulcanico umbro riassunte in questo studio provengono quasi esclusivamente da altre fonti, poiché il grado di approfondimento della

conoscenza acquisito da questo gruppo di lavoro sull'acquifero vulcanico umbro non è stato ritenuto adeguato per le finalità dello studio.

3.2.1. RAPPORTI E RELAZIONI COMMISSIONATI DALLA REGIONE AD ALTRI SOGGETTI

Tutta la documentazione tecnica consultata è riportata dettagliatamente in bibliografia. Si ritiene opportuno sottolineare l'importanza di alcuni rapporti tecnici che sono risultati particolarmente utili per la realizzazione di questa ricerca.

Progetto Emergenza Idrica O.P.G.R. n° 48/04 “Analisi delle risorse idriche sotterranee nell’Umbria Nord - Orientale e Sud - Occidentale” Sottoprogetto Idrogeologia. D.S.T. Università degli Studi di Perugia – Regione Umbria (Responsabile Scientifico Prof. Dragoni).

Lo studio idrogeologico condotto dal D.S.T. dell’Università di Perugia riguarda quattro specifiche aree di indagine in cui sono state eseguite campagne di misura delle portate delle sorgenti nel 2005:

- 1) acquifero contenuto nel nucleo della dorsale di Monte Cucco;
- 2) porzione di acquifero contenuto nel nucleo della dorsale di Monte Maggio, che alimenta le sorgenti di Gualdo Tadino;
- 3) settore sudorientale della dorsale amerina;
- 4) settore umbro dell’acquifero vulsino.

I dati forniti da questo lavoro hanno consentito l’aggiornamento dei valori di portata, proprio nei territori in cui i dati più recenti disponibili presso questo Dipartimento risalgono al 1998.

Il rapporto consultato ha consentito, inoltre, di chiarire inequivocabilmente alcuni dubbi sui reali valori di prelievo per le sorgenti relative ai territori indicati.

ATO Umbria 3 – Piano delle Aree di Salvaguardia dei prelievi idropotabili strategico dell’ATO 3.

ATO Umbria 2 S.I.I. S.c.p.a. UMBRIADUE S.c.a.r.l. SEVERN TRENT ITALIA S.p.a. (2006) – Delimitazione aree di salvaguardia dei punti di captazione di importanza strategica e generale censiti nel territorio dell’ATO2.

La consultazione delle relazioni tecniche sulla delimitazione delle aree di salvaguardia dei punti di captazione censiti nei territori delle ATO 2 e 3 ha fornito importanti chiarimenti sulla corretta ubicazione delle sorgenti e sull’entità dei prelievi effettuati. Per molte sorgenti vengono forniti dati aggiornati sulle portate naturali misurate.

Progetto per la realizzazione di perforazioni esplorativo – produttive e completamento dello studio geologico – idrogeologico dell’acquifero vulcanico nel territorio della Regione Umbria (ATO Umbria 2 S.I.I. S.c.p.a. UMBRIADUE S.c.a.r.l. SEVERN TRENT ITALIA S.p.a.).

La maggior parte dei contenuti della cartografia idrogeologica relativa al settore umbro del sistema vulcanico vulsino è stata desunta dai risultati forniti in questo rapporto tecnico, integrati con alcune informazioni ricavate dallo specifico rapporto relativo al Progetto Emergenza Idrica O.P.G.R. n° 48/04 già descritto.

3.2.2. MISURE DIRETTE DI PORTATA ESEGUITE DALLA REGIONE UMBRIA

I Servizi Tecnici Regionale e il Servizio Idrografico hanno messo a disposizione di questa ricerca le seguenti misure di portata eseguite dai tecnici regionali negli ultimi anni.

- 1) Sorgente Boschetto, relative al periodo aprile 2004 – luglio 2007;
- 2) Nera fra Piedipaterno e Borgo Cerreto, relative ai periodi agosto – settembre 2004 e luglio – dicembre 2007;
- 3) Menotre a Pale, relative al periodo novembre 1989 – maggio 2007;
- 4) valori di portata minimi misurati sul Vigi a Ponte Vugianino (dal 1992), sul Nera a Vallo di Nera e a Torre Orsina (dal 1997), sul Corno a Serravalle (dal 1989).

Le misure di portata eseguite sul Menotre a Pale sono risultate particolarmente preziose perché forniscono l’ordine di grandezza della portata di magra della Sorgente Capo Vena di Rasiglia, che in periodi di magra estrema sostiene l’intero flusso di base del Fiume Menotre. Le misure dirette di portata eseguite alla sorgente forniscono valori minimi non inferiori a 650 l/s; le misure di portata sul Menotre, che hanno una maggiore frequenza e continuità nel tempo, indicano portate di magra estrema di circa 200 l/s.

3.2.3. DATI DEL MONITORAGGIO QUANTITATIVO ESEGUITO DALL’ARPA

L’ARPA esegue il monitoraggio giornaliero della portata naturale (portata captata + esubero) di 16 sorgenti ricadenti nel territorio studiato. I dati di portata rilevati per queste sorgenti sono stati integrati a quelli già disponibili e sono risultati particolarmente utili per la valutazione della portata di massima magra, perché sono gli unici rilevati nell’attuale periodo di magra eccezionale.

I dati giornalieri delle portate delle sorgenti il cui monitoraggio è attivo da un numero di anni adeguato, sono stati inoltre utilizzati per la ricostruzione delle curve di esaurimento, la cui trattazione è ampiamente descritta nel Capitolo 5.

L'ARPA esegue il monitoraggio giornaliero dei livelli piezometrici in 21 piezometri ubicati nelle aree interessate dal presente studio. I dati rilevati in questi piezometri costituiscono la maggior parte delle informazioni elaborate per arrivare all'identificazione dei principali punti di controllo piezometrico riportati nella Carta Idrogeologica (Allegato 1).

3.2.4. PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE E CARTE TEMATICHE PREESISTENTI

Sono stati consultati i lavori scientifici prodotti negli ultimi anni da altri gruppi di ricerca che riguardano l'idrogeologia del territorio studiato. Anche i dati quantitativi relativi alle portate, contenuti in questi lavori, sono stati integrati a quelli già disponibili, dopo un'attenta revisione critica.

Particolare cura è stata messa nella revisione del lavoro di Boscherini et alii (2005), che oltre ad essere stato utilizzato come base cartografica tematica di riferimento, ha fornito importanti informazioni su alcune sorgenti minori umbre, non considerate negli studi idrogeologici precedenti.

4. METODOLOGIA

In questo capitolo verranno brevemente descritti i principi fondamentali su cui si basa il metodo dell'idrogeologia quantitativa, utilizzato per la realizzazione dello studio presentato, e già ampiamente sperimentato dall'inizio degli anni '80 dal Laboratorio di Idrogeologia del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma "La Sapienza".

Il principio generale su cui si fonda il metodo dell'idrogeologia quantitativa stabilisce che la portata erogata da una struttura idrogeologica chiusa equivale alla portata che mediamente si infiltra nella sua area di alimentazione. Partendo da questo criterio è possibile identificare le strutture idrogeologiche e i loro limiti e valutarne il bilancio idrogeologico, confrontando l'assetto geologico e idrogeologico con le misure disponibili di portate erogate dalle sorgenti, che necessariamente comprendono i contributi diretti in alveo (sorgenti lineari) non sempre facilmente identificabili.

4.1. METODO DI VALUTAZIONE DELL'INFILTRAZIONE EFFICACE

L'infiltrazione efficace rappresenta il volume di acqua meteorica che, per unità di superficie, si infiltra ogni anno nel sottosuolo, fino a raggiungere gli acquiferi contenuti nelle strutture carbonatiche. Questo parametro esprime quindi la capacità di un complesso idrogeologico di assorbire le acque meteoriche sottraendole al ruscellamento, e varia in funzione della litologia, della morfologia e dell'entità delle precipitazioni.

I metodi classici di valutazione del parametro infiltrazione efficace utilizzano coefficienti empirici che, in funzione della litologia affiorante, forniscono una valutazione, espressa come percentuale della precipitazione o della precipitazione effettiva.

I risultati ottenuti con questi metodi (definiti "indiretti") risentono dell'approssimazione legata ad una classificazione delle aree di ricarica basata esclusivamente su criteri litologici medi, desunti dalla letteratura, ma che non tengono conto delle reali condizioni degli affioramenti che costituiscono le aree di ricarica indagate.

L'efficacia di questi metodi, inoltre, dipende dal grado di attendibilità e rappresentatività dei dati termo - pluviometrici utilizzati. E' noto che nelle aree montuose sono rare, se non del tutto assenti, le stazioni termo - pluviometriche e nivometriche ad alta quota. I dati registrati da queste stazioni sarebbero gli unici rappresentativi dell'effettiva ricarica meteorica delle aree di alimentazione degli acquiferi carbonatici. I metodi di interpolazione quota - precipitazione e quota - temperatura, anche se estremamente sofisticati, non arrivano a fornire una valutazione sufficientemente attendibile della reale entità della ricarica meteorica e soprattutto della sua distribuzione stagionale.

Boni & Bono (1982) e Boni et alii (1986) hanno proposto un metodo di valutazione "diretto" del parametro infiltrazione efficace che, partendo dalla fine del processo idrogeologico, cioè dalla portata erogata dalle sorgenti, risale alla valutazione della quantità di acqua che si infiltra nel sottosuolo, dopo aver delimitato con la maggiore precisione possibile i limiti delle aree di alimentazione. Questo metodo, sebbene sia soggetto ad errori di interpretazione geologico-strutturale, permette, comunque, un calcolo attendibile dell'infiltrazione efficace non influenzato dal grado di approssimazione della valutazione delle precipitazioni, in quanto non direttamente dipendente da queste ultime.

L'infiltrazione efficace viene quindi calcolata dividendo il volume di acqua mediamente erogato dalla sorgente per la relativa area di alimentazione. In uno studio idrogeologico regionale sufficientemente dettagliato, come quello presentato, è possibile quindi ottenere la reale distribuzione territoriale dei valori di infiltrazione efficace per le singole idrostrutture. Tale distribuzione risulta variabile sia nei valori medi per ciascuna idrostruttura, sia nei valori locali

attribuibili al medesimo complesso idrogeologico. I risultati ottenuti sono ampiamente descritti nel paragrafo 7.4.

Questo metodo, estremamente funzionale negli studi idrogeologici regionali su vaste aree, comporta dei problemi di applicazione nel caso di idrostrutture prive di emergenze note, comunque sede di circolazione idrica profonda, che trovano i punti di recapito esternamente alle idrostrutture stesse. Nei casi in cui non sono note le emergenze ricollegabili alla circolazione idrica dell'idrostruttura studiata diviene necessario utilizzare anche i metodi "indiretti", ma i risultati ottenuti dovranno comunque essere giustificabili nel quadro di un bilancio idrogeologico regionale.

4.2. INDIVIDUAZIONE DELLE IDROSTRUTTURE

Le idrostrutture (o strutture idrogeologiche) vengono qui intese come un settore di territorio in cui ciascun punto o gruppo di punti di emergenza delle acque sotterranee è associato ad un'area di alimentazione ben definita, per la cui definizione è necessaria la conoscenza della posizione dei limiti di permeabilità; ne risulta, quindi, che al concetto di idrostruttura può essere associato quello di bacino idrogeologico. L'analisi che conduce all'identificazione dell'idrostruttura e alla stima dei relativi bilanci, richiede la formulazione di un modello idrogeologico concettuale della circolazione idrica sotterranea, in grado di sintetizzare i dati disponibili in un'ipotesi attendibile e congruente.

Nelle aree carbonatiche, in cui l'assetto geologico - strutturale assume una particolare complessità, risulta spesso difficile attribuire ad ogni emergenza nota un'area di ricarica specifica. E' comunque possibile arrivare all'individuazione di vaste aree di alimentazione di un insieme di emergenze naturali, distribuite sul territorio; generalmente le aree di alimentazione individuate corrispondono a strutture geologiche definite da limiti stratigrafici e/o tettonici che costituiscono anche limiti di permeabilità, consentendo l'individuazione delle idrostrutture.

In linea teorica l'idrostruttura è delimitata da limiti a flusso nullo e la portata erogata dalle sorgenti corrisponde a quella che mediamente si infila nella sua area di alimentazione.

Per individuare correttamente un'idrostruttura è necessario conoscere nel dettaglio due aspetti fondamentali:

- l'assetto geologico strutturale e soprattutto la natura dei principali lineamenti tettonici (faglie, fronti di sovrascorrimento, ecc.), nonché le caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti (contenuto marnoso – argilloso, grado di fratturazione, ecc.);
- la distribuzione territoriale e la portata di magra di tutte le emergenze naturali del territorio studiato.

Il modello concettuale idrogeologico che porta alla definizione di un'idrostruttura trova eventuali conferme sulla base di dati idrochimici delle acque delle principali emergenze riconosciute, che costituiscono, quindi, un complemento particolarmente utile alla conoscenza idrogeologica, fino a divenire indispensabili per i casi più complessi.

L'accurata analisi e revisione in chiave idrogeologica delle informazioni geologico-strutturali porta alla definizione ed individuazione dei lineamenti geologico-strutturali che potrebbero costituire, per la loro natura, limiti e barriere idrauliche in grado di condizionare le direzioni del deflusso sotterraneo.

Il confronto fra la distribuzione territoriale delle sorgenti, la portata delle stesse e l'andamento, in superficie e in profondità, dei probabili limiti idraulici riconosciuti, porta all'individuazione delle

idrostrutture. I valori di infiltrazione efficace di ciascuna struttura, calcolati con il metodo “diretto” descritto forniscono un ulteriore elemento di conferma dell’ipotesi di ricostruzione o, viceversa, richiedono un ulteriore processo interpretativo.

Tali valori, infatti, devono essere compatibili con la realtà idrogeologica investigata; qualora risultino inverosimilmente alti o bassi è necessario verificare il ruolo idrogeologico attribuito ai limiti di permeabilità ed ipotizzare un probabile scambio idrico sotterraneo attraverso i limiti della struttura stessa, portando alla riformulazione del modello idrogeologico concettuale che aveva portato alla definizione dell’idrostruttura.

4.3. CALCOLO DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO

Il bilancio idrogeologico prevede il confronto fra il volume d'acqua sotterranea in uscita e il volume d'acqua in entrata nel tempo in un'idrostruttura.

Il metodo "diretto" dell'idrogeologia quantitativa indica come "uscite" del bilancio le portate erogate dalle sorgenti e gli scambi idrici sotterranei verso l'esterno; costituiscono le "entrate" l'infiltrazione efficace e gli eventuali apporti sotterranei provenienti dall'esterno.

Il calcolo del bilancio idrogeologico può essere riferito a diverse scale di indagine e, quindi, di approssimazione.

A scala regionale il bilancio fornisce una prima indicazione dell'ordine di grandezza dei parametri idrogeologici che caratterizzano il dominio idrogeologico studiato. Nella tabella 4.1 è riportato il calcolo del bilancio idrogeologico eseguito da Boni et alii (1986) riferito all'intero Gruppo idrogeologico dell'Arco dei Monti Umbro – Marchigiani, che si estende su un'area complessiva di 3460 km². In questo caso non sono significativamente apprezzabili le voci relative ai possibili scambi idrici sotterranei fra il Gruppo idrogeologico considerato e i sistemi limitrofi, ma la sua utilità risiede nella sintesi del bilancio a scala regionale proposto.

G 5		AREA 3460 km ²	
LITOLOGIA %		P	1107 mm
Dv		Qm	58,5 m ³ /s
Cc	3,0	Qe	— m ³ /s
Ds	11,5	Qt	58,5 m ³ /s
Dp	85,5	Qm/Qt x 100	100
Co		It	533 mm

Tabella 4.1 Scheda di Bilancio del Gruppo Idrogeologico dell'Arco dei Monti Umbro – Marchigiani (secondo Boni et Alii, 1986). D_v: Dominio Vulcanico; C_c: Complesso Marnoso-Calcarenitico; D_s: Dominio di Piattaforma Carbonatica; D_p: Dominio Pelagico; C_d: Complesso Dolomitico; P: precipitazione media annua; Q_m: portata misurata; Q_e: portata stimata; Q_t: portata totale; I_t: Infiltrazione efficace media annua calcolata da Q_t.

Lo studio idrogeologico qui presentato ha previsto un calcolo del bilancio idrogeologico alla scala delle singole idrostrutture, che hanno un'estensione variabile da un minimo di 15 km² ad un massimo di 754 km². E' evidente che il dettaglio dello studio non consente di trascurare le voci relative agli scambi idrici sotterranei fra idrostrutture limitrofe. Per ciascuna idrostruttura viene proposto un bilancio idrogeologico che tiene in considerazione il calcolo di bilancio delle strutture adiacenti. In questo modo si fornisce un bilancio integrato, calcolato nel quadro di uno schema idrogeologico regionale, ma ad una scala di sufficiente dettaglio per scopi pianificatori, dove gli eventuali apporti sotterranei esterni a ciascuna struttura sono quantitativamente giustificati da altrettante perdite sotterranee verso strutture limitrofe.

5. ANALISI DEGLI IDROGRAMMI DELLE SORGENTI

Il monitoraggio in continuo delle portate delle sorgenti costituisce un valido strumento per lo studio idrogeologico degli acquiferi carbonatici.

In questo contesto, si inserisce l'attività svolta dall'ARPA Umbria che da circa dieci anni sta svolgendo un'attività di monitoraggio di 16 sorgenti dislocate sul territorio regionale. Di queste, sono state utilizzate per il presente studio soltanto quelle per cui il periodo di osservazione è superiore ad un anno idrogeologico, al fine di poter ottenere un valore medio del Coefficiente di Esaurimento, su medio periodo.

Sono stati quindi presi in considerazione i dati registrati da 6 stazioni di monitoraggio, per le quali sono a disposizione dati giornalieri della portata, nel periodo che va dal 1998 al 2007. Le sorgenti studiate, con il corrispondente periodo di osservazione, sono di seguito riportate, con il numero di riferimento con cui sono indicate nella Carta Idrogeologica (Allegato 1):

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| • 45 Rasiglia Alzabove | 27/01/98 – 18/09/07 |
| • 34 San Giovenale | 29/06/98 – 19/09/07 |
| • 29 Capo d'Acqua di Nocera Umbra | 30/11/99 – 19/09/07 |
| • 83 Lupa | 19/12/97 – 19/07/07 |
| • 33 Bagnara | 10/04/98 – 19/09/07 |
| • 42 Capodacqua di Foligno | 01/04/03 – 19/07/07 |

Per ogni sorgente è stato costruito un grafico portata (m^3/s) – tempo (giorni), relativo al periodo di funzionamento, in scala semilogaritmica. Sono stati quindi individuati, per ogni anno, il picco di massima portata e il punto di portata minima, oltre cui l'idrogramma è di nuovo influenzato dalle precipitazioni. L'intervallo così definito costituisce la “*Curva di Svuotamento*” dell'idrogramma.

Il tratto della curva di svuotamento relativo al regime non influenzato, in cui la portata della sorgente è legata soltanto alle caratteristiche intrinseche del sistema, è quello detto “*Curva d'Esaurimento*”, sul quale viene calcolato il Coefficiente d'Esaurimento.

Il Coefficiente d'Esaurimento (α) di una sorgente caratterizza lo svuotamento delle falde idriche in regime non influenzato ed esprime, quindi, la rapidità con cui l'acquifero tende a svuotarsi (Celico, 2003). La determinazione del Coefficiente di Esaurimento può anche consentire la valutazione dei parametri idrodinamici degli acquiferi quali la conduttività idraulica, la porosità efficace e la velocità effettiva di flusso (Checcucci, 2007).

Per l'interpretazione delle curve di esaurimento delle sorgenti è stato utilizzato il modello esponenziale di Maillet (1911), che permette di determinare il Coefficiente d'Esaurimento α delle sorgenti mediante l'applicazione della formula:

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0,43429 \cdot t}$$

dove:

Q_0 (m³/s), è la portata sorgiva al tempo t_0 ;

Q_t (m³/s), è la portata sorgiva al tempo $t \neq 0$, in genere corrispondente alla portata minima;

t (giorni), è il tempo intercorso dall'inizio dello svuotamento del serbatoio che alimenta la sorgente.

Il volume d'acqua sotterranea immagazzinata nell'acquifero, all'inizio dello svuotamento (W_0), si ottiene integrando la formula tra 0 e ∞ :

$$W_0 = \int_0^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt$$

Risolvendo l'integrale per $t = 0$ ed omogeneizzando, si ottiene:

$$W_0 = \frac{Q_0 \cdot 86400}{\alpha}$$

Il volume defluito dall'inizio dello svuotamento ad un tempo $t \neq 0$ si calcola:

$$W_t = \frac{(Q_0 - Q_t) \cdot 86400}{\alpha}$$

Per ogni sorgente, nell'idrogramma è stata indicata nelle Figure 5.1, 5.4, 5.6, 5.8, 5.10, 5.12, la portata di magra ordinaria (linea magenta) e la portata minima misurata (linea gialla). Quindi, per ogni anno idrogeologico, una volta individuato il tratto della Curva di Esaurimento, si è proceduto alla determinazione del valore del coefficiente α . In seguito è stato possibile anche determinare alcuni parametri, quali il "Tasso di Rinnovamento Medio" e il "Tempo di Rinnovamento Medio".

Il Tasso di Rinnovamento Medio (T_{rin}) rappresenta, in percentuale, i volumi d'acqua rinnovati, durante la ricarica, per effetto dell'infiltrazione efficace.

$$T_{rin} = \frac{\Delta W}{W_0} \cdot 100$$

Se T_{rin} è prossimo al 100% il volume delle riserve regolatrici è trascurabile e l'acquifero presenta difficoltà di autoregolazione. Per valori bassi di T_{rin} , si è in presenza di ingenti riserve regolatrici e

l'acquifero non risente di lunghi periodi di siccità, riuscendo a compensare la carenza di ricarica grazie alle riserve regolatrici.

Il tempo di rinnovamento medio (t_{mr}), espresso in anni, indica il tempo necessario affinché tutto il volume delle riserve venga rinnovato.

$$t_{mr} = \frac{W_0}{\Delta W}$$

La determinazione del coefficiente di esaurimento permette di effettuare previsioni in caso di prolungati periodi di siccità favorendo, quindi, la preparazione di piani di razionalizzazione della portata delle sorgenti.

5.1. SORGENTE RASIGLIA ALZABOVE

È stato preso in considerazione il periodo di osservazione della portata della sorgente Rasiglia Alzabove che va dal 27/01/1998 al 18/09/2007.

La sorgente eroga una portata di magra ordinaria pari a 200 l/s; la portata minima misurata è di 143 l/s. Rispetto ai valori medi, dall'idrogramma (Figura 5.1) risulta che negli anni 2002 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta, in seguito a prolungati periodi di scarse precipitazioni.

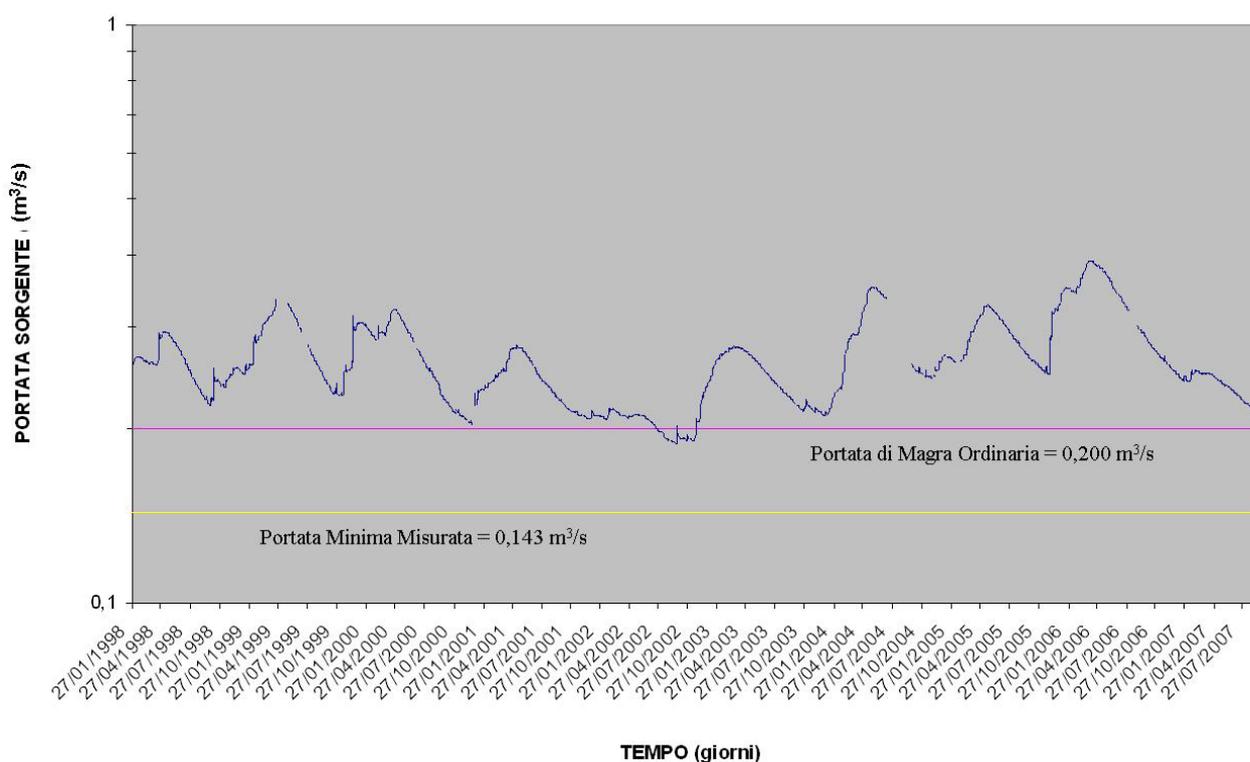


Figura 5.1 Idrogramma della sorgente Rasiglia Alzabove, in scala semilogaritmica, per il periodo 27/01/1998 – 18/09/2007.

Per ciascuno dei 10 anni idrologici individuati è stato calcolato, su un grafico semilogaritmico portata (m³/s) – tempo (giorni), il valore del coefficiente α sulla curva di esaurimento.

Le curve di esaurimento relative ai diversi anni sono riportate nella Figura 5.2. Dall'analisi del grafico è possibile evidenziare come queste abbiano tutte un andamento pressoché identico, descrivendo delle curve leggermente concave verso l'alto ed asintotiche all'asse dei tempi; la regolarità delle curve, infine, denota che la portata della sorgente non risente in maniera diretta delle precipitazioni durante la fase di esaurimento.

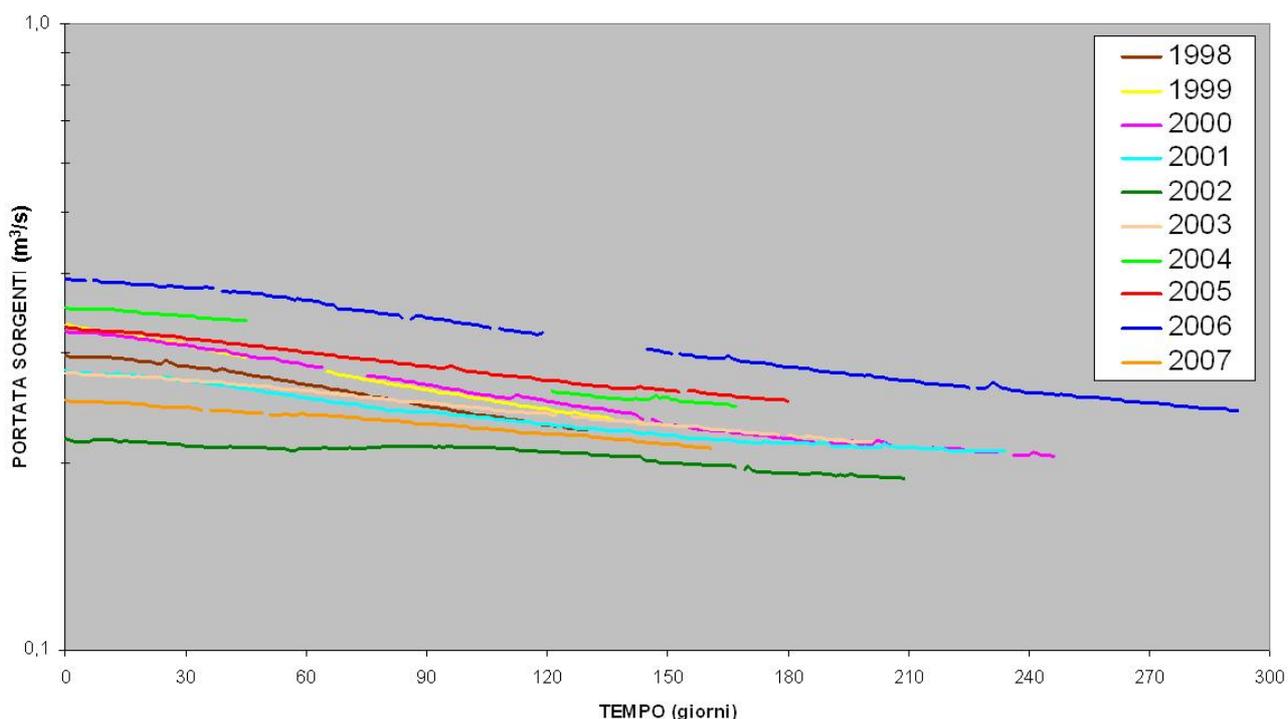


Figura 5. 2 Confronto delle curve di esaurimento della sorgente Rasiglia Alzabove riferite ai differenti anni idrologici.

Il valore dell' α medio risultante è di 0,0014; l' α massimo, relativo al 1998, è di 0,00229; l' α minimo, corrispondente al 2001 è di 0,00086 (Tabella 5.1).

	α	Q_0 (m ³ /s)	Q_t (m ³ /s)	W_0 (Milioni m ³)	W_t (Milioni m ³)	t (giorni)	T_{rin} (%)	T_{mr} (anni)
1998	0,00229	0,3034	0,2254	11,4	2,9	130	25,7	3,88
1999	0,00223	0,3159	0,2277	12,2	3,4	147	28,0	3,58
2000	0,00089	0,2509	0,2015	24,4	4,8	247	19,7	5,07
2001	0,00086	0,2564	0,2096	25,8	4,7	234	18,2	5,49
2002	0,00094	0,2350	0,1930	21,6	3,9	210	17,9	5,58
2003	0,00122	0,2771	0,2168	19,6	4,3	201	21,7	4,60
2004	0,00114	0,2882	0,2381	21,8	3,8	167	17,3	5,77
2005	0,00159	0,3355	0,2520	18,2	4,5	180	24,9	4,02
2006	0,00136	0,3574	0,2406	22,7	7,4	292	32,8	3,05
2007	0,00131	0,2548	0,2053	16,8	3,3	165	19,4	5,14

Tabella 5. 1 Schema riassuntivo dei parametri caratteristici della sorgente Rasiglia Alzabove dal 1998 al 2007.

In conclusione, lo studio della portata erogata dalla sorgente di Rasiglia Alzabove ha permesso di evidenziare che:

- negli anni 2002 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta nei confronti di quella di magra ordinaria;

- rispetto ai valori medi del coefficiente d'esaurimento, dell'ordine di 1×10^{-3} , negli anni 1998 e 1999, si registra un valore di α dell'ordine di 2×10^{-3} , che evidenzia una velocità maggiore nello svuotamento dell'acquifero che alimenta la sorgente. Ciò potrebbe essere relazionato con gli eventi sismici che interessarono il territorio umbro-marchigiano, ed in particolare l'area più prossima all'area di Colfiorito, zona di epicentro del terremoto;
- il tasso di rinnovamento medio (T_{rin}) calcolato è del 22 % ed indica che l'acquifero ha una buona capacità di autoregolazione. Ciò è in accordo con i valori della portata registrati ed in particolare con quelli relativi al periodo di crisi del 2002, quando la portata della sorgente è risultata estremamente bassa. Ciononostante le riserve regolatrici ancora immagazzinate hanno consentito la sostanziale stabilità della portata;
- il tempo di rinnovamento medio (t_{mr}) utile affinché tutto il volume delle riserve regolatrici venga rinnovato è poco più di 4 anni.

Per la sorgente di Rasiglia Alzabove si è scelto di applicare il modello previsionale alle condizioni attuali, ed in particolare di determinare quale potrebbe essere la portata prevista per l'estate 2008 qualora persistessero condizioni di siccità, considerando anche che per l'anno 2007 i dati a disposizione hanno evidenziato una minima ricarica del sistema acquifero (Figura 5.3).

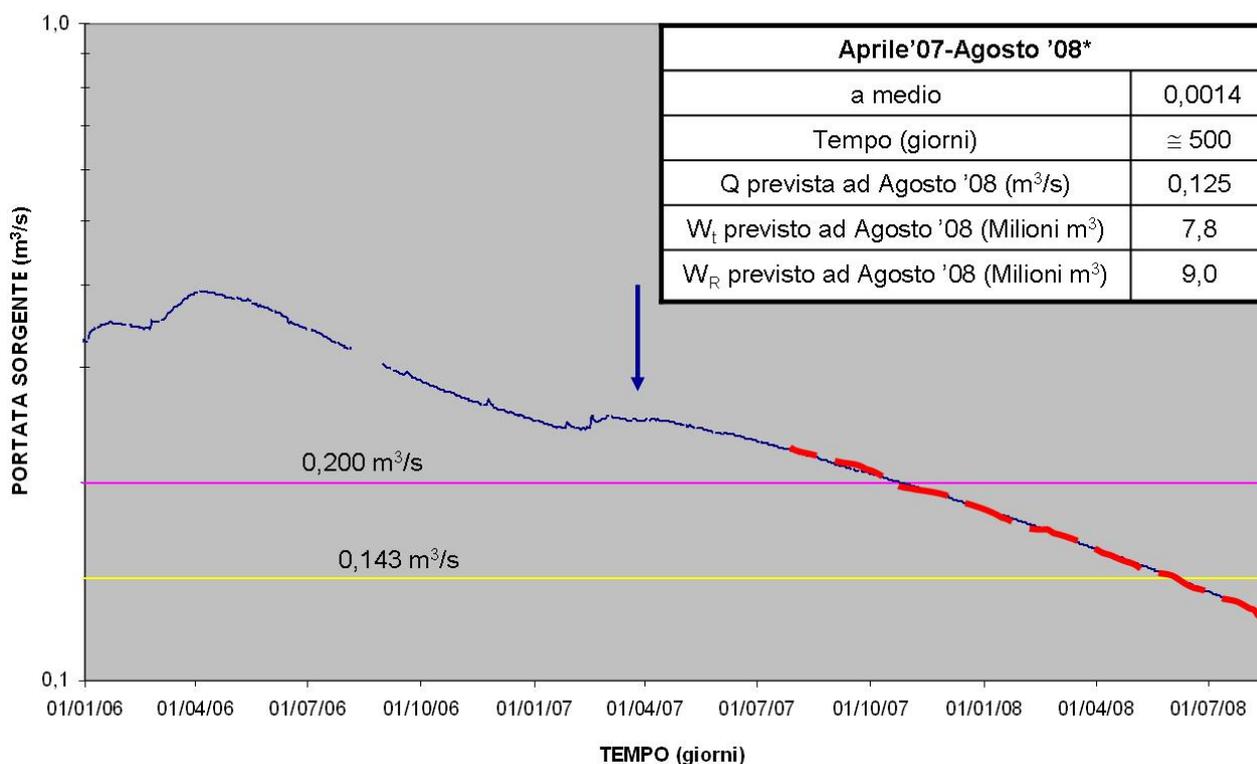


Figura 5.3 Sorgente Rasiglia Alzabove. Previsioni nel caso di crisi idrica.

Applicando l' α medio della sorgente e ipotizzando apporti meteorici pressoché inesistenti fino all'estate del 2008, risulterebbe una portata inferiore alla portata minima misurata finora, evidenziando uno scenario di crisi idrica che potrebbe richiedere interventi specifici.

Il modello previsionale permetterebbe, quindi, agli enti gestori di avere preventivamente un quadro conoscitivo della risorsa idrica disponibile nel periodo di maggiore richiesta, rendendo possibile realizzare dei piani di razionamento dei prelievi o di redistribuzione della risorsa.

5.2. SORGENTE SAN GIOVENALE

È stato preso in considerazione il periodo di osservazione della portata della sorgente San Giovenale che va dal 29/06/1998 al 19/09/2007.

La sorgente eroga una portata di magra ordinaria pari a 330 l/s; la portata minima misurata è di 99 l/s. Rispetto ai valori medi, dall'idrogramma risulta che negli anni 2002 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta, in seguito a prolungati periodi di scarse precipitazioni.

In particolare, per l'anno 2002, dall'analisi dell'idrogramma (Figura 5.4) si nota che la curva di riempimento, che corrisponde al periodo durante cui l'acquifero è ricaricato dalle piogge, è praticamente assente.

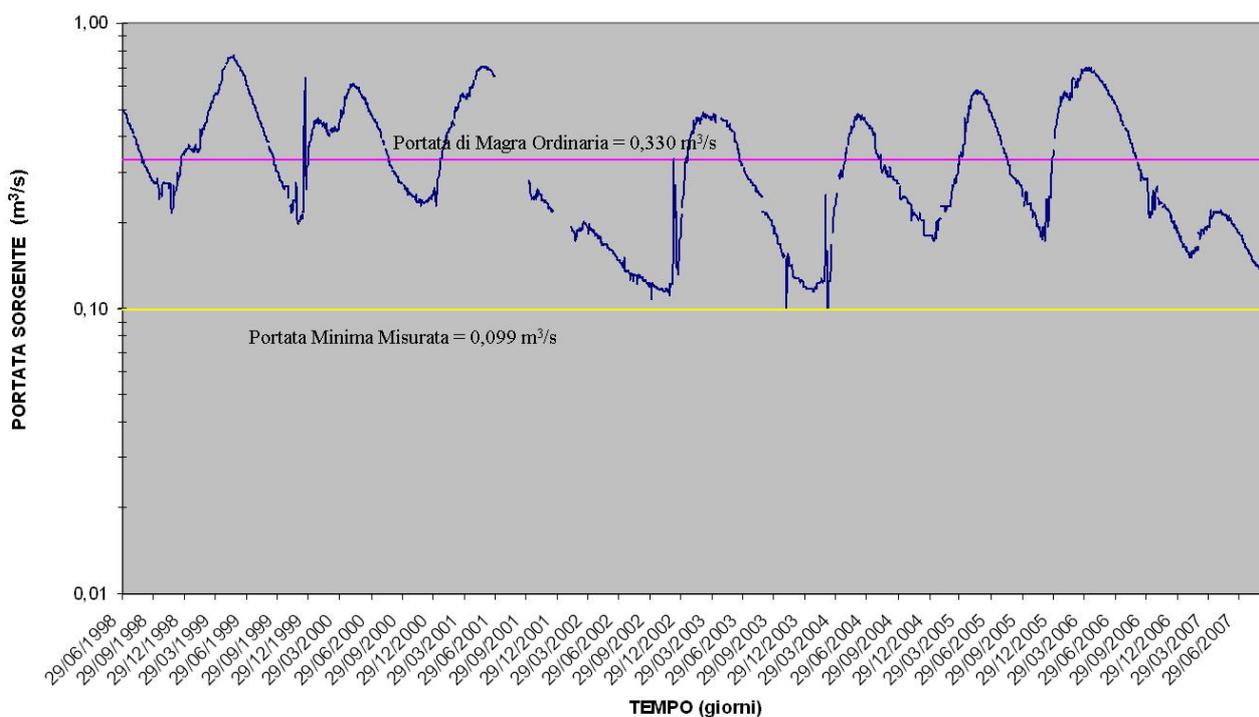


Figura 5.4 Idrogramma della sorgente San Giovenale, in scala semilogaritmica, per il periodo 29/06/1998 – 19/09/2007.

Per ciascuno degli 8 anni individuati è stato calcolato, su un grafico semilogaritmico portata (m^3/s) – tempo (giorni), il valore del coefficiente α sulla curva di esaurimento. Gli anni 2003 e 2004 non sono stati investigati poiché le curve relative presentavano un andamento influenzato dalle piogge, impedendo quindi l'analisi della curva di esaurimento.

Le curve di esaurimento relative ai diversi anni sono riportate in Figura 5.5.

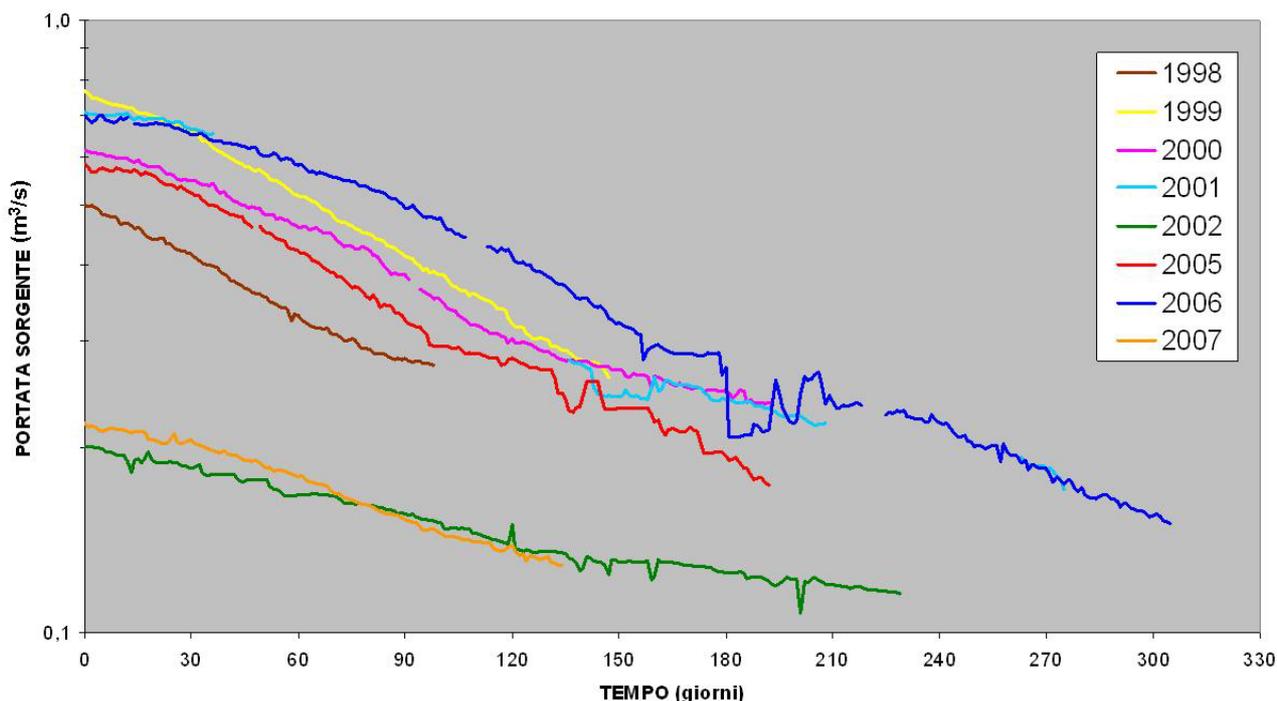


Figura 5.5 Confronto delle curve di esaurimento della sorgente San Giovenale riferite ai differenti anni idrologici.

Dall'analisi del grafico è possibile evidenziare come le curve caratteristiche di questa sorgente presentano un tratto iniziale a minor pendenza, seguito da un tratto a pendenza maggiore. L'andamento della portata presenta dei picchi positivi, attribuibili all'influenza diretta della ricarica sul regime della sorgente.

Il valore dell' α medio risultante è di 0,0048; l' α massimo, relativo al 1999, è di 0,0078; l' α minimo, corrispondente al 2002 è di 0,0016 (Tabella 5.2).

	α	Q_0 (m ³ /s)	Q_t (m ³ /s)	W_0 (Milioni m ³)	W_t (Milioni m ³)	t (giorni)	T_{rin} (%)	T_{mr} (anni)
1998	0,0067	0,5000	0,2593	6,4	3,1	98	51,9	1,9
1999	0,0078	0,8268	0,2627	9,2	6,2	147	31,8	3,1
2000	0,0034	0,4487	0,2328	11,4	5,5	193	51,9	1,9
2001	0,0030	0,4124	0,1807	11,9	6,7	275	43,8	2,3
2002	0,0016	0,1678	0,1163	9,1	2,8	229	69,3	1,4
2005	0,0055	0,5291	0,1840	8,3	5,4	192	34,8	2,9
2006	0,0056	0,8347	0,1513	12,9	10,5	305	18,1	5,5
2007	0,0046	0,2350	0,1269	4,4	2,0	134	54,0	1,9

Tabella 5.2 Schema riassuntivo dei parametri caratteristici della sorgente San Giovenale dal 1998 al 2007.

In conclusione, lo studio della portata erogata dalla sorgente San Giovenale ha permesso di evidenziare che:

- negli anni 2002 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta rispetto a quella di magra ordinaria;

- rispetto ai valori medi del coefficiente d'esaurimento, così come per la sorgente di Rasiglia Alzabove, anche per quella di San Giovenale è stato possibile determinare un valore di α maggiore per gli anni 1998 e 1999, legato agli eventi sismici;
- il tasso di rinnovamento medio (T_{rin}) calcolato è del 44 % ed indica che l'acquifero ha una discreta capacità di autoregolazione;
- il tempo di rinnovamento medio (t_{mr}) utile affinché tutto il volume delle riserve regolatrici venga rinnovato è poco più di 2 anni.

5.3. SORGENTE CAPO D'ACQUA DI NOCERA UMBRA

È stato preso in considerazione il periodo di osservazione della portata della sorgente Capo d'Acqua di Nocera Umbra che va dal 30/11/1999 al 19/09/2007.

La sorgente eroga una portata di magra ordinaria pari a 120 l/s; la portata minima misurata è di 39 l/s. Rispetto ai valori medi, dall'idrogramma (Figura 5.6) risulta che negli anni 2002 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta.

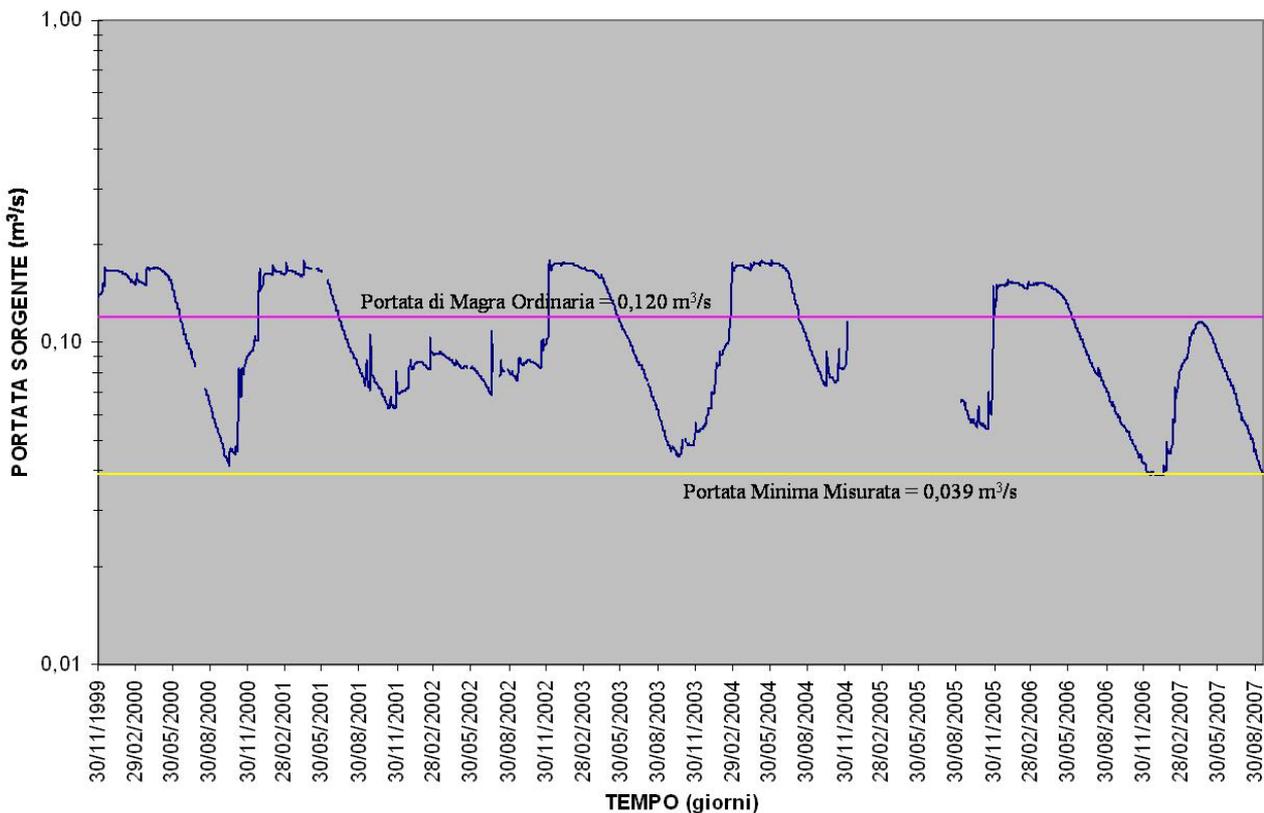


Figura 5. 6 *Idrogramma della sorgente Capo d'Acqua di Nocera Umbra, in scala semilogaritmica, per il periodo 30/11/1999 – 19/09/2007.*

Per ciascuno dei 7 anni individuati è stato calcolato, su un grafico semilogaritmico portata (m^3/s) – tempo (giorni), il valore del coefficiente α sulla curva di esaurimento.

Le curve di esaurimento relative ai diversi anni sono riportate nella Figura 5.7. Per gran parte del 2005 il monitoraggio in continuo della portata della sorgente non è stato effettuato. Dall'analisi del grafico è possibile evidenziare come queste abbiano tutte un andamento pressoché identico, suborizzontale nel primo tratto e con una pendenza maggiore nel secondo. Al primo corrisponde uno svuotamento più lento, nel successivo l'acquifero si svuota più velocemente; analizzando i due tratti di curva separatamente è possibile valutare il contributo alla portata della sorgente da parte di

due “sottosistemi”. Il contributo del primo è esiguo e, data la situazione idrogeologica locale, potrebbe essere legato alla presenza di litotipi a minor permeabilità rispetto a quelli costituenti l’acquifero principale. Infatti, la sorgente di Capo d’Acqua di Nocera Umbra è prevalentemente alimentata dal Complesso della Maiolica dell’idrostruttura di Monte Maggio, che presenta una struttura anticlinale con al nucleo il Complesso della Corniola e del Calcareo Massiccio. Il tratto a maggior pendenza della curva corrisponderebbe al contributo dell’Acquifero regionale basale, mentre quello iniziale potrebbe indicare il modesto contributo del Complesso Calcareo Silico Marnoso, la cui saturazione contribuirebbe in minima parte al deflusso sotterraneo, non costituendo un limite di permeabilità nei confronti dell’acquifero contiguo.

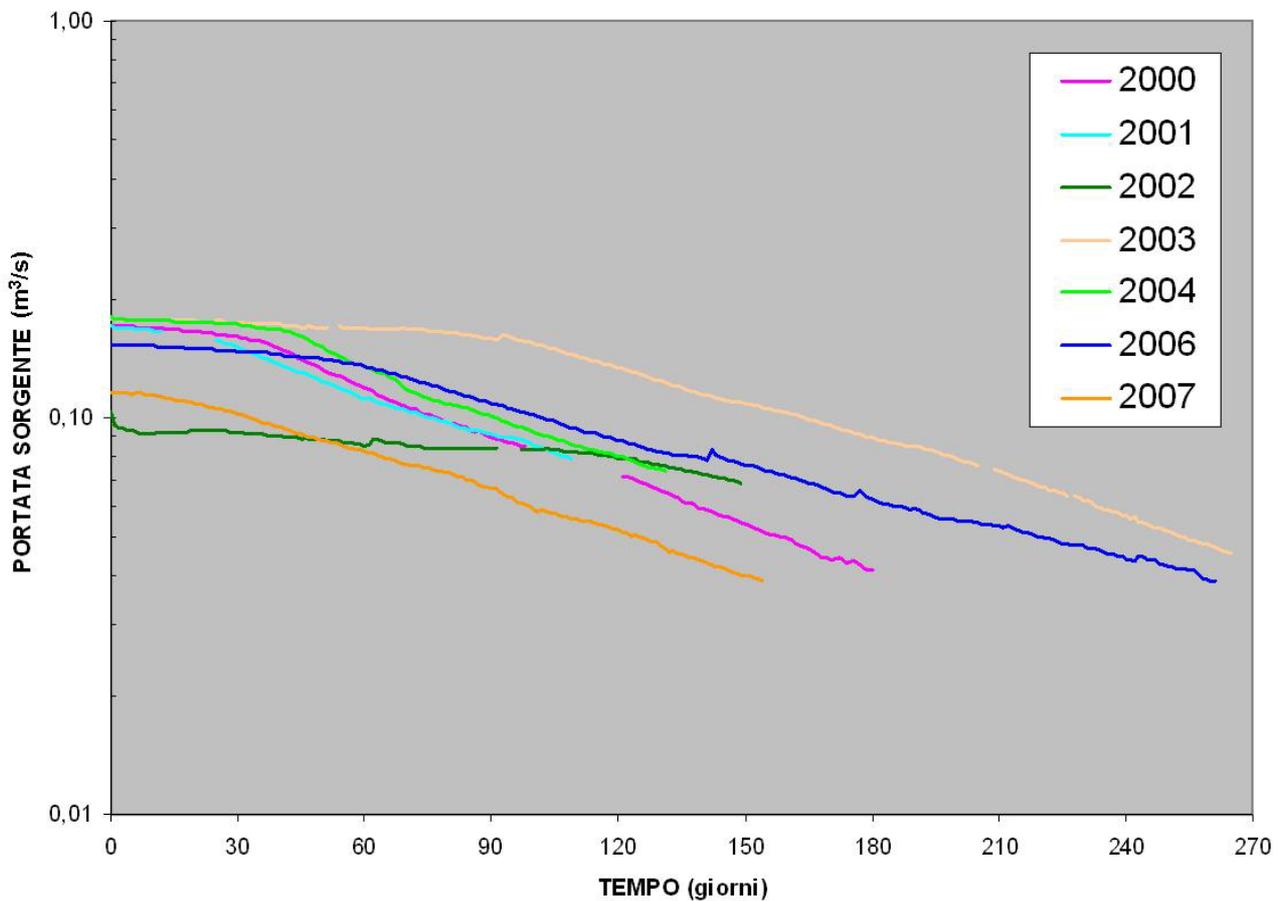


Figura 5.7 Confronto delle curve di esaurimento della sorgente Capo d’Acqua di Nocera Umbra riferite ai differenti anni idrologici.

Il valore dell’ α medio risultante è di 0,0073; l’ α massimo, relativo al 2004, è di 0,0090; l’ α minimo, corrispondente al 2002 è di 0,0043 (Tabella 5.3).

	α	Q_0 (m ³ /s)	Q_t (m ³ /s)	W_0 (Milioni m ³)	W_t (Milioni m ³)	t (giorni)	T_{rin} (%)	T_{mr} (anni)
2000	0,0089	0,2043	0,0412	2,0	1,6	180	79,9	1,25
2001	0,0080	0,1866	0,0780	2,0	1,2	109	58,2	1,72
2002	0,0043	0,1321	0,0696	2,7	1,3	149	47,3	2,11
2003	0,0072	0,3187	0,0473	3,8	3,3	265	85,2	1,17
2004	0,0090	0,2290	0,0704	2,2	1,5	131	69,2	1,44
2006	0,0060	0,1856	0,0388	2,7	2,1	261	79,1	1,26
2007	0,0078	0,1310	0,0394	1,5	1,0	154	69,9	1,43

Tabella 5.3 Schema riassuntivo dei parametri caratteristici della sorgente Capo d'Acqua di Nocera Umbra dal 2000 al 2007.

In conclusione, lo studio della portata erogata dalla sorgente di Capo d'Acqua di Nocera Umbra ha permesso di evidenziare che:

- negli anni 2002 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta nei confronti di quella di magra ordinaria;
- le curve di esaurimento della sorgente relative a diversi anni evidenziano un contributo composito alla ricarica dell'acquifero, il quale risulta essere alimentato anche da litotipi meno permeabili, che contribuiscono limitatamente alla portata della sorgente (riferibili al Complesso Calcereo Silico Marnoso), oltre che dall'Acquifero regionale basale (Complesso della Maiolica);
- il tasso di rinnovamento medio (T_{rin}) calcolato è del 70 % ed indica che l'acquifero ha minima capacità di autoregolazione ed è, quindi, predisposto ad esaurimento della risorsa;
- il tempo di rinnovamento medio (t_{mr}) utile affinché tutto il volume delle riserve regolatrici venga rinnovato è di circa 1 anno e mezzo;
- sia il tasso di rinnovamento che il tempo di rinnovamento medio identificano un acquifero di dimensioni relativamente modeste, localizzato prevalentemente all'interno del Complesso della Maiolica.

5.4. SORGENTE LUPA

È stato preso in considerazione il periodo di osservazione della portata della sorgente Lupa che va dal 19/12/1997 al 19/07/2007.

La sorgente eroga una portata di magra ordinaria pari a 125 l/s; la portata minima misurata è di 46 l/s. Rispetto ai valori medi, dall'idrogramma (Figura 5.8) risulta che negli anni 2002, 2003 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta, in seguito a prolungati periodi di scarse precipitazioni.

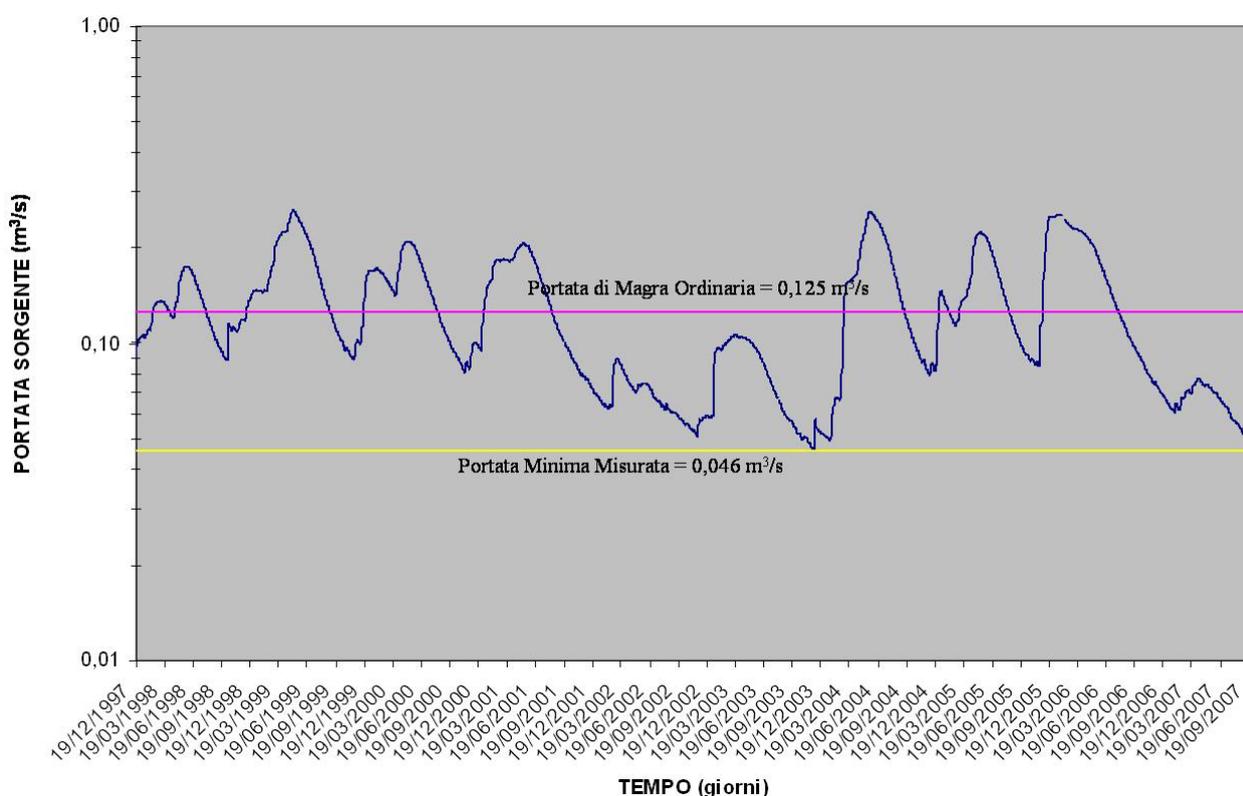


Figura 5.8 Idrogramma della sorgente Lupa, in scala semilogaritmica, per il periodo 19/12/1997 – 19/07/2007.

Per ciascuno dei 10 anni individuati è stato calcolato, su un grafico semilogaritmico portata (m³/s) – tempo (giorni), il valore del coefficiente α sulla curva di esaurimento.

Le curve di esaurimento relative ai diversi anni sono riportate nella Figura 5.9. Dall'analisi del grafico è possibile evidenziare come queste abbiano tutte un andamento molto simile, descrivendo delle curve leggermente concave verso l'alto ed asintotiche all'asse dei tempi; la regolarità delle curve denota che la portata della sorgente non risente in maniera repentina delle precipitazioni.

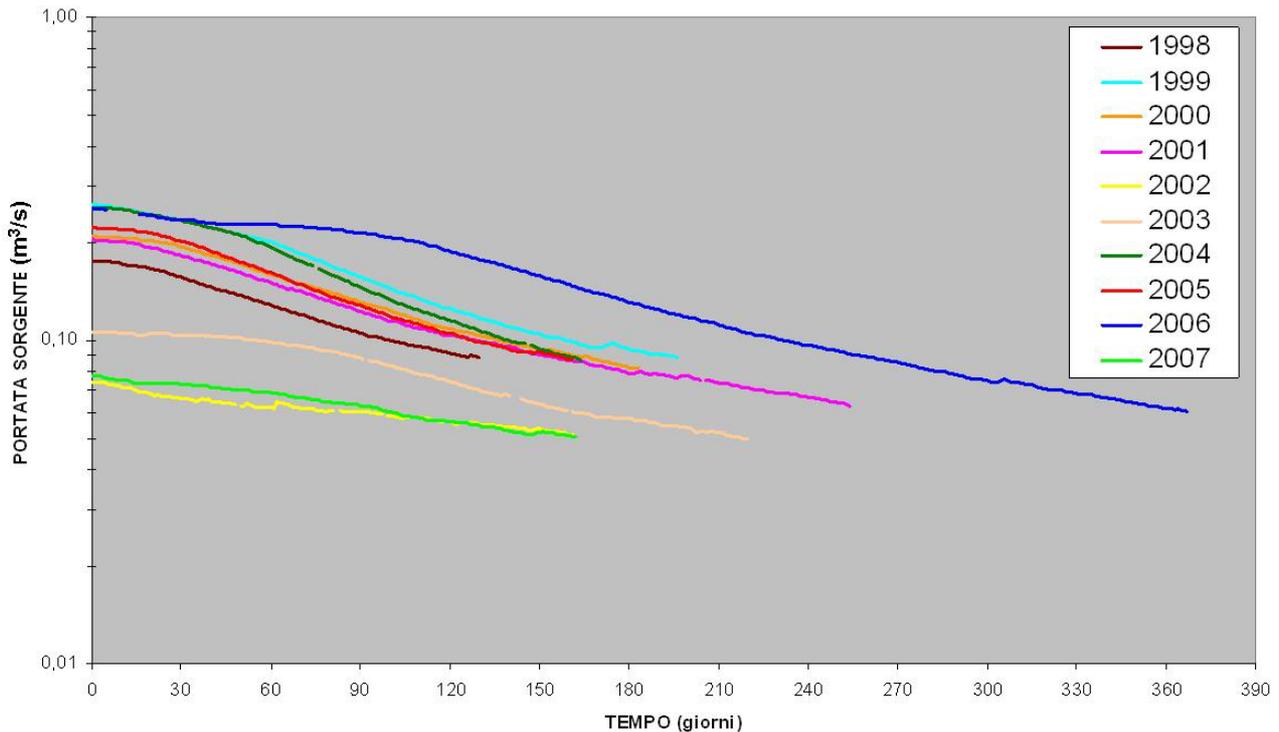


Figura 5.9 Confronto delle curve di esaurimento della sorgente Lupa riferite ai differenti anni idrologici.

Il valore dell' α medio risultante è di 0,0050; l' α massimo, relativo al 2004, è di 0,0079; l' α minimo, corrispondente al 2002 è di 0,0021 (Tabella 5.4).

	α	Q_0 (m ³ /s)	Q_t (m ³ /s)	W_0 (Milioni m ³)	W_t (Milioni m ³)	t (giorni)	T_{rin} (%)	T_{mr} (anni)
1998	0,0059	0,1841	0,0855	2,7	1,4	130	53,6	1,87
1999	0,0060	0,2689	0,0830	3,9	2,7	196	69,1	1,45
2000	0,0056	0,2197	0,0784	3,4	2,2	184	64,3	1,55
2001	0,0038	0,1630	0,0621	3,7	2,3	254	61,9	1,62
2002	0,0021	0,0720	0,0513	3,0	0,9	161	28,7	3,49
2003	0,0045	0,1296	0,0482	2,5	1,6	220	62,8	1,59
2004	0,0079	0,3047	0,0834	3,3	2,4	164	72,6	1,38
2005	0,0066	0,2377	0,0821	3,1	2,0	161	65,4	1,53
2006	0,0047	0,3111	0,0554	5,7	4,7	367	82,2	1,22
2007	0,0032	0,0831	0,0495	2,2	0,9	162	40,5	2,47

Tabella 5.4 Schema riassuntivo dei parametri caratteristici della sorgente Lupa dal 1998 al 2007.

In conclusione, lo studio della portata erogata dalla sorgente Lupa ha permesso di evidenziare che:

- negli anni 2002, 2003 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta nei confronti di quella di magra ordinaria;
- il tasso di rinnovamento medio (T_{rin}) calcolato è del 60 % ed indica che l'acquifero ha una ridotta capacità di autoregolazione, risultando quindi esposto a rischio di esaurimento in caso di siccità prolungata;

- il tempo di rinnovamento medio (t_{mr}) utile affinché tutto il volume delle riserve regolatrici venga rinnovato è di quasi 2 anni;
- sia il tasso di rinnovamento che il tempo di rinnovamento medio sono tipici di un acquifero di dimensioni relativamente modeste, come confermato dalla ridotta portata erogata dalla sorgente.

5.5. SORGENTE BAGNARA

È stato preso in considerazione il periodo di osservazione della portata della sorgente Bagnara che va dal 10/04/1998 al 19/09/2007.

La sorgente eroga una portata di magra ordinaria pari a 135 l/s; la portata minima misurata è di 1 l/s. Rispetto ai valori medi, dall'idrogramma (Figura 5.10) risulta che negli anni 2002 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta.

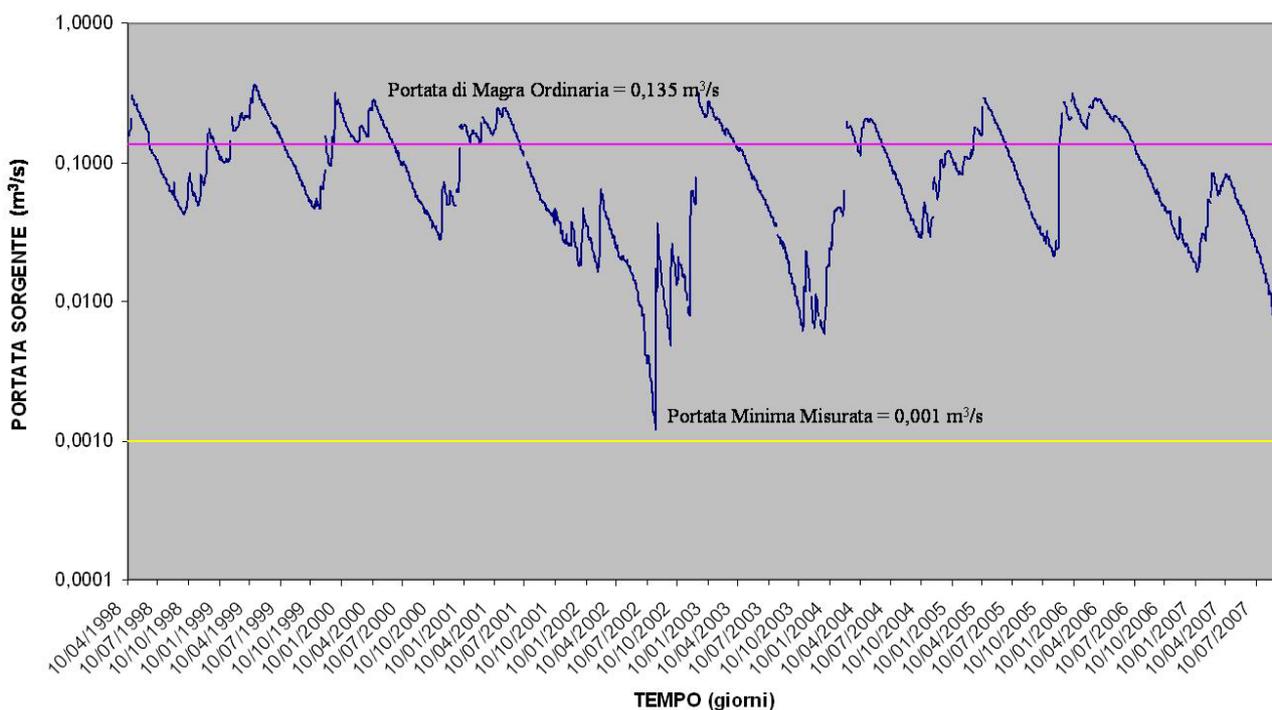


Figura 5.10 Idrogramma della sorgente Bagnara, in scala semilogaritmica, per il periodo 10/04/1998 – 19/09/2007.

Per ciascuno dei 7 anni individuati è stato calcolato, su un grafico semilogaritmico portata (m³/s) – tempo (giorni), il valore del coefficiente α sulla curva di esaurimento.

Gli anni 2002, 2003 e 2007 non sono stati investigati poiché le curve relative presentavano un andamento irregolare, impedendo la ricostruzione della curva di esaurimento.

Le curve di esaurimento relative ai diversi anni sono riportate nella Figura 5.11.

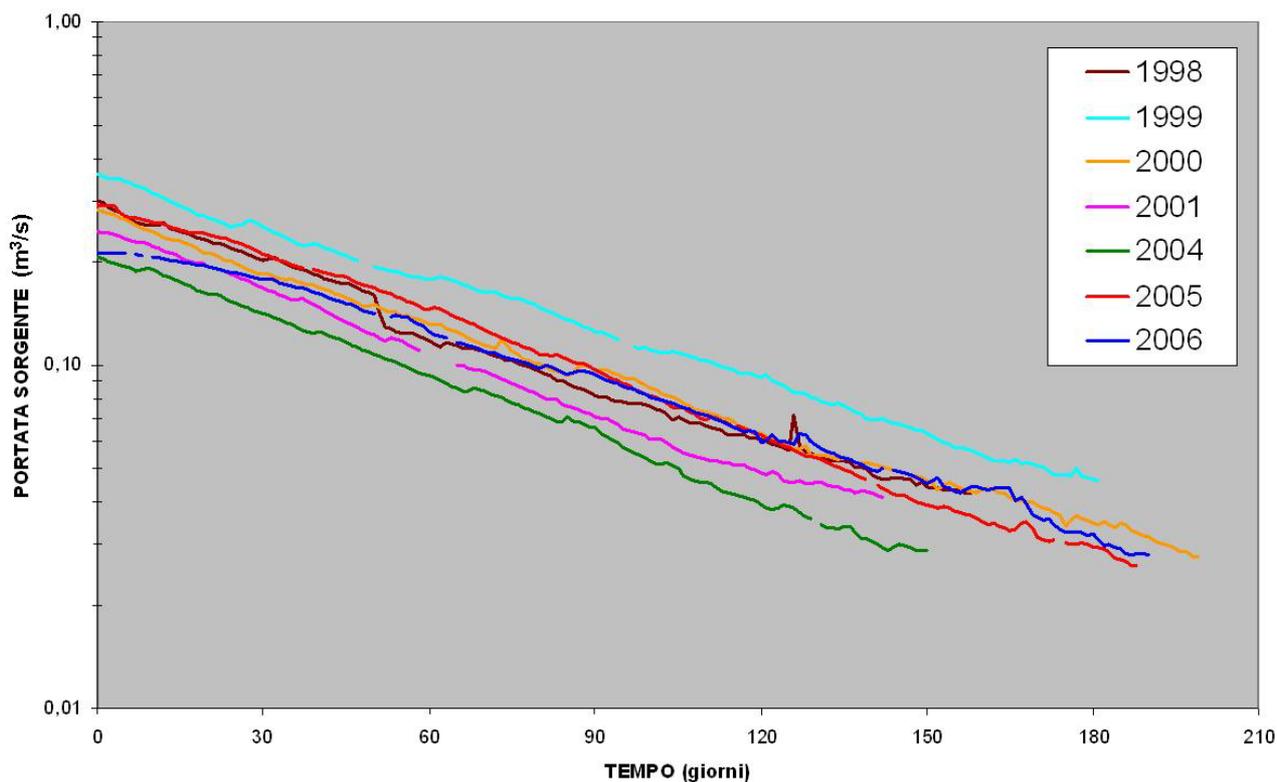


Figura 5.11 Confronto delle curve di esaurimento della sorgente Bagnara riferite ai differenti anni idrologici.

Dall'analisi del grafico è possibile evidenziare come le curve caratteristiche di questa sorgente presentino una pendenza pressoché costante. L'andamento della portata presenta variazioni probabilmente influenzate da ricarica rapida da parte delle precipitazioni.

Il valore dell' α medio risultante è di 0,0122, particolarmente elevato; l' α massimo, relativo al 2004, è di 0,0139; l' α minimo, corrispondente al 2000 è di 0,0109 (Tabella 5.5).

	α	Q_0 (m ³ /s)	Q_t (m ³ /s)	W_0 (Milioni m ³)	W_t (Milioni m ³)	t (giorni)	T_{rin} (%)	T_{mr} (anni)
1998	0,0109	0,2268	0,0405	1,8	1,5	158	82,1	1,22
1999	0,0115	0,3563	0,0444	2,7	2,3	181	87,5	1,14
2000	0,0109	0,2431	0,0278	1,9	1,7	199	88,6	1,13
2001	0,0129	0,2334	0,0374	1,6	1,3	142	84,0	1,19
2004	0,0139	0,2165	0,0269	1,3	1,2	150	87,6	1,14
2005	0,0138	0,3294	0,0246	2,1	1,9	188	92,5	1,08
2006	0,0115	0,2571	0,0289	1,9	1,7	190	88,8	1,13

Tabella 5.5 Schema riassuntivo dei parametri caratteristici della sorgente Bagnara dal 1998 al 2006.

In conclusione, lo studio della portata erogata dalla sorgente di Bagnara ha permesso di evidenziare che:

- negli anni 2002, 2003 e 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta nei confronti di quella di magra ordinaria;

- la sorgente presenta valori medi del coefficiente d'esaurimento dell'ordine di 1×10^{-2} , che evidenzia una velocità elevata nello svuotamento dell'acquifero che alimenta la sorgente;
- il tasso di rinnovamento medio (T_{rin}) calcolato è dell'87 % ed indica che l'acquifero ha una scarsissima capacità di autoregolazione, risultando particolarmente sensibile a periodi siccitosi;
- il tempo di rinnovamento medio (t_{mr}) utile affinché tutto il volume delle riserve regolatrici venga rinnovato è poco più di 1 anno;
- sia il tasso di rinnovamento che il tempo di rinnovamento medio identificano un acquifero di dimensioni modeste.

5.6. SORGENTE CAPODACQUA DI FOLIGNO

È stato preso in considerazione il periodo di osservazione della portata della sorgente Capodacqua di Foligno che va dal 01/04/2003 al 19/07/2007.

La sorgente eroga una portata di magra ordinaria pari a 200 l/s; la portata minima misurata è di 95 l/s. Rispetto ai valori medi, dall'idrogramma (Figura 5.12) risulta che nell'anno 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta.

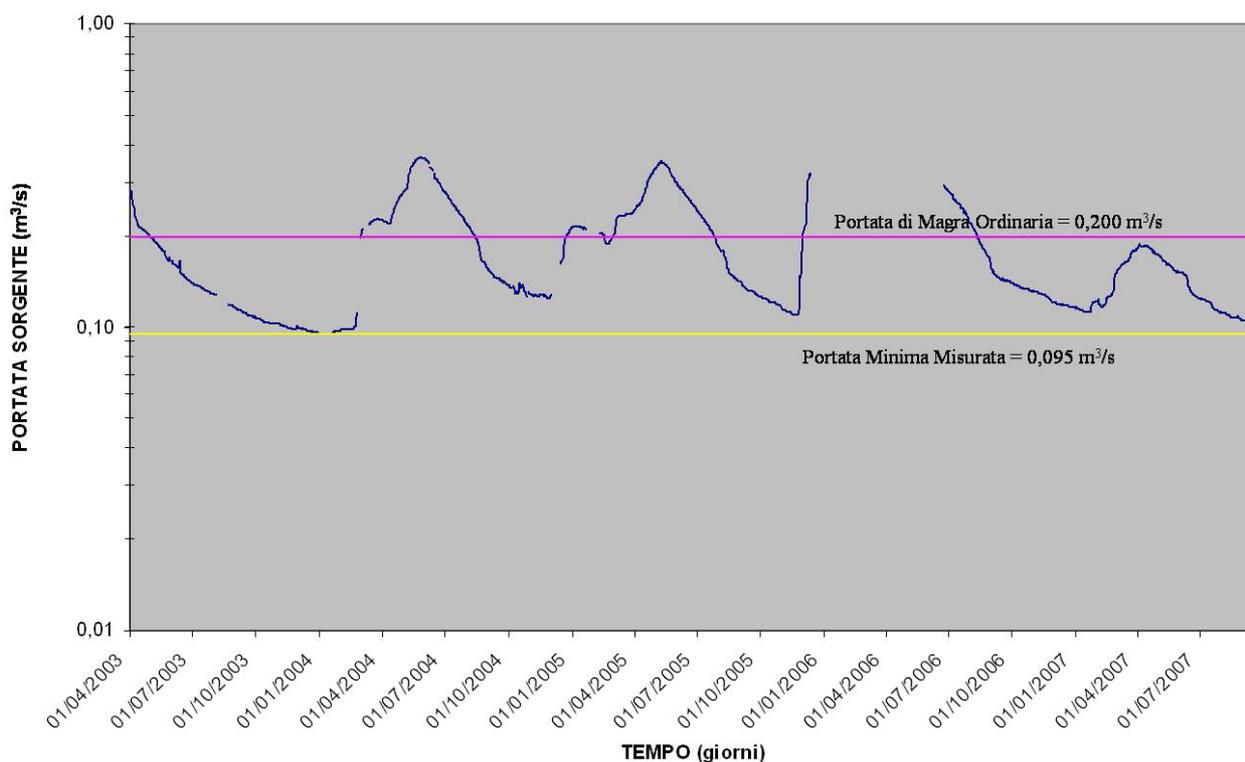


Figura 5.12 Idrogramma della sorgente Capodacqua di Foligno, in scala semilogaritmica, per il periodo 01/04/2003 – 19/07/2007.

Per ciascuno dei 5 anni idrologici individuati è stato calcolato, su un grafico semilogaritmico portata (m^3/s) – tempo (giorni), il valore del coefficiente α sulla curva di esaurimento.

Le curve di esaurimento relative ai diversi anni sono riportate nella Figura 5.13. Dall'analisi del grafico è possibile evidenziare come queste abbiano un andamento pressoché identico, descrivendo delle curve con una pendenza maggiore nel primo tratto e minore nel secondo. La netta presenza di due tratti di esaurimento a pendenza differente può essere attribuita ad una doppia modalità di svuotamento dell'acquifero fratturato alimentante la sorgente: il primo tratto ad esaurimento rapido potrebbe corrispondere ad una circolazione idrica in una rete di fratture evolute (tendenti al carsismo), cui segue, in tempi più lunghi, il contributo del reticolo di fratture a minor grado di

interconnessione, che garantisce il deflusso in fase di magra. La regolarità delle curve, infine, denota che la portata della sorgente non risente in maniera repentina delle precipitazioni.

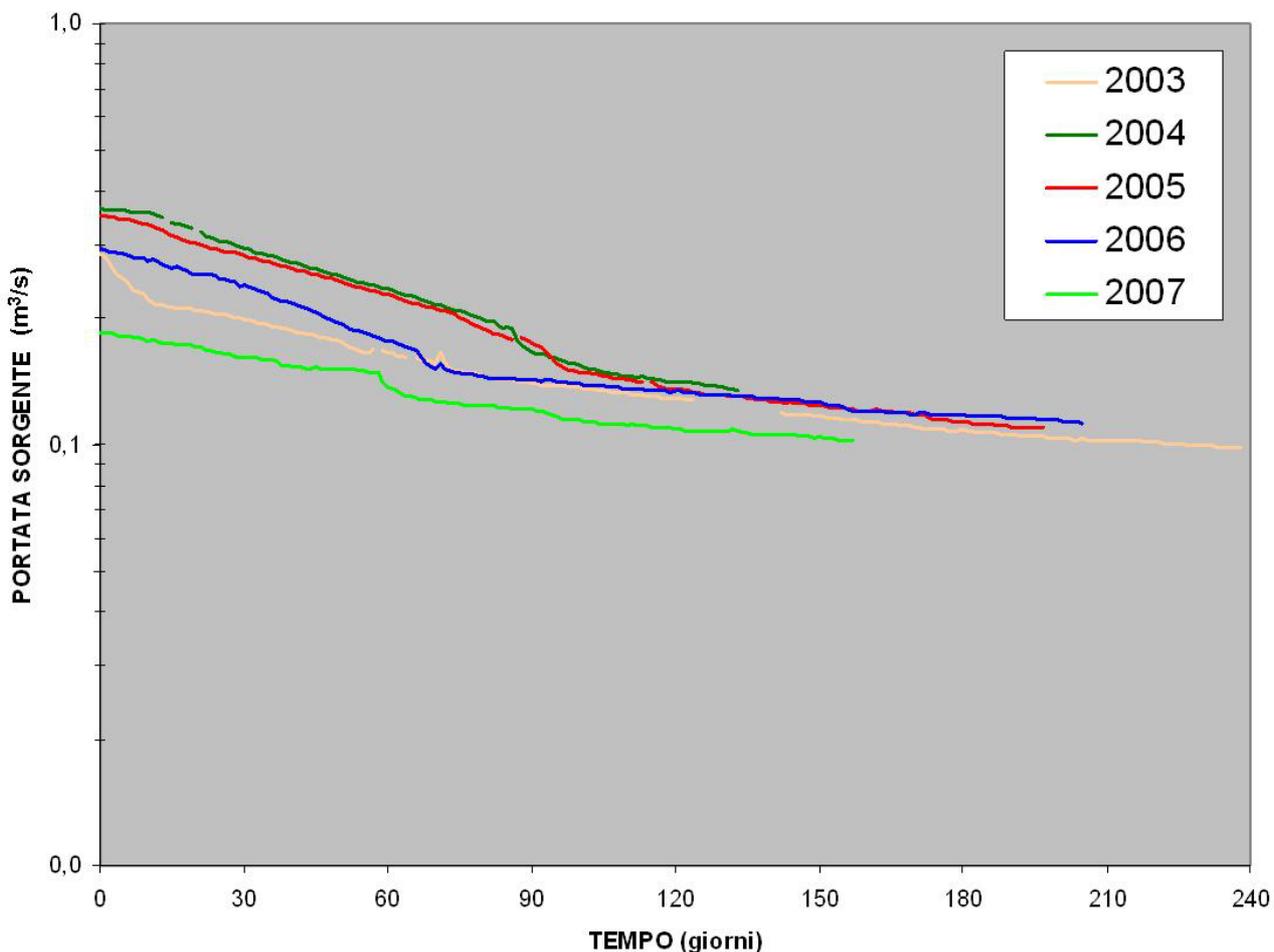


Figura 5. 13 Confronto delle curve di esaurimento della sorgente Capodacqua di Foligno riferite ai differenti anni idrologici.

Il valore dell' α medio, per il tratto a minor pendenza, è di 0,0032; l' α massimo, relativo al 2004, è di 0,0046; l' α minimo, corrispondente al 2006 è di 0,0021 (Tabella 5.6).

	α	Q_0 (m ³ /s)	Q_t (m ³ /s)	W_0 (Milioni m ³)	W_t (Milioni m ³)	t (giorni)	T_{rin} (%)	T_{mr} (anni)
2003	0,0034	0,2037	0,0907	5,2	2,9	238	55,5	1,80
2004	0,0046	0,2457	0,1333	4,6	2,1	133	45,8	2,19
2005	0,0031	0,1987	0,1079	5,5	2,5	197	45,7	2,19
2006	0,0021	0,1723	0,1120	7,1	2,5	205	35,0	2,86
2007	0,0027	0,1023	0,1001	3,3	0,1	157	34,6	2,89

Tabella 5. 6 Schema riassuntivo dei parametri caratteristici della sorgente Capodacqua di Foligno dal 2003 al 2007.

In conclusione, lo studio della portata erogata dalla sorgente di Capodacqua di Foligno ha permesso di evidenziare che:

- nell'anno 2007 la sorgente ha erogato una portata ridotta nei confronti di quella di magra ordinaria;
- il tasso di rinnovamento medio (T_{rin}) calcolato è del 43 % ed indica che l'acquifero ha una discreta capacità di autoregolamentazione;
- il tempo di rinnovamento medio (t_{mr}) utile affinché tutto il volume delle riserve regolatrici venga rinnovato è poco più di 2 anni;
- la circolazione nell'acquifero avviene con il contributo di due circuiti a diversa velocità e corrispondente modalità di esaurimento.

5.7. CONFRONTO DELLE DIVERSE SORGENTI

Dall'analisi degli idrogrammi delle sorgenti monitorate dall'ARPA Umbria è stato possibile determinare alcuni parametri caratteristici, riassunti nella Tabella 5.7.

Sorgente	α medio	Portata di Magra Ordinaria (m ³ /s)	Portata Minima Misurata (m ³ /s)	T _{rin} (%)	T _{mr} (anni)
Rasiglia Alzabove	0,0014	0,200	0,143	22,6	4,62
San Giovenale	0,0048	0,330	0,099	44,4	2,62
Capo d'Acqua di Nocera Umbra	0,0073	0,120	0,039	69,8	1,49
Lupa	0,0050	0,125	0,046	60,1	1,82
Bagnara	0,0122	0,135	0,001	87,3	1,15
Capodacqua di Foligno	0,0032	0,200	0,095	43,3	2,39

Tabella 5.7 Schema riassuntivo dei parametri caratteristici delle sorgenti monitorate dall'ARPA Umbria.

Dal confronto dei diversi parametri emerge che per α medi inferiori a 5×10^{-3} , cui corrispondono valori della portata di magra ordinaria maggiori o uguali a 200 l/s, il “Tasso di Rinnovamento medio” è inferiore al 50 % e conseguentemente il “Tempo di Rinnovamento Medio” delle riserve regolatrici è superiore a 2 anni. Tali sorgenti fanno capo ad acquiferi di grandi dimensioni, all'interno dei quali il deflusso sotterraneo è più regolare e di riflesso il rischio di esaurimento in caso di prolungati periodi di siccità è estremamente basso. È il caso delle sorgenti di Rasiglia Alzabove, di San Giovenale e di Capodacqua di Foligno.

In particolare, l'acquifero che alimenta la sorgente di Capodacqua di Foligno presenterebbe una doppia modalità di svuotamento, legato sia a fratture evolute (primo tratto della curva di esaurimento) sia a un reticolo di fratture a minore grado di interconnessione (secondo tratto della curva di esaurimento).

Per α maggiori di 5×10^{-3} , le cui sorgenti hanno valori di portata di magra ordinaria tra 100 e 150 l/s, i “Tassi di Rinnovamento medi” superano il 50 % e i “Tempi di Rinnovamento Medio” delle riserve regolatrici sono inferiori ai 2 anni. Le sorgenti di Capo d'Acqua di Nocera Umbra, di Lupa e di Bagnara sono infatti alimentate da acquiferi di dimensioni relativamente modeste, risultando particolarmente sensibili ai periodi siccitosi.

Le curve di esaurimento della sorgente di Capo d'Acqua di Nocera Umbra evidenziano un tratto iniziale della fase di esaurimento che è ipotizzabile ricondurre al contributo di litotipi meno permeabili alla ricarica dell'acquifero regionale basale, evidenziato dal secondo tratto della curve di esaurimento.

La sorgente di Bagnara presenta un valore particolarmente elevato del Coefficiente di Esaurimento (0,0122), cui corrisponde un rapido svuotamento dell'acquifero, probabilmente dovuto ad uno sviluppato sistema di fratture.

L'acquifero che alimenta la sorgente Lupa ha dimensioni relativamente modeste, come risulta confermato dalla ridotta portata erogata.

6. CARTA IDROGEOLOGICA DEL DOMINIO CARBONATICO E VULCANICO

La Carta Idrogeologica, realizzata alla scala 1:100.000 e presentata negli Allegati 1A e 1B, è il prodotto sintetizzante di tutte le informazioni utilizzate per la ricostruzione del modello idrogeologico concettuale presentato nella Carta delle Idrostrutture (Allegato 2), descritta nel capitolo successivo.

Come base di partenza per la realizzazione di questa carta è stata utilizzata la Carta Idrogeologica delle Regione Umbria alla scala 1:100.000, i cui contenuti sono stati integrati e, dove necessario, modificati con le informazioni ricavate dall'analisi critica del materiale disponibile descritto nel Capitolo 3.

La vastità del territorio cartografato e le numerose informazioni riportate al bordo della carta, hanno determinato la scelta di suddividere la cartografia in due fogli separati: Foglio Nord (Allegato 1A) e Foglio Sud (Allegato 1B). In entrambi i fogli è stata lasciata una fascia di sovrapposizione, per agevolare la lettura della carta; la legenda è riportata nel Foglio Nord, le tabelle con i dati quantitativi sono riportate nel Foglio Sud.

6.1. CONTENUTI DELLA CARTA

Le specifiche finalità applicative di questa carta hanno portato a mettere in evidenza soprattutto gli aspetti dell'idrogeologia regionale utilizzabili dagli Enti pubblici pianificatori e gestori della risorsa idrica (portata minima delle sorgenti, acquifero di prevalente alimentazione, ecc.), dando meno risalto ad informazioni di limitata utilità pratica, ma comunque di fondamentale importanza scientifica (caratteristiche chimico – fisiche della acque, ubicazione di sorgenti minori alimentate dai circuiti di circolazione idrica locale, ecc.).

In questo paragrafo verranno sinteticamente descritti i principali contenuti della Carta Idrogeologica, rimandando alla consultazione dei paragrafi successivi per un eventuale approfondimento di alcuni degli aspetti di maggior rilevanza idrogeologica.

Nella carta viene riportata la distribuzione dei 12 **complessi idrogeologici** in cui sono stati raggruppati tutti i litotipi affioranti nel territorio regionale. Tale classificazione è stata eseguita sulla base delle caratteristiche idrogeologiche riconosciute per ciascuna formazione; particolare cura è stata dedicata alla definizione dei complessi idrogeologici corrispondenti alle formazioni della successione carbonatica umbro-marchigiana. Per ciascun complesso, infatti, si forniscono precise indicazioni sul ruolo idrogeologico svolto e attendibili valutazioni del valore di infiltrazione efficace.

Alcune delle principali linee strutturali contenute nella carta (**faglie, sovrascorrimenti, faglie presunte**) assumono, nell'assetto idrogeologico ricostruito, importanti ruoli idrogeologici. In linea generale i fronti di sovrascorrimento regionale corrispondono a barriere idrauliche a cui si può attribuire la natura di limite a flusso nullo; le faglie dirette, prevalenti sui fianchi occidentali delle dorsali, favoriscono lo scambio idrico fra strutture adiacenti e costituiscono linee di drenaggio preferenziale per la circolazione idrica profonda.

Nella carta sono ubicate circa 100 **sorgenti puntuali e lineari** perenni con una portata uguale o maggiore di 30 l/s, distinte sia per classi di portata (indicazione fornita dalle dimensioni del simbolo) che per acquifero di prevalente alimentazione (in verde sono riportate le sorgenti prevalentemente alimentate dall'acquifero della scaglia, in blu quelle alimentate prevalentemente dall'acquifero regionale basale e in arancione quelle alimentate dall'acquifero vulcanico). Tra le sorgenti alimentate dall'acquifero basale (blu) sono state evidenziate con un contorno giallo, quelle

in cui l'arricchimento delle acque in magnesio e solfati verrebbe attribuito al contributo di una circolazione idrica profonda che coinvolgerebbe il substrato dolomitico – evaporitico triassico.

Con il colore azzurro vengono rappresentate le sorgenti di cui non è stato verificato l'acquifero di alimentazione. Queste sorgenti corrispondono a punti di recapito di circolazioni idriche sotterranee che si svolgono in strutture prevalentemente estese oltre i confini regionali, non oggetto di questo studio. Nel Foglio Sud è presente una tabella riassuntiva di tutte le informazioni quantitative fornite per ciascuna sorgente.

Con una simbologia differente e con il colore rosso vengono evidenziati i tratti di alveo in cui sono state rilevate sostanziali **perdite di portata in alveo**, che contribuirebbero all'alimentazione della falda sottostante. Le due perdite di portata segnalate, pur non essendo particolarmente consistenti (massimo 190 l/s), assumono un'importanza strategica nella progettazione di eventuali studi di vulnerabilità degli acquiferi.

Le sorgenti riportate in carta contribuiscono al mantenimento di un **reticolo idrografico perenne** che è stato evidenziato in carta con il colore viola.

Con i quadrati gialli vengono segnalati i **principali punti di controllo del livello piezometrico** degli acquiferi carbonatici e vulcanici ritenuti significativi. Questi punti corrispondono ai piezometri della rete di monitoraggio quali – quantitativo dell'ARPA Umbria che ricadono nelle aree studiate e ad alcune perforazioni a scopo esplorativo, di cui è stato possibile reperire le informazioni quantitative necessarie. Le informazioni relative ai punti di controllo sono sintetizzate nella tabella contenuta nel Foglio Sud.

Si è ritenuto opportuno fornire alcune informazioni anche sulle **principali derivazioni per scopi idroelettrici** di importanza regionale che interessano i corsi d'acqua del dominio carbonatico. Sono stati riportati in carta gli schemi delle derivazioni con la valutazione della portata derivata. Le derivazioni più importanti sono quelle presenti lungo tutto il corso del Fiume Nera e di alcuni suoi affluenti e in alcuni tratti del corso del Fiume Menotre, affluente del Fiume Topino. Nel bacino del Fiume Nera il confronto fra l'entità delle portate naturali erogate dalle sorgenti e l'entità dei prelievi, porta a constatare che l'utilizzazione per scopi idroelettrici di acque sorgive di ottima qualità è prevalente sugli usi idropotabili.

Nella carta sono riportate le tracce di cinque **sezioni idrogeologiche**, redatte ad una scala di maggior dettaglio (1:50.000) nell'Allegato 3 di questa relazione.

Esclusivamente per il dominio vulcanico è stato riportato in carta il probabile andamento della **superficie piezometrica**, ricostruito da ATO Umbria 2 - S.I.I. S.c.p.a. UMBRIADUE S.c.a.r.l. - SEVERN TRENT ITALIA S.p.a. (2007).

6.2. COMPLESSI IDROGEOLOGICI

La rappresentazione dei caratteri geologici del territorio è stata notevolmente semplificata per evidenziare il ruolo idrogeologico assunto dai litotipi affioranti. Ciascuna formazione affiorante, infatti, è stata attribuita ad uno specifico complesso idrogeologico in base al grado di attitudine ad assorbire ed immagazzinare le acque meteoriche.

Sono stati individuati 12 complessi idrogeologici che vengono indicati in carta con colori convenzionali:

- i toni rosati indicano affioramenti di litotipi dotati di una buona capacità di assorbire ed immagazzinare le acque meteoriche, che costituiscono le aree di ricarica degli acquiferi carbonatici regionali;
- i toni di grigio (rappresentati anche da retinati) corrispondono agli affioramenti di litotipi caratterizzati da scarsa permeabilità e assumono prevalentemente il ruolo di aquiclude;
- i toni azzurri (rappresentati da retinati) corrispondono agli affioramenti delle formazioni prevalentemente continentali costituite da depositi di copertura e travertini, con attitudine all'assorbimento delle acque variabile in funzione dell'incidenza del loro contenuto limoso e argilloso;
- il colore arancione indica l'affioramento dei litotipi vulcanici, la cui permeabilità primaria e secondaria assicura la ricarica degli acquiferi regionali vulcanici.

Non rientrano in questa classificazione i litotipi rappresentati dal colore viola le cui caratteristiche idrogeologiche non sono ancora sufficientemente note.

Di ciascun complesso idrogeologico verranno di seguito descritte le principali caratteristiche, riportate anche nella legenda della carta.

Complesso dei depositi detritici (Pleistocene –Olocene)

Questo complesso comprende tutti i depositi di copertura antichi e recenti indifferenziati, costituiti prevalentemente da ghiaie calcaree eterometriche più o meno cementate (conoidi detritiche, depositi morenici).

Al complesso è stata attribuita un'elevata capacità di infiltrazione delle acque meteoriche che consente l'alimentazione locale di piccole falde sospese, contribuisce alla ricarica degli acquiferi carbonatici sottostanti e costituisce un ottimo collegamento idraulico fra gli acquiferi carbonatici delle dorsali montuose e quelli alluvionali.

Complesso dei travertini (Pleistocene –Olocene)

E' costituito da travertini litoidi, terrosi e detritici talvolta con intercalazioni sabbioso-argillose, che affiorano generalmente lungo il fianco sud – occidentale di alcune dorsali carbonatiche (Monti Martani, Monti di Narni e Amelia e Monte Malbe). La presenza dei travertini indica locali risalite di acque con elevato contenuto in gas lungo i lineamenti tettonici distensivi plio – quaternari, che bordano i fianchi occidentali delle strutture carbonatiche. Dal punto di vista idrogeologico si riconosce a questo complesso una discreta permeabilità sia per porosità che per fratturazione.

Complesso dei depositi alluvionali, fluvio-lacustri e marini (Pliocene –Olocene)

In questo complesso sono compresi:

- i depositi alluvionali, localmente terrazzati, costituiti da limi, sabbie e ghiaie che affiorano nelle valli;
- i depositi fluvio-lacustri limoso-sabbiosi delle conche intramontane;
- i depositi marini, costituiti prevalentemente da argille e argille-sabbiose, che affiorano esclusivamente nella valle del Fiume Tevere.

Dove prevale una componente ghiaiosa e sabbiosa sostenuta da un substrato poco permeabile, questo complesso è in grado di ospitare falde multistrato di importanza regionale (acquifero della Valle Umbra, acquifero della Valle del Tevere). Per la ricarica di queste falde sono fondamentali i contributi idrici sotterranei provenienti dalle dorsali carbonatiche adiacenti.

I depositi poco permeabili delle conche intramontane favoriscono l'infiltrazione concentrata dove sono presenti inghiottitoi, svolgendo un ruolo importante nell'alimentazione indiretta degli acquiferi carbonatici sottostanti.

Complesso vulcanico (Pleistocene)

In questo complesso sono state accorpate tutte le formazioni corrispondenti alle lave e piroclastiti riferibili alle manifestazioni eruttive dell'apparato vulsino settentrionale, per la cui descrizione si rimanda al Capitolo 2 e alla letteratura presente sull'argomento.

Il Complesso vulcanico contiene l'acquifero regionale vulsino, il cui spessore, nel territorio umbro, varia da alcune decine di metri a qualche centinaio di metri. La ricarica dell'acquifero è assicurata dalla capacità di assorbimento delle piroclastiti (dotate di una discreta permeabilità primaria) e dall'elevata capacità di infiltrazione delle lave fratturate, che presentano una buona permeabilità secondaria. Dove le lave si presentano compatte assumono un ruolo di aquitard locale, nella circolazione idrica profonda.

Per il complesso idrogeologico nel suo insieme è stata stimata un'infiltrazione efficace media di 250 mm/anno.

Complesso marnoso – arenaceo (Oligocene-Miocene)

Questo complesso riunisce tutte le formazioni terrigene oligo - mioceniche che circondano le dorsali carbonatiche mesozoiche e costituiscono la copertura della maggior parte del territorio regionale. Si tratta di arenarie e marne in ritmica alternanza con intercalazioni di argille e calcareniti, il cui spessore totale è variabile da zona a zona, fino a valori superiori al migliaio di metri.

Il complesso nell'insieme è privo di acquiferi significativi di interesse regionale. Dove le calcareniti sono particolarmente fratturate e/o le arenarie maggiormente alterate si trovano acquiferi epidermici discontinui che alimentano piccole sorgenti e sostengono il flusso di base di corsi d'acqua a regime stagionale. Lo studio realizzato non ha previsto l'approfondimento delle caratteristiche idrogeologiche di questo complesso che, a scala regionale, assume il ruolo di acquicluda nei confronti degli acquiferi carbonatici.

I complessi idrogeologici che verranno descritti di seguito corrispondono alla classificazione in chiave idrogeologica delle formazioni appartenenti alla Successione umbro – marchigiana. La loro caratterizzazione idrogeologica presenta un grado di approfondimento maggiore in quanto oggetto specifico dello studio presentato. In particolare, l'applicazione dei metodi di studio dell'idrogeologia quantitativa ha consentito una valutazione dell'infiltrazione efficace per ciascun complesso calcareo individuato. Per una migliore comprensione dei rapporti fra i termini della successione umbro – marchigiana e i complessi idrogeologici di seguito descritti si può fare riferimento allo schema di figura 6.1, riportato anche nella carta idrogeologica.

Complesso calcareo – marnoso (Eocene – Miocene)

Appartengono a questo Complesso le formazioni marnose e calcareo – marnose di chiusura della successione umbro – marchigiana (Scaglia variegata, Scaglia cinerea e Bisciario). Gli affioramenti di questo complesso circondano con continuità le strutture carbonatiche; l'elevata componente marnosa attribuisce a questo complesso un importante ruolo di chiusura idraulica nei confronti degli acquiferi contenuti nei complessi calcarei con i quali viene a contatto. Dove la componente calcarea è più abbondante si possono trovare, all'interno di questo complesso, falde di limitata estensione e di scarsa rilevanza regionale.

Complesso della scaglia calcarea (Cretacico – Eocene)

Nel complesso sono state riunite le formazioni della Scaglia Bianca e della Scaglia Rossa, costituite da calcari micritici e calcari marnosi bianchi e rosati stratificati con spessore totale compreso fra 200 e 500 m. Gli affioramenti di questo complesso costituiscono l'area di alimentazione di acquiferi

di importanza regionale limitati lateralmente dal Complesso calcareo – marnoso e sostenuti alla base dal Complesso delle marne a fucoidi. L'incidenza della componente marnosa e gli effetti dei processi di intensa laminazione influiscono in modo determinante sull'attitudine all'infiltrazione efficace di questo complesso.

Nel territorio regionale, infatti, i valori medi di infiltrazione efficace variano localmente da 150 a 400 mm/anno.

Complesso delle marne a fucoidi (Cretacico inferiore)

Questo complesso corrisponde alla formazione delle Marne a fucoidi, costituita da calcari marnosi e marne calcaree con liste e noduli di selce, nella parte superiore, marne e marne argillose nella parte inferiore. Lo spessore del complesso varia da 50 a 100 m, e in corrispondenza di fronti tettonici compressivi si riduce notevolmente a causa di processi di laminazione.

Per le sue caratteristiche di continuità stratigrafica, questo complesso assume, a scala regionale, il ruolo di acquicluda, separando l'acquifero della scaglia calcarea da quello basale, contenuto nei complessi della maiolica e della corniola – calcare massiccio; localmente, dove dislocato da faglie con rigetto superiore al suo spessore, il complesso consente un limitato scambio idrico fra i due acquiferi regionali.

Complesso della maiolica (Giurassico – Cretacico inferiore)

Questo complesso è formato dai calcari micritici bianchi stratificati della formazione della Maiolica, che ha uno spessore variabile da alcune decine di metri (alti strutturali con successione giurassica condensata) a 400 – 500 m (zone di bacino con successione giurassica completa). Gli affioramenti di questo complesso costituiscono l'area di alimentazione di estesi acquiferi di importanza regionale; il Complesso della maiolica, insieme a quello della corniola – calcare massiccio, infatti, è sede dell'acquifero basale regionale, chiuso lateralmente dal Complesso delle marne a fucoidi e sostenuto alla base dal Complesso dolomitico - evaporitico.

Nel territorio regionale sono stati valutati valori medi di infiltrazione efficace compresi fra 350 e 600 mm/anno.

Complesso calcareo-silico-marnoso (Giurassico superiore)

Questo complesso comprende tutte le formazioni fra la Corniola e la Maiolica, note in letteratura con differenti nomi (Scisti ad Aptici, Marne del Sentino, Diaspri, Rosso Ammonitico, Formazione del Bosso, ecc.). Si tratta di una successione di calcari sottilmente stratificati, intercalati a diaspri ed argille in varia proporzione. Ha uno spessore compreso fra poche decine di metri e 200 m.

In alcune situazioni di sedimentazione di alto strutturale il complesso calcareo – silico – marnoso può essere anche del tutto assente, assicurando una perfetta continuità idraulica fra il complesso della Maiolica e quello della Corniola.

A scala regionale, il complesso assume il ruolo di aquitard all'interno dell'acquifero basale. Localmente, dove si presenta poco fratturato, con il massimo spessore e con una marcata componente argillosa, costituisce un aquiclude locale che può sostenere falde sospese del Complesso della maiolica.

Complesso corniola – calcare massiccio (Giurassico)

Questo complesso corrisponde alle formazioni della Corniola (calcarei micritici stratificati con intercalazioni pelitiche di spessore variabile fra 140 – 400 m), e del Calcare massiccio (calcarei micritici e bioclastici in grosse bancate con spessori superiori a 700 m).

Gli affioramenti di questo complesso costituiscono l'area di alimentazione di estesi acquiferi di importanza regionale. Il Complesso corniola – calcare massiccio, insieme a quello della maiolica è sede dell'acquifero basale regionale, chiuso lateralmente dal Complesso delle marne a fucoidi e sostenuto alla base dal Complesso dolomitico - evaporitico.

A questo complesso è stata attribuita anche la formazione del Bugarone (calcarei nodulari e calcari marnosi di spessore variabile tra 0 e 50 m), eteropica con le formazioni del Complesso calcareo – silico - marnoso. La litologia prevalentemente calcarea di questa formazione non consente di distinguere un ruolo idrogeologico differente da quello delle altre formazioni del complesso. Solo localmente, dove probabilmente la componente marnosa risulta più marcata, può costituire una soglia di permeabilità relativa inferiore che favorisce l'emergenza delle acque contenute nella falda del Calcare Massiccio (Sorgenti di Santo Marzio). Lo studio di queste situazioni locali non è compreso tra gli obiettivi della ricerca idrogeologica regionale qui presentata.

Nel territorio regionale sono stati valutati valori medi di infiltrazione efficace compresi fra 300 e 800 mm/anno, in funzione degli apporti meteorici.

Complesso dolomitico – evaporitico (Triassico)

Questo complesso corrisponde alla formazione nota in letteratura come “Anidriti di Burano” (Martinis & Pieri, 1964) e alla formazione del Monte Cetona, comunemente nota come “Strati a *Rhaetavicula contorta*” (Ciarapica, 1994). Il complesso è costituito da anidriti e dolomie in alternanza, in affioramento a nord di Perugia, nei Monti Martani e a Monte Malbe, dove sono presenti brecce calcaree (“Calcare Cavernoso”), prodotto residuale dell'asportazione in soluzione dei solfati (Ciarapica, 1994). Lo spessore del complesso, ricavato da sondaggi profondi, è sicuramente superiore a 1000 m. Al tetto è localmente presente un'alternanza di calcari, marne e dolomie (“Strati a *Rhaetavicula contorta*”) con uno spessore massimo di 70 m.

Il ruolo idrogeologico di questo complesso non è ancora sufficientemente noto; la scarsa estensione degli affioramenti e l'assenza di emergenze significative alimentate esclusivamente dagli affioramenti di questo complesso, rendono difficili valutazioni quantitative delle sue caratteristiche

idrogeologiche. Si presuppone che gli orizzonti dolomitici, particolarmente fratturati, siano sede di una circolazione idrica profonda, mentre gli orizzonti evaporitici possano essere considerati aquicludes privi di circolazione idrica significativa. Nel suo insieme il complesso costituirebbe un aquitard posto alla base dell'acquifero regionale basale.

Le emergenze di acqua sotterranea alimentate dall'acquifero regionale basale e arricchite nella componente solfatico – magnesiacca, potrebbero essere interpretate come punti di recapito di una circolazione idrica profonda, diffusa a livello regionale, che coinvolgerebbe il substrato dolomitico – evaporitico e di cui attualmente non sono note le dinamiche principali.

Si presuppone che l'affioramento degli orizzonti dolomitici e calcarei di questo complesso contribuisca alla ricarica dell'acquifero regionale basale.

6.3. SCHEMA DEI RAPPORTI FRA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA, COMPLESSI IDROGEOLOGICI E ACQUIFERI

Nella figura 6.1 viene presentato lo schema dei rapporti fra la successione stratigrafica, i complessi idrogeologici e gli acquiferi individuati, riportato anche nella Carta Idrogeologica. In questo schema risulta ben evidente come i complessi caratterizzati da una buona capacità di infiltrazione efficace siano delimitati al letto e al tetto da complessi relativamente impermeabili. Questa particolare alternanza di complessi con caratteristiche idrogeologiche differenti, associata allo stile tettonico regionale prevalentemente plicativo, determina l'assetto idrostrutturale del dominio carbonatico umbro - marchigiano caratterizzato da potenti acquiferi basali contenuti nel nucleo delle dorsali anticlinaliche, ma anche da significativi acquiferi periferici contenuti nei fianchi delle dorsali e sviluppati prevalentemente nei settori periclinali settentrionali e meridionali.

A scala regionale è possibile, quindi, individuare due circolazioni idriche sotterranee riferibili ai seguenti acquiferi individuati:

- l'**acquifero regionale basale**, contenuto nei Complessi della maiolica e della corniola – calcare massiccio, in cui la circolazione idrica è condizionata dalla presenza del complesso calcareo – silico – marnoso (aquitard) che, influenzando le direttrici di flusso principali, indirizza il drenaggio sotterraneo verso i principali punti di recapito. Questo complesso costituisce una sorta di spartiacque sotterraneo locale, la cui posizione deve essere tenuta in considerazione nella delimitazione delle aree di ricarica delle sorgenti alimentate dall'acquifero basale.
- L'**acquifero della scaglia**, contenuto nel Complesso della scaglia calcarea, caratterizzato da una circolazione idrica estremamente frammentata e sviluppata nei settori periferici delle dorsali anticlinaliche e nei nuclei delle sinclinali. La falda dell'acquifero della scaglia può trovarsi localmente sospesa sulla falda dell'acquifero basale, sostenuta dall'aquiclude delle marne a fucoidi. Le due falde sovrapposte hanno generalmente circolazioni idriche indipendenti, con quote di saturazione diverse.

Dove viene a mancare l'isolamento idraulico dell'aquiclude delle marne a fucoidi i due acquiferi risultano indifferenziati dando luogo ad imponenti circolazioni idriche continue.

SCHEMA DEI RAPPORTI TRA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA, COMPLESSI IDROGEOLOGICI E ACQUIFERI

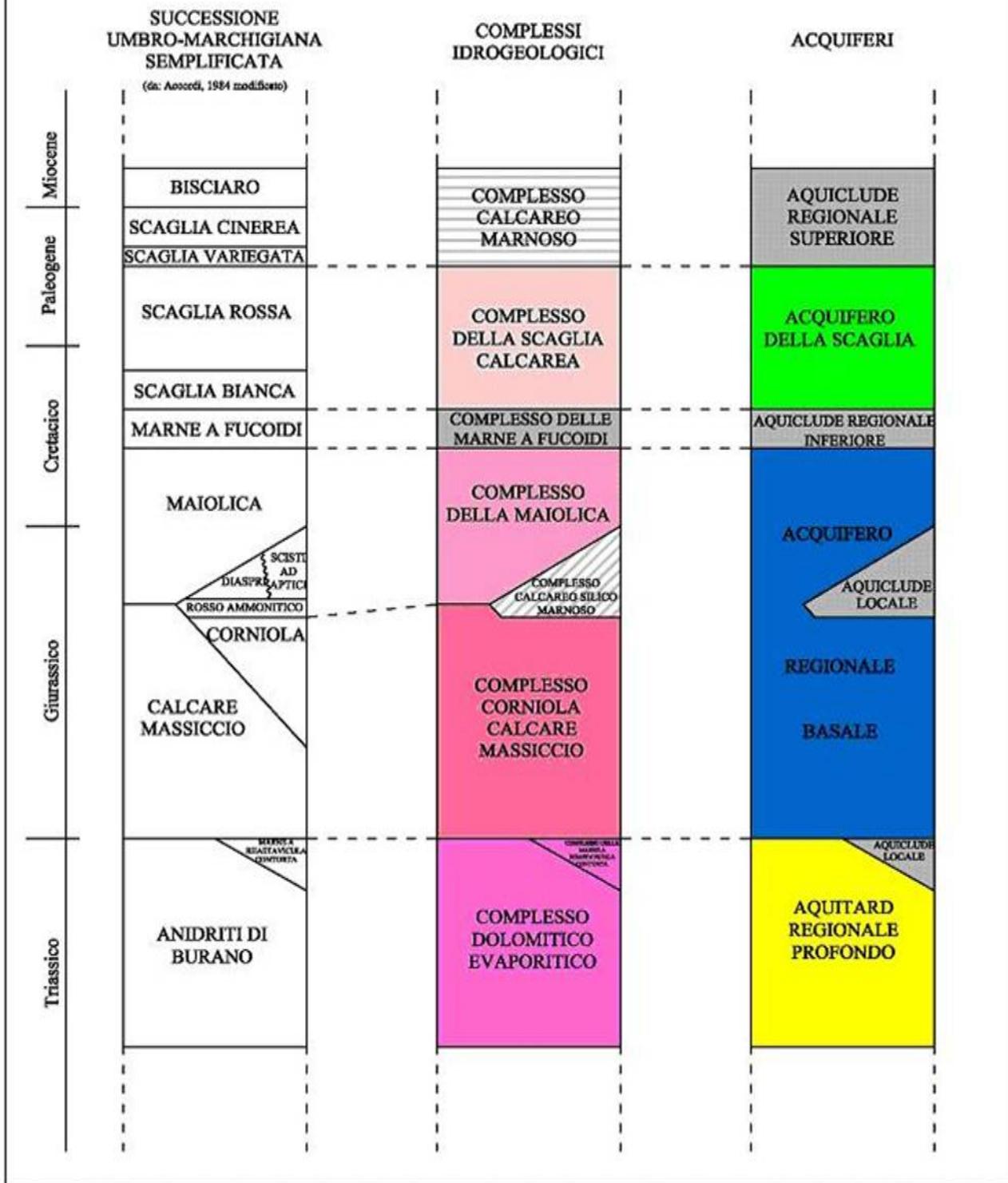


Figura 6.1 Schema dei rapporti tra successione stratigrafica, complessi idrogeologici e acquiferi.

6.4. SORGENTI

In questo studio è stata attribuita un'importanza regionale alle sorgenti perenni puntuali e lineari con portata uguale o maggiore di 30 l/s; la portata di magra ordinaria di queste sorgenti è stata utilizzata nel calcolo dei valori di infiltrazione efficace e del bilancio idrogeologico. Solo in due casi specifici (Idrostruttura di Monte Cucco e modello concettuale dell'acquifero vulsino) sono state prese in esame anche alcune sorgenti minori, non riportate in carta. In questi casi, infatti, il contributo complessivo delle sorgenti minori non è stato ritenuto trascurabile rispetto alla portata complessivamente erogata dalla struttura considerata.

Tutte le sorgenti di importanza regionale sono indicate in carta con un numero a cui si fa riferimento per la consultazione della relativa tabella. Nella medesima, oltre al numero di riferimento, viene riportato il **tipo di sorgente** che può essere “puntuale”, “lineare” o “puntuale+lineare”. Il particolare assetto geologico – strutturale e geomorfologico del dominio umbro – marchigiano ha favorito l'impostazione di un reticolo di drenaggio attivo trasversale all'asse delle strutture e profondamente inciso, tanto da raggiungere la quota di saturazione degli acquiferi contenuti nelle dorsali. In queste condizioni, alcuni tratti di alveo costituiscono il punto di recapito della locale circolazione idrica sotterranea, assumendo le caratteristiche di una sorgente. Questo tipo di sorgente viene definita “lineare” per distinguerla dai tradizionali punti di emergenza delle acque sotterranee, definiti come sorgenti “puntuali”.

La definizione “puntuale+lineare” è riferita ai casi in cui l'emergenza “lineare” di acque sotterranee, misurata come incremento di portata in alveo, comprende anche il contributo, non specificamente misurato, di sorgenti puntuali presenti sui versanti del tratto di alveo considerato.

Per ogni sorgente, nella tabella, viene specificata la regione e l'idrostruttura dove è localizzata, l'acquifero di alimentazione e la quota di emergenza. Alle sorgenti lineari è stato necessario attribuire due quote diverse corrispondenti all'estremità inferiore e superiore del tratto di alveo in cui si verifica l'incremento di portata.

Per ogni sorgente si forniscono due valori di portata: la portata di magra ordinaria e la portata minima misurata.

La **portata di magra ordinaria**, generalmente inferiore alla portata media della sorgente, è stata calcolata come media delle portate di magra misurate. Per portata di magra si intende la portata integralmente alimentata dalle acque di falda, che per le sorgenti lineari non deve essere influenzata dal contributo di acque di ruscellamento superficiale e/o epidermico. La misura della portata di magra va eseguita dopo almeno sette – quindici giorni dall'ultimo evento piovoso significativo, per garantire l'esaurimento della componente superficiale ed epidermica del deflusso. Le condizioni

ottimali per la misura della portata di magra possono essere raggiunte anche in minor tempo per le sorgenti puntuali, dove non è presente il contributo del ruscellamento. Nella valutazione della portata delle sorgenti lineari, che si ottiene dal confronto fra i valori di portata misurati contemporaneamente in due sezioni seriate di alveo, l'influenza del ruscellamento superficiale ed epidermico si esaurisce nei tempi esposti.

La **portata minima misurata** corrisponde alla portata di magra più bassa misurata durante il periodo di osservazione indicato. Si tratta, quindi, di un valore istantaneo, riferibile alla data di misurazione riportata accanto al valore stesso.

Si ritiene importante sottolineare che la portata minima misurata non corrisponde alla portata minima assoluta del periodo, in quanto i dati disponibili non sono stati raccolti con un monitoraggio continuo nel tempo, ma in campagne di misura occasionali che non necessariamente coincidono con i periodi di magra assoluta. Questa differenza è ben evidente nella sorgente Capo Vena di Rasiglia (N° 47), che nei periodi siccitosi sostiene l'intero flusso di base del Fiume Menotre. La serie di dieci misure eseguite in corrispondenza della sorgente nel periodo 1988 - 1998 fornisce un valore minimo di portata non inferiore a 600 l/s. Misure periodiche di portata nell'alveo del Fiume Menotre, a valle del contributo della sorgente Capo Vena, relative allo stesso periodo di osservazione, forniscono un valore di portata minima misurata di 220 l/s.

Nell'ultime due colonne della tabella vengono riportate le informazioni relative al **numero di misure**, utilizzato per il calcolo della portata di magra ordinaria e il **periodo** in cui queste misure sono state eseguite. Nei casi in cui il numero di misure è definito "ARPA" e/o "periodico", si è tenuto conto, nella valutazione della portata di magra ordinaria, anche dei dati di portata (prevalentemente giornalieri) rilevati in continuo dalla Regione Umbria o da altri Enti gestori.

L'evidente disomogeneità sia dei periodi di osservazione che del numero di misure rende necessarie alcune precisazioni:

- la rappresentatività del valore di portata proposto è proporzionale sia al numero di misure che alla durata del periodo di osservazione. Si ritiene, quindi, che i valori di portata desunti da un numero di misure inferiore a 3, debbano considerarsi solo indicativi dell'ordine di grandezza della portata e non del suo effettivo valore;
- poiché i valori di portata minima misurati sono riferiti a date differenti, non sono indicativi di uno stesso periodo siccitoso. Questi valori sono stati, comunque, utilizzati per ottenere un ordine di grandezza sufficientemente rappresentativo di un periodo medio di crisi idrica. Indicazioni quantitative di maggior dettaglio utilizzabili per la gestione di crisi idriche prolungate, vengono fornite nel Capitolo 5, in cui sono presentati i risultati dell'analisi delle curve di esaurimento di alcune sorgenti.

6.5. MODELLO CONCETTUALE DELL'ACQUIFERO VULCANICO

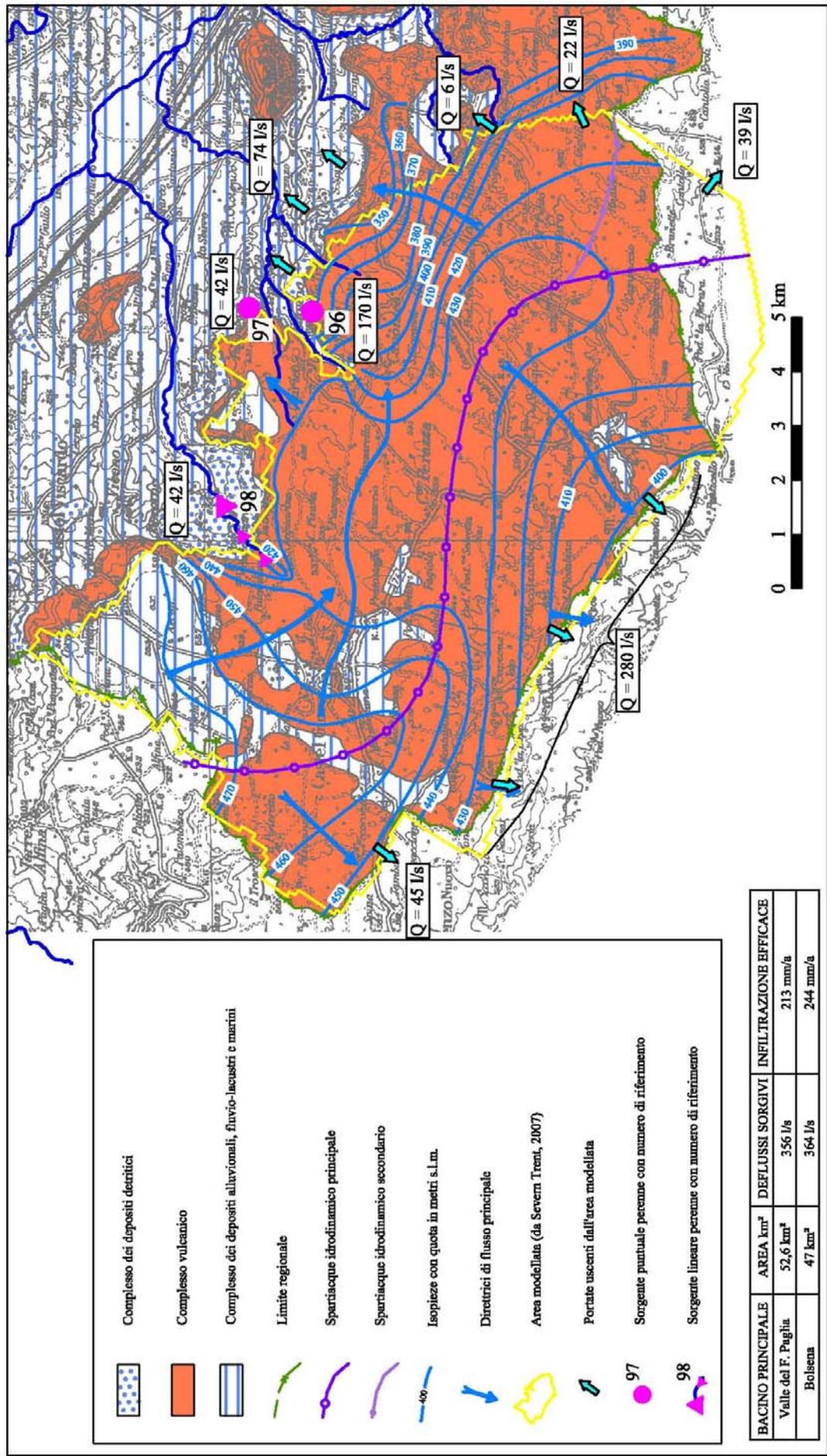
L'area di affioramento del dominio vulcanico umbro comprende la zona tra Orvieto, Castel Giorgio e Bolsena. L'assetto idrogeologico è rappresentato da un sistema multistrato molto complesso, con spessori variabili tra le poche decine di metri, nella parte settentrionale, fino a qualche centinaio di metri, verso il settore meridionale. La sequenza stratigrafica è caratterizzata dall'alternanza di depositi piroclastici e colate laviche, con permeabilità differenti in funzione della porosità e del grado di fratturazione, che poggiano su un substrato argilloso pliocenico a bassa permeabilità. Nel loro insieme le vulcaniti possono essere considerate come un unico complesso idrogeologico, sede di un acquifero di interesse regionale, di tipo monofalda, con un'area di circa 116 km², il cui livello di base a scala regionale, è rappresentato dal Lago di Bolsena (300 m s.l.m.), ubicato fuori dal territorio umbro, sostenuto dal substrato argilloso impermeabile. Soltanto una porzione limitata dell'acquifero vulsino trova recapito in sorgenti localizzate nel territorio umbro. La circolazione idrica sotterranea è condizionata dalla morfologia del substrato, influenzata dall'andamento del paleoreticolo e dall'evoluzione tettonica della grande depressione vulcano-tettonica di Bolsena. Lo studio idrogeologico del settore vulsino umbro trattato in questo lavoro è stato estrapolato dalla *“Modellazione matematica quanti-qualitativa dell'acquifero per la verifica dei volumi estraibili compatibili con il bilancio idrogeologico e con gli attuali usi delle acque”* effettuata per il *“Progetto per la realizzazione di perforazioni esplorativo-produttive e completamento dello studio geologico-idrogeologico dell'acquifero vulcanico nel territorio della regione Umbria”* da ATO Umbria 2 et alii (2007). Obiettivo del “Progetto” è stato quello di stabilire, con maggiore dettaglio, le risorse idriche disponibili dell'Acquifero vulsino umbro e di individuare ulteriori siti di ubicazione di perforazioni esplorativo-produttive. Questo lavoro ha completato lo studio idrogeologico dell'Acquifero vulcanico, realizzato precedentemente sempre da ATO Umbria 2 et alii (2005), e lo ha integrato con la modellazione matematica quanti-qualitativa dell'acquifero. In una prima fase era stato sviluppato un modello di flusso monostrato; il risultato della simulazione, accompagnato da analisi chimiche, ha evidenziato l'inadeguatezza della rappresentazione dell'acquifero in questione e ha suggerito una modellazione bistrato con risultati più attendibili. Nella modellazione non è stata considerata la porzione posta ad oriente dell'abitato di Porano, zona Canale Nuovo, visto che risulta caratterizzata da una copertura vulcanica ridotta e isolata, in termini idrogeologici, dalla restante parte dell'acquifero presente nella Regione Umbria.

Nel settore umbro, dall'analisi della piezometria è stato identificato uno spartiacque idrodinamico sotterraneo, con quote comprese tra 480 m e 430 m s.l.m., che evidenzia due direzioni di flusso sotterraneo opposte, a NE verso la valle del Fiume Paglia e a SO verso il Lago di Bolsena. La zona

è caratterizzata da due sorgenti puntuali principali, Sugano e Tione, con portata complessiva erogata di circa 170 l/s e da una serie di sorgenti minori con portate inferiori ai 10 l/s, non rappresentate sulla Carta Idrogeologica allegata (Allegato 1). Al margine nord-orientale dell'area investigata, in particolare nella zona di testata del Torrente Romealla e del Fosso Montacchione, sono presenti delle sorgenti lineari, mentre presso Rocca Ripesena, in corrispondenza del limite dell'affioramento delle vulcaniti, si hanno una serie di emergenze diffuse.

Sulla base dei risultati ottenuti da ATO Umbria 2 et alii (2007), viene qui riproposto il modello idrogeologico concettuale. Dal calcolo di bilancio si è ottenuto: per il settore di acquifero che drena verso il Fiume Paglia un valore di infiltrazione efficace media pari a 213 mm/a, su un'area di circa 52,6 km², cui corrisponde una portata complessiva delle sorgenti di circa 356 l/s; per il settore che alimenta un deflusso preferenziale verso il Lago di Bolsena è stata calcolata un'infiltrazione efficace di 244 mm/s, su un'area di 47 km², e un valore medio delle portate uscenti di circa 364 l/s (Figura 6.2). Questi risultati sono compatibili con le conclusioni ottenute da Capelli et alii (2005) che, individuato lo spartiacque principale tra Castel Giorgio e Bagnoregio, distinguono il bacino idrogeologico del Fiume Marta, alimentato dai Monti Vulsini, con un'infiltrazione efficace di 242 mm/a, e il bacino idrogeologico dei corsi d'acqua alimentati dai Monti Vulsini nord-orientali, con 234 mm/a. Altro lavoro da menzionare è il "Piano Lotti" (Regione Umbria, 1991), in cui viene ricavato un valore di infiltrazione efficace pari a circa 250 mm/a, confrontabile con i risultati ottenuti da questo lavoro.

Dragoni & Di Matteo (2006a) hanno utilizzato per il calcolo di bilancio il metodo "indiretto", attraverso il quale dalla valutazione degli afflussi meteorici, e tenendo conto del contesto geologico, morfologico, idrologico e climatico, si ricostruisce l'intero ciclo idrogeologico, fino alla valutazione delle portate erogate dalle sorgenti. Questo lavoro prende in considerazione un periodo di osservazione delle stazioni pluviometriche che va dal 1965 al 2003, mentre per le stazioni termometriche è stata presa come riferimento la temperatura registrata ad Acquapendente. E' stato quindi realizzato un bilancio idrogeologico medio annuo riferito al periodo 1965-2003, distinto per fasce altimetriche e per complessi idrogeologici. I valori dell'infiltrazione efficace sono stati ricavati calcolando l'eccedenza idrica e moltiplicando i valori ottenuti per dei coefficienti di infiltrazione potenziale ripresi da bibliografia.



-  Complesso dei depositi detritici
-  Complesso vulcanico
-  Complesso dei depositi alluvionali, fluvio-lacustri e marini
-  Limite regionale
-  Spartiacque idrodinamico principale
-  Spartiacque idrodinamico secondario
-  Isoipse con quota in metri s.l.m.
-  Direttrici di flusso principale
-  Area modellata (da Severn Trent, 2007)
-  Portate uscenti dall'area modellata
-  97
-  98

BACINO PRINCIPALE	AREA km ²	DEFLUSSI SORGIVI	INFILTRAZIONE EFFICACE
Valle del F. Paglia	52,6 km ²	356 l/s	213 mm/a
Bolsena	47 km ²	364 l/s	244 mm/a

Figura 6.2 – Modello Idrogeologico Concettuale modificato (da ATO2 Umbria et alii (2007))

La precipitazione media (900 mm/a) è stata ottenuta dalla relazione quota-precipitazione, mentre il valore di evapotraspirazione (580 mm/a) è stato calcolato con la formula di Turc.

Sono stati individuati tre bacini principali delimitati, entro il limite regionale, da spartiacque sotterranei di tipo idrodinamico. La zona nord-orientale corrisponde alla zona della valle del Fiume Paglia e del Fiume Tevere, le emergenze presentano una portata media complessiva di circa 426 l/s per un'area di circa 70 km² e un valore di infiltrazione efficace di 192 mm/a; la zona sud-occidentale corrisponde all'area (27 km²) in cui i deflussi sono diretti verso il Lago di Bolsena, e presenta una potenzialità media di circa 190 l/s per un valore di infiltrazione efficace di 224 mm/a; la zona occidentale corrisponde ai Monti Vulsini settentrionali, con uno spartiacque molto incerto per la carenza di dati ed ha, nei limiti regionali, una potenzialità media di circa 170 l/s per un'area di circa 19 km² ed un'infiltrazione efficace di 282 mm/a.

La potenzialità totale del sistema vulsino ricadente nel territorio umbro risulta quindi pari a circa 790 l/s, su un'area totale di circa 116 km² e con un valore medio dell'infiltrazione efficace di 213 mm/a.

Dal confronto degli studi più recenti sull'area, sopra brevemente riassunti, è stato sintetizzato un modello concettuale della circolazione idrica sotterranea proposto in Figura 6.2 (modificato da ATO Umbria 2 et alii, 2007).

Le conoscenze attualmente acquisite sull'area consentono di affermare che la potenzialità complessiva della porzione di acquifero vulcanico vulsino ricadente nel territorio umbro è poco superiore ai 700 l/s, per un'infiltrazione variabile tra 213 e 244 mm/a. Uno spartiacque dinamico delimita il deflusso sotterraneo diretto verso la valle del Fiume Paglia, per un'area di poco superiore ai 50 km², che alimenta sorgenti puntuali e lineari per un totale di circa 350 l/s.

7. CARTA DELLE IDROSTRUTTURE CARBONATICHE UMBRE

I contenuti della Carta delle idrostrutture carbonatiche umbre (Allegato 2) costituiscono il principale prodotto innovativo che questa ricerca fornisce al quadro conoscitivo di base dell'idrogeologia del dominio carbonatico umbro.

Nella carta, alla scala 1:150.000, viene proposto un modello concettuale di circolazione idrica sotterranea suddiviso non solo per idrostrutture, ma anche in funzione dei diversi acquiferi regionali (acquifero della Scaglia e acquifero regionale basale).

La ricostruzione dei più probabili modelli di circolazione idrica sotterranea, ottenuta dall'interpretazione dei dati idrogeologici disponibili integrati con un'accurata analisi geologico – strutturale, desunta dalle recenti pubblicazioni scientifiche, ha consentito l'individuazione di 21 strutture idrogeologiche e dei rispettivi limiti idraulici e la definizione delle principali barriere idrauliche che condizionano le direttrici di flusso sotterraneo.

Per ciascuna idrostruttura è stato calcolato un bilancio idrogeologico aggiornato ai dati più recenti disponibili, che tiene in considerazione il risultato del bilancio delle strutture adiacenti. In questo modo si intende fornire un bilancio integrato, calcolato nel quadro di uno schema idrogeologico regionale, dove gli eventuali apporti sotterranei esterni a ciascuna struttura, sono quantitativamente giustificati da altrettante perdite sotterranee verso strutture limitrofe.

Questo approccio globale, qui proposto a scala di dettaglio per la prima volta, coniuga le esigenze di pianificazione ed uso della risorsa con la necessaria sintesi a scala regionale.

Poiché i limiti amministrativi regionali raramente coincidono con i limiti delle idrostrutture è stato necessario estendere lo studio in territori extra-regionali. Per lo stesso motivo non sono state oggetto di questo studio alcune aree marginali del dominio carbonatico umbro che appartengono ad idrostrutture che si estendono prevalentemente oltre i confini regionali.

7.1. CONTENUTI DELLA CARTA

Nella Carta delle idrostrutture carbonatiche umbre è riportata la distribuzione spaziale di 21 idrostrutture appartenenti al dominio carbonatico umbro – marchigiano. Le idrostrutture sono contraddistinte da un numero di riferimento e da un colore differente; queste indicazioni supportano la lettura della relativa tabella (in basso nella carta) contenente le informazioni idrogeologiche quantitative utilizzate per il calcolo del bilancio di ogni idrostruttura.

Per ogni idrostruttura in questa carta vengono fornite le seguenti informazioni:

- **Ubicazione delle sorgenti puntuali e lineari con portata uguale o maggiore di 30 l/s.** Come già illustrato nella descrizione della Carta Idrogeologica (Capitolo 6) le sorgenti sono colorate differentemente in funzione dell'acquifero che contribuisce alla loro alimentazione. Con il verde sono indicate le sorgenti alimentate prevalentemente dall'Acquifero della Scaglia e con il blu le sorgenti alimentate prevalentemente dall'Acquifero regionale basale. Il contorno giallo intorno al simbolo evidenzia l'eventuale presenza di contributi profondi all'alimentazione della sorgente.
- **Principali direzioni di deflusso sotterraneo.** E' stata distinta una circolazione generalmente più superficiale all'interno dell'Acquifero della Scaglia, le cui direttrici principali di flusso sono rappresentate dalle frecce verdi. Le principali direzioni di flusso della circolazione profonda nell'Acquifero regionale basale, che localmente si può presentare in pressione sotto l'Acquifero della Scaglia, sono indicate dalle frecce blu.
- **Principali scambi idrici sotterranei fra idrostrutture.** Sono stati identificati tratti di limiti di strutture idrogeologiche possibili sede di scambi idrici sotterranei; le frecce rosse indicano il verso di tali scambi, che, dove riconosciuti, sono stati quantificati in una apposita voce del bilancio idrogeologico riportato nella tabella in fondo alla carta.
- **Barriere idrauliche.** Alcuni limiti delle idrostrutture corrispondono a barriere idrauliche a flusso nullo ben definite, che generalmente coincidono con fronti di sovrascorrimento regionali; in alcuni casi la barriera idraulica è costituita da affioramenti sufficientemente continui di complessi idrogeologici con ruolo di aquiclude (Complesso calcareo marnoso e Complesso delle marne a fucoidi).
- **Affioramenti del Complesso della Scaglia calcarea.** Per facilitare la lettura e la comprensione della carta si è ritenuto opportuno mettere in risalto con un retinato le aree di affioramento della Scaglia calcarea. Questa informazione può essere messa a confronto con i valori dell'infiltrazione efficace calcolata per ciascuna struttura. I risultati ottenuti sembrerebbero indicare una proporzionalità inversa fra la percentuale di affioramento di questo complesso e i

valori di infiltrazione efficace valutati per ciascuna struttura. Questo aspetto verrà opportunamente approfondito nel Paragrafo 7.4.

Nella carta vengono inoltre segnalate due specifiche situazioni idrogeologiche locali che assumono, nel quadro idrogeologico regionale, un ruolo fondamentale.

- **Fascia di intensa tettonizzazione di Monte Patino.** La dorsale carbonatica Monte Macchialunga - Monte Patino, che costituisce il bordo nordorientale delle piane di Norcia e di Campi, presenta un elevato grado di laminazione degli affioramenti che ne riduce notevolmente la capacità di infiltrazione. Per questo motivo si ritiene che la zona segnalata non costituisca area di ricarica degli acquiferi, ma assuma piuttosto il ruolo di limite idraulico a flusso nullo lungo il bordo sudoccidentale dell'idrostruttura di Monte Bove.
- **Area di ricarica preferenziale di Colfiorito.** Gli inghiottitoi di questo bacino continentale quaternario costituiscono vie preferenziali di ricarica degli acquiferi carbonatici presenti sotto i depositi fluvio-lacustri della piana. L'area di Colfiorito, infatti, pur presentando in affioramento litologie caratterizzate da bassa permeabilità, si ritiene corrisponda ad una delle principali aree di ricarica degli acquiferi delle idrostrutture ubicate ai margini della piana.

Le frecce di colore magenta orientate verso la più grande sorgente della regione (Stifone Montoro) indicano le probabili aree che contribuiscono all'alimentazione di questa sorgente.

Nella carta vengono evidenziate con un'apposita simbologia (retinato nero) le **aree carbonatiche appartenenti ad idrostrutture che si estendono prevalentemente in territorio extraregionale**, che non sono state indagate nel presente studio idrogeologico. Questi territori di confine, anche se di limitata estensione, corrispondono ad aree di interesse strategiche dal punto di vista dell'utilizzo delle risorse idriche. In particolare si segnalano:

- l'area del Torrente Sentino, posta al confine con la Regione Marche, dove le emergenze di acqua sotterranea in territorio umbro sono alimentate dalla complessa idrostruttura di Monte Nerone – Monte Catria – Monte delle Streghe, che si estende quasi interamente in territorio marchigiano;
- il settore orientale della dorsale di Monte Maggio, dove non è facile distinguere il contributo umbro da quello marchigiano al flusso di base del fosso di Campodonico;
- il versante umbro di Monte Vettore che contribuisce alla ricarica degli acquiferi dei Monti Sibillini, drenanti verso i corsi d'acqua marchigiani (Fiumi Aso, Tenna e Fiastrone).

Per lo studio specifico di questi settori ed una loro corretta collocazione nel quadro idrostrutturale regionale appare necessario il futuro ampliamento di questo tipo di ricerca idrogeologica anche nel territorio della regione Marche.

7.2. PORTATA DI MAGRA ORDINARIA E PORTATA MINIMA

La grande disponibilità di dati ha consentito, per la maggior parte delle idrostrutture identificate, di valutare oltre alla portata di magra ordinaria corrispondente, anche la portata minima complessivamente erogata da ciascuna idrostruttura, nell'arco temporale esaminato, in funzione dei dati disponibili. Il confronto fra i due valori di portata, espresso in percentuale, viene proposto nei grafici riferiti alle rispettive idrostrutture.

Questo confronto porta ad alcune considerazioni di carattere generale:

- le idrostrutture in cui le portate minime sono inferiori al 50% della portata di magra ordinaria sono generalmente quelle che contengono acquiferi di ridotte estensioni e potenzialità, in cui i periodi di crisi idrica hanno un'incidenza marcata sul regime di portata delle sorgenti.
- Le idrostrutture in cui le portate minime sono superiori al 50% della portata di magra sono generalmente quelle che contengono acquiferi di grande estensione e potenzialità, in grado di attenuarne, in occasione di crisi idriche prolungate, lo scarto fra valori minimi e valori medi della portata erogata.

A questo generale andamento del regime si affiancano comunque delle eccezioni:

- L'idrostruttura di Monte Faeto (N° 4), pur non essendo particolarmente estesa, presenta valori minimi di portata superiori al 60% della portata di magra.
- L'idrostruttura di Monte Bove (N° 12), anche se estesa più di 200 km², eroga una portata minima inferiore al 50% della portata di magra.

L'assetto idrostrutturale e la geometria degli acquiferi contenuti nelle singole idrostrutture saranno argomento del Capitolo 8.

7.3. BILANCIO IDROGEOLOGICO

Nella Carta delle idrostrutture viene riportata una tabella di sintesi di tutti gli elementi considerati nel calcolo del bilancio idrogeologico, eseguito per tutte le idrostrutture esaminate.

Il metodo di calcolo del bilancio è stato descritto nel Capitolo 4; in questo specifico paragrafo è opportuno ribadire che il “metodo diretto” utilizzato per questo tipo di valutazioni non prevede l’analisi dei dati pluviometrici. Nelle voci di bilancio riportate nella tabella compare l’infiltrazione efficace valutata esclusivamente sulla base della portata erogata dalle sorgenti e non calcolata come aliquota della precipitazione.

Per ciascuna idrostruttura vengono fornite le seguenti informazioni quantitative:

- **l’estensione dell’area di ricarica**, corrispondente alla superficie dell’idrostruttura e all’estensione degli affioramenti dei complessi idrogeologici che svolgono un ruolo attivo nella ricarica degli acquiferi, grazie alla loro marcata capacità di infiltrazione. Lo stile tettonico plicativo caratteristico della regione determina l’affioramento, lungo i versanti delle dorsali, di un’alternanza di complessi relativamente permeabili, con elevata attitudine all’infiltrazione, ed impermeabili, in cui prevale il ruscellamento superficiale. Questo assetto geomorfologico tipico dei rilievi dell’Appennino umbro - marchigiano consente di considerare come area di alimentazione a scala regionale anche gli affioramenti dei complessi idrogeologici prevalentemente marnosi (Complesso Marnoso – Arenaceo, Complesso Calcareo – Marnoso, Complesso delle Marne a Fucoidi, Complesso Calcareo – Silico - Marnoso); si ritiene, infatti, che il prevalente ruscellamento che caratterizza i complessi marnosi poco permeabili, possa contribuire comunque ad alimentare l’infiltrazione efficace, prevalente nei complessi schiettamente calcarei topograficamente sottostanti.
- La **portata complessiva delle sorgenti**, espressa come portata di magra ordinaria e come portata minima misurata, viene fornita sia come portata complessivamente erogata dall’idrostruttura che come portata erogata rispettivamente dall’Acquifero della Scaglia e dall’Acquifero basale contenuti dall’idrostruttura. Il dettaglio raggiunto nella ricostruzione dei modelli di circolazione idrica profonda ha consentito, infatti, di distinguere con buona approssimazione quali sorgenti vengano prevalentemente alimentate dall’uno o dall’altro acquifero.
- L’interpretazione dei risultati del calcolo del bilancio ha portato all’individuazione di probabili **scambi idrici sotterranei** fra idrostrutture contigue e ad una loro verosimile valutazione. Per le idrostrutture in cui l’entità delle portate complessivamente erogate dalle

sorgenti non ha trovato una sufficiente giustificazione nell'estensione dell'area di ricarica è stato ipotizzato uno **apporto idrico sotterraneo da idrostrutture limitrofe**; per le idrostrutture in cui l'area di ricarica è stata valutata eccessiva rispetto alla portata erogata dalle sorgenti è stato ipotizzato uno **scambio idrico sotterraneo verso idrostrutture limitrofe**; l'effettiva possibilità di scambio tra le idrostrutture è stata inoltre valutata in funzione della natura del limite idraulico in comune e della permeabilità relativa dei complessi idrogeologici affioranti lungo i limiti stessi.

- Per ciascuna idrostruttura si fornisce un valore medio di **infiltrazione efficace**, corrispondente al rapporto fra la portata complessivamente erogata dal sistema nel tempo (attraverso le sorgenti e gli scambi idrici verso strutture limitrofe) e l'area di ricarica totale considerata. I valori di infiltrazione efficace media annua così ricavati, devono essere considerati puramente indicativi dell'ordine di grandezza del fenomeno valutato; una maggiore rappresentatività può essere attribuita all'infiltrazione efficace valutata distintamente per il Complesso della scaglia calcarea e per il Complesso della maiolica e Complesso della corniola – calcare massiccio indifferenziati. Le elaborazioni qui proposte evidenziano che, per il medesimo complesso, sono stati valutati valori di infiltrazione efficace diversi fra loro nelle differenti idrostrutture; questo risultato rappresenta un ulteriore contributo innovativo alle conoscenze idrogeologiche regionali e merita un commento di maggior dettaglio oggetto del prossimo paragrafo.

7.4. INFILTRAZIONE EFFICACE

La ricostruzione della geometria degli acquiferi eseguita per ciascuna idrostruttura ha consentito di individuare, con un buon grado di approssimazione, l'area di ricarica di ciascuna emergenza. Applicando il metodo di calcolo diretto, che consiste nel dividere il volume erogato annualmente da ciascuna emergenza per l'area di ricarica individuata, sono stati calcolati i valori di infiltrazione efficace attribuibili a precise zone di affioramento del Complesso della scaglia calcarea e dei Complessi indifferenziati della maiolica e della corniola – calcare massiccio, costituenti i principali acquiferi regionali.

Il risultato ottenuto da questo tipo di valutazione ha confermato la maggiore capacità di infiltrazione efficace dei Complessi della maiolica e della corniola – calcare massiccio, rispetto a quella del Complesso della scaglia calcarea, già rilevata in studi precedenti (Mastrorillo, 2001; Boni et alii, 2005) ed ha evidenziato inoltre una variabilità spaziale dell'infiltrazione efficace all'interno dei singoli complessi idrogeologici. Questa variabilità è legata sia alla distribuzione territoriale delle precipitazioni, funzione di precisi parametri morfoclimatici, sia alle caratteristiche litologiche e strutturali degli affioramenti dei singoli complessi idrogeologici.

L'infiltrazione efficace dei Complessi indifferenziati della maiolica e della corniola - calcare massiccio ha valori compresi fra 435 e 680 mm/anno. I due complessi contribuiscono entrambi all'alimentazione dell'acquifero regionale basale e l'affioramento del Complesso corniola – calcare massiccio costituisce una porzione generalmente limitata dell'area di alimentazione complessiva. Questa situazione non ha consentito l'attribuzione diretta dei valori di infiltrazione efficace media annua ai due complessi distinti. E' possibile, comunque, osservare che l'infiltrazione efficace risulta maggiore dove gli affioramenti del Complesso della corniola - calcare massiccio hanno un'estensione rilevante rispetto a quella del Complesso della Maiolica (Monte Aspra – Monte Coscerno e settore settentrionale dell'idrostruttura di Monte Bove). E' lecito, quindi, ipotizzare che l'infiltrazione efficace attribuibile al solo Complesso della corniola – calcare massiccio, abbia valori superiori a quella calcolata per i due complessi indifferenziati.

Il valore di 295 mm/anno attribuito al settore meridionale dell'idrostruttura di Monte Bove costituisce un'anomalia nella distribuzione regionale dei valori di infiltrazione efficace, legata alla scarsità delle precipitazioni osservata nella zona di Castelluccio – Monte Vettore.

Il calcolo dell'infiltrazione efficace nel Complesso della scaglia calcarea ha fornito valori compresi fra 170 e 425 mm/anno.

Le idrostrutture più settentrionali (Monte Cucco, Monte Maggio e Monte Pennino) presentano valori di infiltrazione efficace notevolmente inferiori a quelli noti in letteratura per i complessi carbonatici della successione umbro-marchigiana.

Queste differenze vengono, in questa sede, attribuite all'incidenza maggiore in queste idrostrutture delle intercalazioni marnose della Scaglia, che influenzano sia la litologia degli affioramenti, sia la tipologia delle deformazioni subite dalla formazione durante l'orogenesi. Anche Mastrorillo (2001) riferisce di una notevole differenza nei valori di infiltrazione efficace della scaglia tra la porzione della dorsale umbro-marchigiana settentrionale (120 mm/anno) e la porzione meridionale (365 mm/anno), sottolineando che i valori di infiltrazione efficace sembrerebbero aumentare progressivamente da nord verso sud.

Nell'idrostruttura di Monte Tolentino – Monte Cavogna sono stati individuati due acquiferi nel Complesso della scaglia calcarea, fra loro indipendenti, per i quali sono stati valutati due differenti valori di infiltrazione efficace (350 mm/anno e 405 mm/anno). Questa differenza, anche se non particolarmente marcata, è anch'essa da mettere in relazione con le differenti caratteristiche litologiche e strutturali degli affioramenti della formazione della scaglia.

8. STRUTTURE IDROGEOLOGICHE

La descrizione delle singole idrostrutture, oggetto dello studio, fornisce le informazioni aggiuntive più significative sull'assetto idrogeologico, non direttamente rilevabili dalla sola lettura ed interpretazione della carta ed utilizzabili per la pianificazione dell'uso della risorsa idrica.

I risultati quantitativi proposti devono considerarsi come ipotesi interpretative, in parte verificate e in parte ancora da sottoporre a valutazioni successive, anche attraverso studi e indagini integrative, da programmare appositamente nel prossimo futuro, come esposto nel Capitolo 10.

Come risulterà evidente dai commenti esplicativi presentati di seguito, il dettaglio delle ricostruzioni idrostrutturali non è uniforme per tutte le strutture investigate; in alcuni casi, infatti, è evidente la necessità di un maggiore approfondimento dello studio idrogeologico, soprattutto dove l'assetto geologico-strutturale si presenta particolarmente complesso e dove i dati idrogeologici quantitativi disponibili risultino carenti.

In particolare, con i dati a disposizione, non è stato possibile verificare lo schema idrogeologico proposto per quelle idrostrutture di cui non sono note emergenze naturali significative di acqua sotterranea. In queste idrostrutture la valutazione dell'infiltrazione efficace ed il conseguente calcolo del bilancio idrogeologico con il metodo diretto dell'idrogeologia quantitativa trova alcune difficoltà di applicazione. La mancanza di un controllo diretto delle portate in uscita, non consente una verifica degli schemi idrogeologici proposti per le seguenti idrostrutture:

- idrostrutture coinvolte nel sistema di alimentazione della sorgente di Stifone Montoro (idrostrutture n° 15a, 15b, 15c e 15d);
- idrostruttura di Monte Aguzzo – Monte Matigge (n° 6);
- idrostruttura di Monte Siliolo – Monte Carpegna – Monte Galenne (n° 7).

Per l'interpretazione dell'assetto idrogeologico delle strutture dei Massicci Perugini (n° 16), di Gubbio (n° 17) e di Monte Subasio (n° 18) ci si è avvalsi di studi idrogeologici di dettaglio proposti da altri Autori, che hanno preso in considerazione i dati idrogeologici e idrochimici desunti dalle acque dei pozzi profondi presenti nelle strutture.

Si ritiene opportuno sottolineare che la suddivisione in strutture idraulicamente separate dell'intero sistema idrogeologico della Valnerina è un'ipotesi interpretativa che richiede un ulteriore approfondimento delle indagini conoscitive mirate soprattutto alla definizione dell'effettivo ruolo e natura delle barriere idrauliche individuate. La complessità geologico – strutturale dell'area non consente, allo stato attuale delle conoscenze, di arrivare ad univoche ricostruzioni della geometria degli acquiferi.

Vanno, inoltre, tenute in considerazione le ipotesi interpretative proposte da altri Autori per alcune delle idrostrutture studiate, che non sempre concordano con quelle presentate in questo studio.

8.1. IDROSTRUTTURA N° 1: MONTE CUCCO

La struttura si estende su circa 87 km², di cui circa il 40% costituiti dall'affioramento del Complesso della scaglia calcarea. Il Complesso della maiolica affiora su circa il 36% del territorio e quello della corniola – calcareo massiccio occupa circa il 7%.

La portata di magra ordinaria complessivamente erogata dalla struttura è pari a 695 l/s di cui il 27 % (185 l/s) erogata dall'acquifero della scaglia e il 73% (510 l/s) dall'acquifero basale. Circa 100 l/s della portata complessiva sono da attribuire al contributo di sorgenti minori, non riportate in carta, con portata di magra inferiore a 30 l/s.

La struttura è limitata lungo il bordo orientale dal fronte di sovrascorrimento Monte Nerone – Monte Santo Stefano (Calamita & Deiana, 1995), che costituisce una barriera idraulica sotterranea a flusso nullo. Non sono stati rilevati elementi a conferma dell'ipotesi di perdite sotterranee verso l'esterno lungo il bordo occidentale, avanzata da Dragoni e Valigi (2006). Pertanto si ritiene, con buona approssimazione, che l'idrostruttura di Monte Cucco possa essere considerata idraulicamente isolata.

L'infiltrazione efficace media attribuita all'intera struttura è pari a 250 mm/a. Considerando la portata complessiva erogata dall'acquifero regionale basale e la rispettiva area di alimentazione ne risulta un'infiltrazione efficace per i Complessi della maiolica e della corniola – calcareo massiccio indifferenziati di 435 mm/anno.

Il Complesso della scaglia calcarea avrebbe un'infiltrazione di 170 mm/anno. Questa valutazione è in accordo con quanto riportato da Mastroiello (2001) e Boni et alii (2005) ed ampiamente illustrato nel paragrafo 7.4.

Nel nucleo dell'idrostruttura si sviluppa la circolazione idrica dell'acquifero basale regionale, saturo fra quota 700 e 575 m, che trova il suo principale punto di recapito nella sorgente Scirca (190 l/s), posta lungo il bordo occidentale nel punto topograficamente più depresso della cintura impermeabile costituita dal Complesso delle marne a fucoidi. Questo complesso costituisce l'aquicludica che separa l'acquifero basale da quello superiore della scaglia, saturo alla quota di circa 550 m e caratterizzato da una circolazione idrica periferica estremamente frammentata.

Non si esclude la possibilità di alimentazione per drainance dell'acquifero della scaglia da parte del sottostante acquifero basale che, nelle zone periclinliche della dorsale, si trova in evidenti condizioni di pressione.

Dragoni e Valigi (2006), utilizzando metodi indiretti, attribuiscono all'area di ricarica dell'acquifero basale un'infiltrazione efficace di 674 mm/a. Sulla base di questo risultato, gli Autori ipotizzano un drenaggio sotterraneo attraverso il bordo occidentale dell'idrostruttura per giustificare il valore della

portate in uscita (446 mm/a, corrispondenti a circa 600 l/s), nettamente inferiore a quello dell'infiltrazione efficace calcolata.

8.2. IDROSTRUTTURA N° 2: MONTE MAGGIO

La struttura si estende su circa 122 km², l'affioramento del Complesso della scaglia calcarea copre circa il 39% del territorio, quello della maiolica il 40% e quello della corniola-calcareo massiccio appena il 4%.

La portata di magra ordinaria complessivamente erogata dalla struttura è pari a 1850 l/s di cui il 38% (710 l/s) erogata dall'acquifero della scaglia e il 62% (1.140 l/s) dall'acquifero basale.

La struttura è limitata lungo il bordo orientale dal fronte di sovrascorrimento Monte Nerone – Monte Santo Stefano (Calamita & Deiana, 1995), che costituisce una barriera idraulica sotterranea a flusso nullo; lungo il bordo occidentale la struttura è idraulicamente tamponata dagli affioramenti del complesso calcareo – marnoso.

L'infiltrazione efficace media attribuita alla struttura è di 410 mm/anno; tale valore è inferiore a quello ottenuto dividendo la portata complessivamente erogata dall'idrostruttura per la relativa area di ricarica (478 mm/anno). La struttura, infatti, risulta alimentata dall'esterno lungo il bordo meridionale.

Dividendo la portata erogata dall'acquifero basale, contenuto nel nucleo della struttura (1140 l/s) per l'area di alimentazione (64 km²) si ottiene un'infiltrazione efficace di 561 mm/anno. Questo valore risulterebbe troppo alto se confrontato con quello ottenuto per le altre strutture e con i valori noti in letteratura. Ipotizzando per il nucleo un'infiltrazione di 470 mm, valore simile a quello rilevato in idrostrutture contigue, si ottiene una portata di 954 l/s, inferiore di 186 l/s rispetto a quella misurata. Si ipotizza, quindi, che la portata mancante sia alimentata dagli apporti sotterranei provenienti dalla area di ricarica preferenziale di Colfiorito, esterna alla struttura considerata.

L'acquifero basale risulta saturo a 470 m nel settore settentrionale, a 560 m nel settore centrale e a 480 m in quello meridionale, dove è ubicata la sorgente di San Giovenale (attuale campo pozzi), la cui portata di 330 l/s sarebbe parzialmente alimentata dagli apporti esterni provenienti da Colfiorito.

Il Complesso impermeabile delle marne a fucoidi separa l'acquifero basale, contenuto al nucleo della struttura, dall'acquifero periferico della scaglia calcarea che alimenta, con una circolazione estremamente frammentata, le sorgenti poste lungo il margine occidentale della struttura. Si individuano tre settori di circolazione idrica nella scaglia calcarea, presumibilmente indipendenti fra loro:

- il settore settentrionale alimenta una portata complessiva di circa 215 l/s ad una quota di circa 500 m;
- il settore centrale trova il suo recapito preferenziale fra 530 e 510 m nel Rio Fergia, dove emergono circa 90 l/s.

In questi due settori è stata valutata un'infiltrazione efficace per il Complesso della scaglia calcarea di 345 mm/anno;

- nel settore meridionale l'acquifero della scaglia alimenta, fra 500 e 440 m di quota, una portata di magra ordinaria complessiva di 420 l/s, che emerge prevalentemente nell'alveo del Fiume Topino (350 l/s). Poiché l'area di ricarica non è sufficiente ad alimentare l'intera portata misurata, si ipotizza l'esistenza di un contributo esterno proveniente dall'idrostruttura di Monte Faeto (n° 4) di almeno 90 l/s. Non si escludono contributi per drainance anche da parte del sottostante acquifero regionale basale, laddove la differenza di carico idraulico fra le due falde favorisca tale fenomeno.

Dragoni e Cambi (2006) interpretano l'acquifero basale, contenuto al nucleo della struttura, come idraulicamente isolato; nel bilancio proposto da questi Autori non viene, però, considerata la sorgente (attualmente campo - pozzi) di San Giovenale, posta al margine meridionale dell'acquifero.

Gli Autori calcolano per ciascuna sorgente considerata, l'infiltrazione efficace relativa alla rispettiva area di alimentazione, utilizzando metodi indiretti descritti nel Capitolo 4. I valori proposti sono compresi fra 889 mm/anno e 620 mm/anno.

8.3. IDROSTRUTTURA N° 3: MONTE PENNINO

L'idrostruttura si estende su un'area di circa 35 km², di cui il 60% costituiscono l'affioramento del Complesso della scaglia calcarea; il Complesso della maiolica affiora nel 20% del territorio e l'affioramento del Complesso corniola – calcare massiccio solo nel 6%.

La portata complessivamente erogata è di 420 l/s ed è alimentata prevalentemente dall'acquifero della scaglia.

Il bordo orientale corrisponde al fronte di sovrascorrimento che determina l'accavallamento della dorsale di Monte Pennino sulla dorsale più esterna di Monte Cafaggio, determinando la separazione idraulica fra le due strutture. Il bordo occidentale è idraulicamente chiuso dall'affioramento continuo del complesso calcareo marnoso, posto al nucleo di una stretta sinclinale che separa Monte Pennino da Monte Maggio. I rapporti idrostrutturali descritti sono ben evidenti nella sezione idrogeologica A-A', riportata nella "Tavola delle sezioni idrogeologiche interpretative" (Allegato 3). Il limite meridionale di monte Pennino resta indefinito verso Colfiorito, dove i lembi carbonatici che affiorano nella piana, contribuirebbero all'alimentazione dell'acquifero della scaglia.

L'infiltrazione efficace valutata per questa struttura è di 378 mm/anno; tale valore è in accordo con altri valori calcolati per aree di ricarica prevalentemente in scaglia calcarea.

La circolazione idrica avviene prevalentemente nell'acquifero della scaglia, saturo a quote superiori a 600 m. A questa quota si trova la sorgente Bagnara, importante punto di prelievo idropotabile posto in corrispondenza del bordo occidentale della struttura, che costituisce lo sfioro più elevato di una circolazione idrica che trova il suo livello di base a quota 495 m al margine settentrionale della struttura, dove emergono 230 l/s nell'alveo del Fiume Potenza. Non si esclude il coinvolgimento dei complessi della maiolica e della corniola – calcare massiccio nella circolazione idrica sotterranea. Ardizzone et alii (1999) individuano l'area di ricarica della sorgente Bagnara in corrispondenza dell'affioramento del nucleo della struttura; questa interpretazione sembrerebbe trovare conferma nelle caratteristiche idrochimiche delle acque (bicarbonato-calciche con saltuari incrementi di solfati) che indicherebbero la presenza di contributi profondi all'alimentazione dell'acquifero di Monte Pennino; anche Cambi & Dragoni (2001) confermano l'ipotesi descritta.

8.4. IDROSTRUTTURA N° 4: MONTE FAETO

L'idrostruttura ha un'area di ricarica di 61 km², dove affiora quasi esclusivamente il complesso della scaglia calcarea.

La portata complessivamente erogata dalle sorgenti della struttura è pari a 720 l/s, alimentate esclusivamente dall'acquifero della scaglia.

Le caratteristiche dei limiti dell'idrostruttura di Monte Faeto non sono ancora sufficientemente note da poter escludere una possibile continuità idraulica con gli acquiferi in scaglia delle strutture limitrofe. Una continuità idraulica è stata quantificata in corrispondenza del limite nordorientale che separa Monte Faeto dall'idrostruttura di Monte Maggio. In corrispondenza di questo limite l'acquifero della scaglia calcarea di Monte Faeto, saturo a quote superiori a 500 m, alimenterebbe alcune sorgenti poste lungo il bordo della struttura (per un totale di 105 l/s) e contribuirebbe all'alimentazione sotterranea dell'acquifero in scaglia di Monte Maggio con un portata di almeno 90 l/s.

L'infiltrazione efficace valutata per questa struttura è pari a 400 mm/anno ed è attribuibile interamente al Complesso della scaglia calcarea.

E' possibile distinguere due settori, presumibilmente indipendenti, nella circolazione idrica dell'acquifero di Monte Faeto:

- settore centro-settentrionale, con direttrice di flusso prevalente da sud verso nord, che alimenta le emergenze poste lungo il bordo nordorientale della struttura e l'acquifero in scaglia dell'adiacente idrostruttura di Monte Maggio. Il livello di base di questo circuito sotterraneo è posto a quota 440 – 415 m nell'alveo del Fiume Topino, dove emergono 365 l/s;
- settore meridionale, con direttrice di flusso prevalente verso ovest, che alimenta le sorgenti di Acquabianca e Capodacqua di Foligno, a quota rispettivamente di 390 e 380 m, con una portata di magra ordinaria complessiva di 250 l/s.

8.5. IDROSTRUTTURA N° 5: MONTE AGUZZO – MONTE MATIGGE

L'idrostruttura si estende su 44 km², di cui circa la metà corrispondono all'affioramento del complesso della maiolica e del complesso della corniola – calcare massiccio. Il complesso della Scaglia calcarea affiora solo su l'11% del territorio. Una parte rilevante della struttura è coperta da vasti affioramenti del complesso dei depositi detritici (conoidi detritiche).

Non sono note emergenze naturali direttamente ricollegabili a questa struttura.

La struttura risulta idraulicamente chiusa lungo il bordo orientale dal fronte di sovrascorrimento che ha portato la dorsale di Monte Aguzzo a sovrascorrere verso est su quella di Monte Santo Stefano – Monte Brunette (n° 6). Il bordo occidentale dell'idrostruttura resta aperto verso la Valle Umbra. Ipotizzando un'infiltrazione di 460 mm/anno, simile a quella calcolata per l'idrostruttura di Monte San Salvatore – Monte Maggiore (n° 8), che presenta caratteristiche analoghe a l'idrostruttura considerata, si otterrebbe una portata di 642 l/s che alimenterebbe la Valle Umbra attraverso un circuito sotterraneo che troverebbe una via di drenaggio preferenziale proprio nella spessa coltre di detrito che borda il lato occidentale della struttura. E' probabile che tale apporto emerga nell'alveo del Fiume Clitunno a valle di Pietra Rossa; l'estrema complessità del sistema di canalizzazione di questo tratto del corso d'acqua ha reso impossibile la verifica di questa ipotesi con misure di portata dirette. L'ipotesi formulata viene considerata valida anche da Boni et alii (2005) che stimano un'alimentazione di questo tratto del Fiume Clitunno di circa 500 l/s.

8.6. IDROSTRUTTURA N° 6: MONTE SANTO STEFANO – MONTE BRUNETTE

La struttura si estende su circa 96 km², l'affioramento del Complesso della scaglia calcarea copre circa il 18% del territorio, quello della maiolica circa il 30%, quello della corniola-calcare massiccio si estende per circa il 24%.

La portata complessivamente erogata dalla struttura è pari a 1845 l/s, prevalentemente alimentata dall'acquifero basale.

La struttura è limitata lungo il bordo orientale dal fronte di sovrascorrimento Monte Nerone – Monte Santo Stefano (Calamita & Deiana, 1995), che costituisce una barriera idraulica sotterranea a flusso nullo. Il bordo occidentale è idraulicamente separato dalla struttura di Monte Aguzzo – Monte Matigge (n° 5) dal fronte di sovrascorrimento descritto nel paragrafo precedente. I limiti settentrionali e meridionali restano idraulicamente aperti rispettivamente verso la Piana di Colfiorito e verso la Valle Umbra.

In corrispondenza del contatto con i depositi alluvionali della Valle Umbra sono ubicate le principali sorgenti che alimentano il flusso di base del Fiume Clitunno; le acque delle sorgenti più alte in quota (Fonti del Clitunno, 1245 l/s) presentano contaminazioni solfato-magnesiache, indizio di contributi provenienti da una circolazione profonda che coinvolgerebbe parte del complesso dolomitico - evaporitico. Questo circuito idrico sotterraneo è ben rappresentato nella sezione idrogeologica interpretativa B-B' (Allegato 3). Le acque che emergono in corrispondenza delle sorgenti delle Vene del Tempio sono, invece, alimentate da una circolazione idrica più superficiale, che si svolge prevalentemente nell'acquifero della scaglia. Barchi et alii (1996) presentano i risultati di analisi chimico - isotopiche che confermerebbero l'esistenza di due circuiti idrici distinti.

Nel tratto del Torrente Menotre che attraversa il settore settentrionale della struttura, è stata rilevata una perdita naturale di portata in alveo di circa 190 l/s; in questo tratto, quindi, il corso d'acqua alimenterebbe l'acquifero basale, la cui superficie di saturazione si troverebbe a quote inferiori a 530 m.

L'area di alimentazione della struttura non è sufficiente a garantire la ricarica rispetto all'intera portata erogata; ipotizzando un'infiltrazione efficace di 460 mm/anno (in accordo con quanto valutato per le strutture adiacenti) si ottiene una portata di 1400 l/s interamente alimentata dall'idrostruttura in esame. I restanti 445 l/s, erogati in magra ordinaria, provengono presumibilmente, attraverso il limite nordorientale, dall'area di ricarica preferenziale di Colfiorito.

Oltre alle emergenze naturali segnalate lungo il corso del Clitunno, non si esclude l'esistenza di ulteriori uscite sotterranee, non direttamente quantificabili, che alimenterebbero l'acquifero della Valle Umbra.

Giaquinto & Mattioli (1991) estendono l'area di alimentazione delle sorgenti del Clitunno a tutti gli affioramenti carbonatici stratigraficamente al di sotto del complesso delle marne a fucoidi presenti fra Campello e Fossato di Vico. Ipotizzano quindi una circolazione idrica continua, con direttrice nord –sud, che mette in continuità idraulica gli acquiferi basali delle idrostrutture più interne della dorsale umbra. I risultati dello studio, qui presentato, non contengono elementi in grado di confermare l'ipotesi degli Autori.

8.7. IDROSTRUTTURA N° 7: MONTE SILIOLO – MONTE CARPEGNA – MONTE GALENNE

L'area di ricarica totale di questa idrostruttura è di circa 91 km², di cui circa il 33% corrispondono agli affioramenti del complesso della scaglia calcarea e il 32% a quelli della maiolica. Circa un terzo della superficie è coperto dall'affioramento del complesso dei depositi detritici della conoide di Campello.

La portata complessivamente erogata dalle sorgenti presenti nell'idrostruttura è di 290 l/s.

L'idrostruttura nel suo insieme si presenta articolata in diversi settori con circolazione idrica indipendente.

Il settore settentrionale corrisponde alla stretta sinclinale asimmetrica di Monte Siliolo che contiene l'acquifero della scaglia, sostenuto alla base dal complesso delle Marne a Fucoidi che ne isolano idraulicamente anche il bordo orientale e meridionale. Questo acquifero alimenta le sorgenti lineari del Fosso Fauvella e del Torrente Menotre, con una portata complessiva di 210 l/s.

Il settore meridionale, corrispondente alla dorsale di Monte Carpegna e a quella adiacente di Monte Galenne, risulterebbe idraulicamente chiuso lungo il limite orientale dalla faglia inversa di Schioppo (Decandia, 1982). La separazione idraulica fra la dorsale di Monte Galenne e l'idrostruttura di Monte San Salvatore - Monte Maggiore (n° 8) coinciderebbe con il motivo tettonico distensivo di Acera; la natura di questa barriera idraulica verrà descritta nel paragrafo successivo. Questo settore, di cui sono note solo due emergenze significative con portata complessiva di 80 l/s, dovrebbe costituire l'area di ricarica del flusso sotterraneo che alimenta, attraverso la conoide detritica di Campello, gli acquiferi della Valle Umbra. Giaquinto & Mattioli (1991) stimano un flusso sotterraneo attraverso la conoide di Campello, verso la Valle Umbra, di almeno 100 l/s. Boni et alii (2005) ipotizzano che i rilievi di Monte Carpegna e di Monte Galenne contribuiscano all'alimentazione delle sorgenti del Clitunno e che siano saturi a quote variabili fra 350 e 225 m.

Per il complesso della scaglia calcarea di Monte Siliolo, che alimenta le sorgenti lineari del sistema del Menotre, è stata valutata un'infiltrazione efficace di 370 mm/anno; al resto della struttura, tenuto conto della percentuale di estensione degli affioramenti del complesso della scaglia rispetto a quelli della maiolica, è stata attribuita un'infiltrazione efficace di 450 mm/anno in grado di alimentare circa 1040 l/s, di cui circa 80 emergono in corrispondenza delle uniche due sorgenti rilevate. Si stima, quindi, che il contributo profondo dell'idrostruttura all'acquifero della Valle Umbra sia di circa 960 l/s di magra ordinaria.

Sulla base delle osservazioni descritte è possibile assegnare all'intera idrostruttura un valore di infiltrazione efficace media di 430 mm/a.

8.8. DRENAGGIO SOTTERRANEO VERSO LA VALLE UMBRA

Nel tratto compreso fra le Fonti del Clitunno e Spoleto, la dorsale carbonatica alimenterebbe l'acquifero della Valle Umbra con almeno 960 l/s, provenienti da Monte Carpegna e da Monte Galenne.

Nel tratto a nord del Clitunno è stata ipotizzata un'alimentazione dell'acquifero alluvionale di circa 640 l/s da Monte Aguzzo.

Complessivamente le dorsali carbonatiche alimenterebbero l'acquifero della Valle Umbra, a sud di Foligno, con almeno 1600 l/s.

Marchetti & Martinelli (1991) riportano i risultati del bilancio idrico elaborato nel modello matematico della Valle Umbra (Aquater – R.p.A.,1986 – Rapporto interno Regione Umbria) che assegnano, come alimentazione delle formazioni calcaree del margine orientale, una portata media annua di circa 2500 l/s. L'alimentazione da parte dei massicci carbonatici avviene soprattutto nel settore meridionale della Valle Umbra, dove il limite orientale con le formazioni calcaree è mascherato da estese conoidi detritiche.

I risultati degli studi idrogeologici concordano sull'esistenza di un apporto idrico profondo agli acquiferi della Valle Umbra da parte delle dorsali carbonatiche sopracitate; è auspicabile un approfondimento degli studi quantitativi per verificare l'effettiva portata di alimentazione, la cui consistenza non è affatto trascurabile.

8.9. IDROSTRUTTURA N° 8: MONTE SAN SALVATORE – MONTE MAGGIORE

La struttura ha un'estensione di 82 km², in cui prevale l'affioramento del complesso della maiolica (68%); il complesso della scaglia calcarea affiora solo su 6% del territorio.

La portata complessivamente erogata dall'idrostruttura è pari a 1345 l/s esclusivamente alimentata dall'acquifero basale.

L'isolamento idraulico lungo il bordo orientale è assicurato, nel tratto settentrionale, dalla continuità dell'affioramento del complesso della marne a fucoidi e, nel tratto meridionale, da un fronte di sovrascorrimento, probabile prosecuzione verso nord della faglia di Schioppo (Decandia, 1982).

Verso sud l'idrostruttura è idraulicamente chiusa lungo la faglia di Acera, motivo distensivo regionale, a cui si associa il sollevamento per culminazione assiale del complesso calcareo – silico - marnoso, che assume localmente il ruolo di barriera idraulica.

Una seconda culminazione assiale, che porta in affioramento sul versante occidentale di Monte San Salvatore il complesso calcareo – silico - marnoso, determina la suddivisione dell'acquifero regionale basale di questa idrostruttura in due settori distinti. Il settore settentrionale drena verso le sorgenti di Alzabove (200 l/s) e Capo Vena di Rasiglia (700 l/s), mentre il settore meridionale alimenta la Sorgente Argentina (400 l/s).

L'area di ricarica della Sorgente Argentina è di circa 27 km² (Boni et alii, 2005), a cui corrisponde un'infiltrazione efficace di circa 470 mm/anno. Estendendo questo valore di infiltrazione all'intera idrostruttura si otterrebbe una potenzialità media totale di 1215 l/s, inferiore alla portata totale effettivamente erogata dalle sorgenti della struttura (1345 l/s). E' probabile che l'area di alimentazione della sorgente Capo Vena di Rasiglia si estenda oltre i limiti della struttura, verso la Piana di Colfiorito, in accordo con quanto proposto da altri Autori (Lippi Boncampi, 1953; Boni et alii, 2005). L'area di ricarica di Colfiorito contribuirebbe all'alimentazione di questa idrostruttura con una portata di almeno 130 l/s. La posizione di questa sorgente, ubicata in corrispondenza di una faglia diretta, e la particolare mineralizzazione delle acque, sembrerebbero confermare le ipotesi di un sistema di alimentazione complesso. Conversini & Tazioli (1994), interpretando i risultati di analisi chimiche ed isotopiche delle acque delle sorgenti Alzabove e Capo Vena di Rasiglia, individuano due circuiti idrici di alimentazione differenti. La Sorgente Capo Vena sarebbe il punto di recapito di una circolazione che interessa l'intero spessore dell'acquifero basale, coinvolgendo anche la parte dolomitica sottostante; la circolazione idrica che alimenta la Sorgente di Alzabove interesserebbe solo la parte superiore dell'acquifero basale, senza coinvolgere il substrato dolomitico – evaporitico.

8.10. AREA DI RICARICA PREFERENZIALE DI COLFIORITO

I piani carsici di Colfiorito possono essere considerati un'area ad elevata infiltrazione in quanto la pioggia caduta viene raccolta dalla piana, trattenuta in superficie dal complesso fluvio – lacustre, a bassa permeabilità, e indirizzata dal ruscellamento superficiale verso gli inghiottitoi carsici, attraverso i quali alimenta direttamente gli acquiferi carbonatici sottostanti la coltre fluvio – lacustre. Una parte di queste acque di ruscellamento costituiscono integralmente la portata del Fiume Chienti, che all'uscita dalla piana è di circa 115 l/s.

Mastrorillo (1994) valuta per la piana un valore medio annuo di precipitazione efficace di circa 600 mm. Considerate le locali caratteristiche geomorfologiche descritte è ragionevole attribuire all'infiltrazione efficace un valore non inferiore a quello della precipitazione efficace; per la Piana di Colfiorito si stima quindi una potenzialità idrica pari a circa 1000 l/s.

Nella tabella 8.1 vengono sintetizzati gli apporti ipotizzati della piana di Colfiorito verso le idrostrutture che la circondano:

IDROSTRUTTURA	PORTATA l/s
Monte Maggio	186 l/s
M.S.Stefano – Monte Brunette	445 l/s
M.S.Salvatore – Monte Maggiore	130 l/s
Totale	761 l/s

Tabella 8.1 *Apporti idrici sotterranei della Piana di Colfiorito verso le idrostrutture limitrofe.*

Nell'ipotesi che la Piana alimenti anche strutture del versante marchigiano, la portata ottenuta è confrontabile come ordine di grandezza con quella complessivamente disponibile (1000 l/s).

8.11. IDROSTRUTTURA N° 9: MONTE CAVALLO

L'idrostruttura ha un'estensione di circa 64 km², prevalentemente costituita da affioramenti del complesso della scaglia calcarea (73%).

La portata complessivamente erogata dall'idrostruttura è di 860 l/s.

È stato individuato un limite a flusso nullo lungo il tratto del bordo orientale coincidente con il fronte di sovrascorrimento di Monte Cavallo (Calamita & Pierantoni, 1992). La definizione della natura dei limiti idrogeologici di questa struttura richiede comunque un futuro approfondimento delle conoscenze.

La circolazione idrica sotterranea individuata si svolge quasi esclusivamente nell'acquifero della scaglia con direttrice prevalente da nord verso sud. Nel settore settentrionale l'acquifero risulta saturo a quote prossime a 700 m ed alimenta le sorgenti del Fosso S. Angelo (105 l/s), affluente del Chienti. L'intera struttura ha il suo livello di base nel tratto iniziale del Fiume Vigi, dove eroga una portata complessiva di 755 l/s fra quota 654 e 480 m.

L'infiltrazione efficace valutata è pari a circa 425 mm/anno, valore di poco superiore a quello ottenuto per le strutture con area di alimentazione quasi esclusivamente costituita dall'affioramento del complesso della scaglia calcarea (Monte Pennino: 380 mm/a, Monte Faeto: 400 mm/a). Il valore di infiltrazione efficace più elevato è probabilmente da attribuire alla maggiore entità delle precipitazioni, frequentemente anche nevose, sull'area di ricarica che quasi ovunque si trova a quote superiori ai 1000 m.

8.12. IDROSTRUTTURA N° 10: MONTE ASPRA – MONTE COSCERNO

La struttura si estende su 241 km², l'affioramento del complesso della scaglia calcarea copre il 30% del territorio, quello della maiolica il 27%, quello della corniola-calcare massiccio il 20%.

La portata di magra ordinaria complessivamente erogata dalla struttura è pari a 3620 l/s, di cui il 16% (575 l/s) alimentata prevalentemente dall'acquifero della scaglia calcarea e l'84% (3045 l/s) alimentata dall'acquifero basale.

Il limite occidentale, a flusso nullo, coincide con la fascia di faglie e pieghe rovesciate nota in letteratura come Linea della Valnerina (Decandia et alii, 1980; Decandia, 1982; Cosentino et alii, 1991; Calamita & Pierantoni, 1992).

Il limite orientale, anch'esso a flusso nullo, corrisponde al fronte di sovrascorrimento di Monte Aspra - Monte Coscerno (Barchi, 1991; Cosentino et alii, 1991). Il limite settentrionale, di cui non è ancora sufficientemente chiaro il ruolo idrogeologico, è posto in corrispondenza del proseguimento verso est della faglia distensiva di Acera, il limite meridionale resta indefinito verso la Conca di Rieti.

In questa idrostruttura risulta estremamente difficile distinguere in maniera univoca la circolazione idrica sotterranea che si svolge nell'acquifero regionale basale da quella dell'acquifero della scaglia. Entrambi gli acquiferi hanno i loro punti di recapito principali lungo il corso del Fiume Nera, a quote prossime ai 300 m; le interruzioni nella cintura impermeabile costituita dal complesso della marne a fucoidi favoriscono scambi idrici fra i due acquiferi.

Il complesso delle marne a fucoidi assume in questa idrostruttura il ruolo di acquiclude locale, che sostiene limitate falde sospese dell'acquifero della scaglia calcarea (falda che alimenta la sorgente puntuale di Scheggino con 200 l/s; falda che alimenta la sorgente puntuale di Lupa con 125 l/s).

La portata della sorgente lineare lungo il tratto del Fiume Nera compreso fra Ponte e Vallo di Nera (450 l/s) sarebbe alimentata per almeno il 70% dall'acquifero della scaglia calcarea e per il restante 30% dall'acquifero regionale basale, la cui falda, probabilmente satura a quote superiori a quella del sovrastante acquifero della scaglia calcarea, si troverebbe in pressione e alimenterebbe per drainance l'acquifero superiore.

L'infiltrazione efficace media calcolata per questa idrostruttura è di 475 mm/a, valore analogo a quello ottenuto per le strutture adiacenti e in accordo con quanto riportato da Preziosi (2007). Per il complesso della scaglia calcarea è stata valutata un'infiltrazione efficace di circa 420 mm/anno e per il complesso della maiolica e della corniola – calcare massiccio indifferenziati la stima dell'infiltrazione efficace, che ha tenuto conto anche dell'apporto per drainance all'acquifero della scaglia, ha fornito un valore di 545 mm/anno.

8.13. IDROSTRUTTURA N° 11: MONTE TOLENTINO – MONTE CAVOGNA

L'idrostruttura ha una superficie di 754 km² in cui gli affioramenti del complesso della scaglia calcarea coprono circa il 34% dell'intera area, quello del complesso della maiolica il 14% e quello del complesso della corniola – calcareo massiccio il 9%. Nel settore settentrionale sono presenti estesi affioramenti del complesso calcareo – marnoso (56 km²). Gli affioramenti del complesso dei depositi fluvio – lacustri raggiungono un'estensione complessiva di 99 km².

All'interno di questa struttura sono comprese, infatti, le Piane di Cascia, Norcia e Leonessa il cui ruolo idrogeologico non è significativo a scala regionale, essendo prive di inghiottitoi.

Come già spiegato nel paragrafo 7.3 gli affioramenti del complesso calcareo – marnoso sono stati compresi a scala regionale all'interno delle aree di ricarica degli acquiferi carbonatici, perchè si ritiene che il prevalente ruscellamento, che caratterizza questi complessi, possa contribuire comunque indirettamente ad alimentare l'infiltrazione efficace, prevalente nei complessi schiettamente calcarei, topograficamente sottostanti.

La struttura è delimitata lungo il bordo occidentale dal limite a flusso nullo costituito dal fronte di sovrascorrimento di Monte Aspra – Monte Coscerno. Il limite a flusso nullo lungo il bordo orientale coincide con i seguenti elementi tettonici regionali (da nord verso sud):

- sovrascorrimento di Visso (Calamita et alii, 1990);
- linea Nottoria – Preci – Conca di Norcia (Calamita & Pizzi, 1992; Calamita et alii, 1982);
- sovrascorrimento dei Monti Sibillini (Castellarin et alii, 1978; Coli, 1981; Salvini & Vittori, 1982; Boccaletti et alii, 1983; Lavecchia, 1985, Cooper & Burbi, 1986).

Il limite settentrionale che separa questa struttura da quella di Monte Cavallo resta di natura incerta, mentre non è sufficientemente definito il limite settentrionale verso Monte Fema, in territorio marchigiano. Il limite meridionale è stato posto in corrispondenza della faglia di Leonessa.

All'interno dell'idrostruttura sono stati individuati tre acquiferi caratterizzati da direttrici di flusso differenti:

- nel settore settentrionale, corrispondente alla dorsale di Monte Cavogna, a nord del corso del Fiume Sordo, è stata individuata una circolazione idrica nell'acquifero della scaglia che alimenta le sorgenti lineari del Fiume Campiano e del Fiume Nera fino a Belforte, per una portata complessiva di 2140 l/s, a cui corrisponde un'area di ricarica di 167 km²;
- nel settore a sud del corso del Fiume Sordo è stata individuata una circolazione idrica nell'acquifero della scaglia, indipendente dalla precedente, che alimenta le sorgenti del Fiume Sordo fino a Casali di Serravalle, unitamente a modesti apporti provenienti dai depositi lacustri della depressione di Norcia, e che drena stagionalmente anche nell'alveo

del Fiume Corno ad una quota non superiore a 550 m. L'area di ricarica di questo acquifero si estende su 351 km²;

- il Complesso delle marne a fucoidi, che circonda il nucleo dell'anticlinale di Monte Cavogna, sostiene l'acquifero in scaglia del settore settentrionale a quote superiori rispetto a quello del settore meridionale;
- sotto i due acquiferi della scaglia calcarea descritti è presente il grande acquifero basale, con falda localmente in pressione. Questa falda alimenta le abbondanti sorgenti lineari del Nera nei pressi di Triponzo, fra quota 395 e 345 m, e quelle del Fiume Sordo presso Biselli, fra quota 530 e 460 m, con una portata complessiva di 7130 l/s. La sua area di ricarica corrisponderebbe agli affioramenti del complesso della maiolica e del complesso corniola - calcare massiccio dell'idrostruttura (463 km²). La circolazione idrica partirebbe dal settore meridionale, corrispondente alla zona di ricarica principale, dove l'acquifero sarebbe saturo a quote superiori a 600 – 700 m. Il deflusso sotterraneo, diretto verso NNW, avverrebbe probabilmente in pressione sotto la conca di Cascia e sotto l'acquifero della scaglia, per alimentare, in corrispondenza dell'incisione del Fiume Corno, le sorgenti lineari con una portata di 3550 l/s.

Per il complesso della scaglia calcarea è stata valutata un'infiltrazione efficace di 405 mm/a nell'acquifero settentrionale e di 350 mm/a in quello meridionale. L'infiltrazione efficace per il complesso della maiolica e della corniola – calcare massiccio indifferenziati è pari a 485 mm/a.

8.14. IDROSTRUTTURA N° 12: MONTE BOVE

La struttura si estende su un'area di 266 km² in cui il complesso della scaglia calcarea affiora su circa il 25% della superficie, il complesso della maiolica affiora su circa il 17%, come quello della corniola – calcare massiccio. In circa un terzo del territorio settentrionale (rilievo di Monte Bove) la copertura è costituita prevalentemente dal complesso dei depositi detritici che nasconde gli originali affioramenti dei complessi carbonatici. Nel settore meridionale affiora abbondantemente il complesso dei depositi fluvio-lacustri dei Piani di Castelluccio (20 km²).

Il bordo occidentale dell'idrostruttura corrisponde ad un limite a flusso nullo costituito, procedendo da nord verso sud, dal sovrascorrimento di Visso, dalla fascia di intensa tettonizzazione di Monte Patino e dal proseguimento della linea Nottoria – Preci – Conca di Norcia.

Il bordo orientale e meridionale è chiuso idraulicamente dal fronte di sovrascorrimento dei Monti Sibillini. Resta indefinita la natura del limite settentrionale, che divide questa struttura da quella idrogeologica del Fiume Fiastrone, posta in territorio marchigiano.

Nell'area di ricarica totale non è stata compresa la fascia di Monte Patino a cui Boni e Petitta (2007) hanno attribuito un valore nullo di infiltrazione efficace, a causa dell'intensa tettonizzazione a cui sono state sottoposte le formazioni affioranti.

Nell'idrostruttura sono stati identificati due acquiferi principali.

- L'acquifero superiore della scaglia che alimenta le sorgenti lineari dei Fiumi Nera e Ussita, a Visso, e il Fosso di Visso con una portata complessiva di 640 l/s. L'area di ricarica è estesa circa 51 km² e corrisponde agli affioramenti del complesso di scaglia calcarea. Per questo complesso è stata valutata un'infiltrazione efficace di 395 mm/a. Non si esclude l'esistenza di locali collegamenti idraulici fra questo acquifero e quello basale, come risulta anche dalla ricostruzione della sezione idrogeologica interpretativa E-E', descritta nel paragrafo 9.4.
- L'acquifero regionale basale che alimenta, nel settore settentrionale, le sorgenti dell'alto Nera e del Torrente Ussita con una portata complessiva di 3527 l/s e le sorgenti puntuali del settore meridionale (Monte Serra) con una portata complessiva di 751 l/s.

La circolazione idrica del settore settentrionale ha un'area di ricarica di 134 km², che comprende i Piani di Castelluccio; l'infiltrazione efficace valutata è di 680 mm/anno.

La circolazione idrica del settore meridionale ha un'area di ricarica, corrispondente ai rilievi di Monte Serra e Monte Macchialta, di 81 km²; l'infiltrazione efficace valutata è di 294 mm/a.

La marcata differenza fra i valori di infiltrazione efficace per il medesimo complesso può essere spiegata dalla valutazione della precipitazione efficace proposta da Boni e Petitta

(2007) sulla base dell'analisi delle precipitazioni nell'area dei Sibillini; gli Autori forniscono per il settore a sud della Piana di Castelluccio un valore di pioggia efficace annua non superiore a 400 mm e per la zona a nord della Piana un valore superiore a 1000 mm, dovuto principalmente alle differenze di quota fra le due dorsali.

8.15. IDROSTRUTTURA N° 13: MONTE SOLENNE - FERENTILLO

L'idrostruttura ha un'area totale di 107 km², di cui circa il 20% corrisponde agli affioramenti del complesso della scaglia calcarea, il 27% corrisponde agli affioramenti del complesso della maiolica e solo il 3% agli affioramenti del complesso corniola – calcare massiccio. Il resto della superficie corrisponde in gran parte agli affioramenti del complesso fluvio - lacustre della Conca di Rieti.

Il bordo orientale coincide con un limite di flusso nullo posto in corrispondenza del fronte di sovrascorrimento Monte S. Angelo – Monte Solenne (Decandia & Tavernelli, 1990). Allo stato attuale delle conoscenze non è ancora nota la natura dei limiti occidentali che separano questa struttura da quella dei Monti di Spoleto (n° 15c) e dei Monti Sabini (n° 15d).

Lungo il bordo meridionale non sono noti scambi idraulici con la Conca di Rieti.

La struttura alimenta, con modalità non ancora chiarite, la sorgente lineare del Fiume Nera fra Ferentillo e Arrone avente una portata di 940 l/s, fra quota 240 e 227 m. Nella struttura non sono note altre sorgenti di importanza regionale, ad eccezione della sorgente Peschiera (35 l/s), chiaramente alimentata da una falda locale sospesa nell'acquifero della scaglia. Sono state avanzate ipotesi di alimentazione del Fiume Velino, a monte della cascata delle Marmore, con una portata non quantificata, ma dell'ordine di un metro cubo secondo.

Ipotizzando un'infiltrazione efficace di 450 – 500 mm/a, concorde con i valori calcolati per le strutture limitrofe, si calcola per questa idrostruttura una potenzialità di 1527 – 1696 l/s. Questo risultato avvalorava l'ipotesi che parte della risorsa idrica sotterranea trovi recapito nell'alveo del Fiume Velino.

Le informazioni idrogeologiche di questo settore di territorio umbro sono scarse, così come i dati relativi alle misure delle portate delle sorgenti sono indubbiamente carenti. Si segnala, quindi, la necessità di approfondire il grado di conoscenza di questa idrostruttura per rendere possibile la sua corretta collocazione all'interno del quadro idrogeologico regionale proposto.

8.16. IDROSTRUTTURA N°14: MONTE TERMINILLO

L'idrostruttura ha un'area di 221 km².

Il bordo settentrionale della struttura corrisponde alla faglia di Leonessa; quello orientale è posto in corrispondenza del limite a flusso nullo della prosecuzione verso sud del fronte di sovrascorrimento dei Monti Sibillini (Linea Olevano – Antrodoco). Verso occidente la struttura è tamponata dai depositi fluvio - lacustri della Piana di Rieti.

La portata complessivamente erogata dalla struttura è pari a 6150 l/s, di cui 5500 emergono dalla sorgente di Santa Susanna, alla cui alimentazione contribuiscono apporti idrici profondi che determinano l'elevato grado di mineralizzazione delle acque.

Il dominio geologico-strutturale di appartenenza di questa idrostruttura è quello di transizione verso la piattaforma carbonatica; lo stile tettonico - deformativo che la caratterizza, quindi, assume un aspetto intermedio fra quello prevalentemente plicativo del dominio pelagico umbro-marchigiano e quello prevalentemente fratturato, tipico del dominio di piattaforma. Anche le caratteristiche litologiche delle formazioni variano notevolmente sia per l'aumento della componente calcarea che del suo spessore, legato alla presenza di intercalazioni detritiche tipiche del dominio di transizione.

Queste diverse caratteristiche geologiche si traducono in un differente assetto idrogeologico dell'idrostruttura in esame. Le frequenti ed articolate dislocazioni tettoniche favoriscono la continuità idraulica fra i complessi calcarei, non consentendo una differenziazione a scala regionale della circolazione idrica fra l'acquifero della scaglia e quello regionale basale. L'idrostruttura contiene quindi un unico grande acquifero indifferenziato, che trova il suo livello di base nella sorgente di Santa Susanna dove emerge il 90% dell'intera potenzialità della struttura.

L'alto grado di fratturazione dei complessi carbonatici appartenenti al dominio di transizione e la notevole elevazione in quota della struttura che determina cospicue precipitazioni, favoriscono l'infiltrazione efficace, che in questa struttura raggiunge valori medi di 880 mm/a.

8.17. IDROSTRUTTURA N° 15a: MONTI MARTANI

L'idrostruttura è estesa circa 130 km², con prevalente affioramento del complesso della scaglia calcarea (41%); il complesso della maiolica affiora su circa il 19% della superficie, il complesso della corniola – calcare massiccio su circa il 25% e quello dolomitico – evaporitico solo sul 2%.

Nel settore nord orientale la struttura è chiusa dal limite stratigrafico e di permeabilità del complesso calcareo – marnoso che corre a quote sempre superiori ai 400 m. Lungo il margine sudoccidentale si riconosce un marcato sistema tettonico distensivo, che lascia idraulicamente aperta la struttura in corrispondenza di potenti depositi di travertino, intercalati e sovrapposti a depositi lacustri che poggiano sulla struttura a quote variabili, ma sempre superiori a 300 m.

Non sono note, nella struttura, sorgenti significative.

Considerando l'incidenza delle percentuali di affioramento dei diversi complessi carbonatici è ragionevole ipotizzare un'infiltrazione efficace di 500 mm/a, corrispondente ad una potenzialità media della struttura di 2060 l/s, che alimenterebbe per vie sotterranee idrostrutture limitrofe.

Si ipotizza che l'idrostruttura dei Monti Martani contribuisca all'alimentazione delle sorgenti di Stifone Monitoro, ubicate all'interno dell'idrostruttura dei Monti di Narni e Amelia (n° 15b); non sono note le modalità e le vie di drenaggio sotterranee che favorirebbero questa alimentazione.

8.18. IDROSTRUTTURA N° 15b: MONTI DI NARNI E AMELIA

L'idrostruttura ha una superficie di 268 km² in cui affiora prevalentemente il complesso della corniola – calcareo massiccio (59%); in questa idrostruttura è presente il maggior affioramento (6% corrispondente a 15 km²) del complesso dolomitico – evaporitico rilevato in tutta l'area studiata. Il complesso della scaglia calcarea corrisponde al 9% della superficie e quello della maiolica al 4%.

La struttura è tamponata lungo tutto il suo bordo esterno dagli affioramenti del complesso dei depositi alluvionali, fluvio-lacustri e marini e del complesso calcareo – marnoso. Il passaggio litologico fra i complessi carbonatici della dorsale e quelli prevalentemente terrigeni che la circondano, corre sempre al di sopra dei 300 m, per deprimersi a 75 m solo in corrispondenza delle gole di Narni, dove direttamente nell'alveo del Fiume Nera è presente una sorgente lineare avente una portata di magra ordinaria di circa 13420 l/s (Sorgenti di Stifone Montoro).

L'idrostruttura ospita quindi un grande acquifero regionale basale, che trova il suo livello di base nella sorgente di Stifone Montoro. Nel settore settentrionale, presso il Lago di Corbara, è stata ipotizzata l'esistenza di un acquifero della scaglia con drenaggio verso il Tevere (Boni et alii, 1991). Anche Dragoni e Di Matteo (2006b) indicano, sulla base di informazioni piezometriche raccolte nei pozzi profondi che, parte delle acque infiltrate in questa struttura tendono a dirigersi, perlomeno nella zona settentrionale, verso il Fiume Tevere. Inoltre, studi idrochimici indicano nella zona occidentale della struttura la presenza di un acquifero in pressione, con acque a chimismo simile a quelle della sorgente Stifone Montoro, con potenziale idraulico inferiore di 20 m, rispetto a quello di Stifone (Dragoni & Di Matteo, 2006b).

L'estrema complessità dell'assetto idrodinamico di questa struttura richiederebbe un approfondimento delle conoscenze idrogeologiche di questo settore di territorio.

Considerando l'incidenza delle percentuali di affioramento dei diversi complessi carbonatici, è ragionevole ipotizzare un'infiltrazione efficace di 600 mm/anno, relativo ad una potenzialità media della struttura di 5099 l/s, che corrisponde a circa il 38% dell'intera portata erogata dalla sorgente di Stifone Montoro. E' evidente quindi che l'idrostruttura in esame riceve apporti idrici sotterranei dall'esterno, per almeno 8320 l/s.

8.19. IDROSTRUTTURA N° 15c: MONTI DI SPOLETO

L'idrostruttura ha una superficie di 164 km² di cui circa il 20% corrisponde agli affioramenti del complesso della scaglia calcarea, il 25% a quello della maiolica e il 28% a quello della corniola – calcare massiccio.

Il bordo occidentale coincide con il sovrascorrimento di Val Serra; la complessità tettonico – strutturale ancora non univocamente interpretata, non consente di attribuire un ruolo idrogeologico certo a questo lineamento tettonico. Non si esclude la possibilità di un collegamento idraulico del settore occidentale dell'idrostruttura con la dorsale dei Monti Martani. In questo caso il ruolo idrogeologico di chiusura idraulica verrebbe assunto dal retroscorrimento di Battiferro ("Faglia di Battiferro"), situato a nord di Terni e che taglia longitudinalmente la struttura (Calamita & Pierantoni, 1994). Il bordo orientale della struttura coincide, nel tratto settentrionale, con il limite di flusso nullo del sovrascorrimento della Valnerina; la prosecuzione del limite orientale verso sud, di cui non è ancora sufficientemente nota la natura, è posta in corrispondenza del motivo tettonico che porta al sovrascorrimento della dorsale di Monte Fionchi sulla struttura di Monte Solenne (APAT Dipartimento Difesa del Suolo, in lavorazione). I bordi settentrionali e meridionali sono idraulicamente tamponati dal complesso fluvio – lacustre rispettivamente della piana spoletina – folignate e dalla conca ternana.

Non sono note, nell'idrostruttura, sorgenti significative.

Considerando l'incidenza delle percentuali di affioramento dei diversi complessi carbonatici è ragionevole ipotizzare un'infiltrazione efficace di 550 mm/anno corrispondente ad una potenzialità media della struttura di 2860 l/s, che alimenterebbe per vie sotterranee idrostrutture limitrofe. In particolare l'idrostruttura dei Monti di Spoleto potrebbe contribuire all'alimentazione delle sorgenti di Stifone Monitoro, ubicate nell'idrostruttura dei monti di Narni e Amelia (n° 15b), attraverso probabili percorsi idrici sotterranei profondi non ancora noti.

8.20. IDROSTRUTTURA N° 15d: MONTI SABINI

L'idrostruttura ha una superficie di 212 km², di cui meno del 10% corrisponde agli affioramenti del complesso della scaglia calcarea, il 30% a quelli del complesso della maiolica e il 45 % a quelli del complesso corniola – calcare massiccio.

Il bordo settentrionale, occidentale e meridionale della struttura sono tamponati dal complesso dei depositi fluvio – lacustri e dal complesso calcareo – marnoso a quote variabili fra 300 e 400m.

La dorsale dei Monti Sabini è chiusa ad oriente dal sovrascorrimento di Contigliano, che affiora con continuità dal margine orientale della conca reatina verso Monte Tancia ; la sua prosecuzione verso nord è coperta dai depositi quaternari.

Non sono note, nell'idrostruttura, sorgenti significative.

Il dominio geologico-strutturale di appartenenza di questa idrostruttura è quello di transizione verso la piattaforma carbonatica; le caratteristiche idrogeologiche sono, quindi, simili a quelle già descritte per l'idrostruttura n° 14 del Monte Terminillo.

Considerando l'incidenza delle percentuali di affioramento dei diversi complessi carbonatici e l'analogia geologico – strutturale con il Monte Terminillo, è ragionevole ipotizzare un'infiltrazione efficace non inferiore a 650 mm/anno corrispondente ad una potenzialità media della struttura di 4370 l/s, che alimenterebbe per vie sotterranee idrostrutture limitrofe. Viene sostenuta da diversi Autori l'ipotesi di un contributo sotterraneo all'alimentazione delle sorgenti di Stifone Montoro (idrostruttura n° 15b: Monti di Narni e Amelia) da parte di questa struttura. Non sono state, però, ancora individuate le direttrici di flusso sotterraneo che consentirebbero il collegamento idraulico profondo ipotizzato.

8.21. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE DELLE SORGENTI DI STIFONE MONTORO

Quanto finora descritto sulle ipotesi di probabili collegamenti idraulici sotterranei tra le strutture potenzialmente coinvolte nell'alimentazione della Sorgente di Stifone Montoro, può essere sintetizzato nella tabella 8.2.

STRUTTURA	PORTATA (l/s)	INFILTAZIONE EFFICACE (mm/a)
Monti Martani	2060	500
Monti di Narni-Amelia	5099	600
Monti di Spoleto	2860	550
Monti Sabini	4370	650
Totale	14389	

Tabella 8. 2 *Potenzialità idrica calcolata per le idrostrutture in probabile collegamento idrico sotterraneo con la sorgente di Stifone Montoro*

Il valore complessivo ottenuto (14389 l/s) è confrontabile con quello della portata della sorgente di Stifone Montoro (13420 l/s).

E' evidente che per ottenere una conferma delle ipotesi avanzate è necessario un approfondimento degli studi idrogeologici delle idrostrutture coinvolte, mirato, soprattutto, alla ricostruzione dell'assetto geologico – strutturale profondo ed a una corretta sua interpretazione in chiave idrogeologica e alla verifica dei valori di infiltrazione efficace ipotizzati.

8.22. IDROSTRUTTURA N° 16: MASSICCI PERUGINI

L'estensione della struttura è di circa 60 km² di cui il 28% corrisponde agli affioramenti del complesso della scaglia calcarea e il 20% agli affioramenti del complesso dolomitico – evaporitico; il complesso della maiolica (7 km²) e quello della corniola – calcare massiccio (5 km²) affiorano complessivamente sul 20% dell'area totale.

Questa struttura è costituita da scaglie tettoniche sradicate dal substrato originario ed è caratterizzata dal sovrascorrimento delle unità terrigene toscane sulle strutture compressive carbonatiche umbre, il tutto successivamente dislocato da faglie normali a basso angolo. (Boila et alii, 1999; Barchi et alii, 1986; Minelli et alii, 1986; Minelli & Menichetti, 1990).

L'idrostruttura è tamponata a est ed a ovest dalle formazioni terrigene. L'acquifero carbonatico risulta fortemente compartimentato, condizionato dall'articolata rete di faglie; la quota di saturazione va da 280 m nel settore settentrionale fino a 200 m nel settore sudoccidentale; anche nel settore sudorientale la quota di saturazione si trova circa a 280 m. Lungo il bordo orientale e nordorientale l'acquifero alluvionale non risulta in collegamento idraulico con quello carbonatico.

Il settore meridionale di Monte Malbe è caratterizzato dalla presenza nella pianura di depositi di travertino con spessori medi di 10 – 20 m. Il deflusso idrico profondo proveniente dalla struttura carbonatica alimenta prevalentemente la falda contenuta nei travertini, che ha buone caratteristiche di produttività (Boila et alii, 1999).

Non sono note in questa idrostruttura emergenze idriche naturali significative.

Boni et alii (1991) attribuiscono a questa idrostruttura un'infiltrazione media di 405 mm/anno, corrispondente ad una potenzialità di circa 720 l/s.

Boila et alii (1999) presentano il bilancio idrologico per la sola unità di Monte Malbe, utilizzando una distribuzione delle piogge nell'intervallo di tempo 1921 – 1988, in cui risulta che la maggioranza degli anni considerati ha valori di infiltrazione efficace superiori a 300 mm/anno.

L'assenza di emergenze naturali e la difficoltà di acquisire dati idrogeologici quantitativi non consente di verificare le ipotesi proposte.

8.23. IDROSTRUTTURA N° 17: MONTI DI GUBBIO

La superficie di questa idrostruttura è di circa 15 km², di cui circa il 50% corrispondente agli affioramenti del complesso della scaglia calcarea; il complesso della maiolica affiora in circa il 13% dell'area totale.

Lungo il bordo orientale si segue un fronte di accavallamento complesso (superfici di scorrimento e retroscorrimento); il bordo occidentale è marcato da una faglia diretta che ribassa di oltre 1000 m il fianco occidentale, garantendo una continuità idraulica fra l'acquifero carbonatico e i depositi neogenici della valle (Ficiarà et alii, 1998).

Un tempo questa struttura alimentava la sorgente Raggio, oggi scomparsa, ubicata al contatto fra i carbonati e i depositi neogenici del bordo occidentale. I dati storici della portata di questa sorgente sono molto variabili ed eterogenei (da 120 – 140 l/s a 40 - 50 l/s). Attualmente la sorgente è captata da un campo pozzi il cui prelievo è di 90 l/s secondo quanto desumibile da Ficiarà et alii (1998) e di almeno 200 l/s secondo quanto riportato da Boni et alii (1991).

Le altre sorgenti perenni esistenti hanno tutte portate inferiori a 30 l/s e quindi non sono state riportate nella cartografia allegata.

Uno studio idrogeologico di dettaglio, eseguito nel 1995 – 1997 (Ficiarà et alii, 1998) ha evidenziato l'esistenza di quattro acquiferi contenuti rispettivamente:

- nel complesso della scaglia calcarea (Acquifero superiore);
- nel complesso della maiolica (Acquifero intermedio, sfruttato dal campo pozzi Mocaiana, di cui non sono noti i prelievi);
- nel complesso della corniola – calcare massiccio (Acquifero inferiore, sfruttato dal pozzo idropotabile di Casamorcia con un prelievo di circa 15 -20 l/s);
- nel complesso dei depositi detritici (Acquifero coltre detritica, sfruttato dal campo pozzi Raggio di cui non è noto il reale prelievo, comunque non inferiore a 90 l/s).

Attribuendo un'infiltrazione efficace di 420 mm/anno si ottiene una potenzialità di circa 200 l/s.

Boni et alii (1991) ipotizzano per questa struttura una potenzialità di 250 l/s.

Ficiarà et alii (1998) attribuiscono all'idrostruttura dei Monti di Gubbio un'infiltrazione efficace media (calcolata per il periodo 1973 – 1995) compresa fra 69 mm (1989) e 550 m (1987), corrispondente ad una potenzialità minima di circa 30 l/s ed una massima di 270 l/s.

8.24. IDROSTRUTTURA N° 18: MONTE SUBASIO

La struttura si estende su una superficie di circa 48 km² di cui il 56% costituito dagli affioramenti del complesso della scaglia calcarea; il complesso della maiolica (9 km²) e quello della corniola – calcare massiccio (1 km²) coprono il 20% del territorio considerato.

L'idrostruttura risulta chiusa sul lato nord-orientale dal passaggio stratigrafico ai depositi terrigeni cenozoici, mentre risulta completamente aperta sul lato sud-occidentale, dove viene troncata da un motivo distensivo.

La struttura è priva di emergenze significative; l'intero drenaggio sotterraneo alimenterebbe gli acquiferi della Valle Umbra.

Il bilancio effettuato da Chiodini et alii (1991) fornisce circa 600 l/s per il deflusso profondo, rispetto ai 50 l/s che restituiscono le sorgenti, tutte con portate inferiori a 30 l/s, alimentate da falde sospese, completamente isolate rispetto alla circolazione idrica profonda. Le principali aree di deflusso sotterraneo si individuano in alcune porzioni del limite occidentale del rilievo, in prossimità di Assisi e Spello. Nella prima zona i deflussi sono più superficiali ed alimentano la falda freatica della Valle Umbra. Nella zona di Spello il deflusso è profondo e collegato con la falda artesiana di Cannara (Chiodini et alii, 1991).

La potenzialità idrica valutata in 650 l/s, corrisponde ad un'infiltrazione efficace media di 430 mm/anno.

Boni et alii (1991) attribuiscono a questa struttura un'infiltrazione di circa 480 mm/anno, che corrisponde ad una potenzialità media di 730 l/s, valore confrontabile, come ordine di grandezza, con quello proposto da Chiodini et alii (1991).

9. SEZIONI IDROGEOLOGICHE INTERPRETATIVE

Nell'Allegato 3 (Tavola delle sezioni idrogeologiche interpretative) vengono presentate cinque sezioni idrogeologiche le cui tracce sono riportate nella Carta Idrogeologica (Allegato 1A-1B). Le sezioni interessano esclusivamente il dominio carbonatico umbro – marchigiano; non sono state realizzate sezioni idrogeologiche in corrispondenza del dominio vulcanico.

Le sezioni idrogeologiche sono state prodotte alla scala 1:50.000 per una migliore leggibilità dei contenuti proposti, altrimenti non rappresentabili alla scala della cartografia idrogeologica (1:100.000).

Come base geologica di riferimento sono stati scelti alcuni profili fra quelli proposti dalla vasta letteratura sull'argomento; in particolare, sono stati selezionati quei profili la cui traccia si estende almeno attraverso un'intera idrostruttura, intercettando la posizione delle principali sorgenti. Le sezioni idrogeologiche interpretative proposte possono presentare, quindi, alcune incongruenze con la cartografia di riferimento (Carta idrogeologica del dominio carbonatico e vulcanico in Umbria, Allegato 1A e 1B), che evidentemente non corrisponde a quella utilizzata dagli Autori dei profili geologici di base.

Le anomalie più evidenti sono state corrette con opportune modifiche e semplificazioni; nel caso specifico della sezione E-E' non è stato possibile eliminare tutte le incongruenze per non alterare l'originale interpretazione degli Autori.

La reinterpretazione in chiave idrogeologica dei profili scelti ha lasciato inalterata l'interpretazione geologico – strutturale delle sezioni proposte che è, quindi, da attribuire agli Autori citati in calce a ciascuna sezione e riportati in bibliografia.

L'assetto idrostrutturale ricostruito nelle sezioni viene presentato in maniera estremamente semplificata con l'esclusivo obiettivo di mettere in evidenza soprattutto la geometria profonda degli acquiferi, non direttamente desumibile dalla lettura della cartografia allegata.

I principali aspetti idrogeologici evidenziati nelle sezioni interpretative sono i seguenti:

- probabile andamento in profondità delle barriere idrauliche che condizionano la circolazione idrica profonda, costituenti i limiti delle idrostrutture;
- eventuali differenze di potenziale fra l'acquifero della scaglia e l'acquifero regionale basale;
- situazioni di possibile interconnessione idraulica fra gli acquiferi individuati.

Nelle sezioni idrogeologiche interpretative tutti i complessi idrogeologici calcarei con ruolo di acquifero (Complesso della Scaglia calcarea, Complesso della Maiolica e Complesso della Corniola – Calcare massiccio) vengono interpretati come “Complessi carbonatici indifferenziati” e rappresentati con un puntinato nero su sfondo bianco.

Con diversi toni di grigio vengono rappresentati i complessi idrogeologici con ruolo di acquiclude (Complesso marnoso – arenaceo, Complesso calcareo - marnoso e Complesso delle Marne a Fucoidi) e di aquitard (Complesso calcareo – silico – marnoso).

Il probabile aquitard profondo, rappresentato dal Complesso dolomitico – evaporitico, posto alla base dell'acquifero basale, viene distinto dal colore giallo.

Con il colore celeste vengono rappresentati i complessi dei depositi detritici alluvionali e fluvio-lacustri indifferenziati.

Queste ulteriori semplificazioni, rispetto alla suddivisione in complessi idrogeologici proposta nel paragrafo 6.2, si sono rese necessarie per poter rendere maggiormente evidente dal punto di vista grafico la distribuzione delle falde individuate in ciascun acquifero. Il settore saturo dell'acquifero della scaglia è rappresentato dal colore verde e il probabile livello piezometrico della falda è contraddistinto da una linea nera con un triangolo bianco. La falda dell'acquifero basale è rappresentata dal colore blu e il probabile livello piezometrico corrisponde a una linea nera con un triangolo nero. La linea tratteggiata rappresenta il livello piezometrico delle falde, dove vengono ipotizzate in condizioni di pressione.

La posizione delle sorgenti riportate nella carta idrogeologica ed intercettate dalle sezioni viene indicativamente rappresentata da cerchi (sorgenti puntuali) e triangoli (sorgenti lineari) colorati diversamente in funzione dell'alimentazione prevalentemente attribuita all'acquifero della scaglia (verde) o all'acquifero basale (blu).

Tra le sorgenti alimentate dall'acquifero basale (blu) sono state evidenziate con un contorno giallo quelle in cui è stato riconosciuto un probabile contributo idrico profondo.

9.1. SEZIONE A – A’

La sezione attraversa, con direzione WSW-ENE, le idrostrutture di Monte Faeto (n° 4), di Monte Maggio (n° 2) e monte Pennino (n° 3).

Dalla ricostruzione dei livelli piezometrici risulta che procedendo da WSW verso ENE le falde individuate hanno quote di saturazione progressivamente più alte e sono idraulicamente separate dal proseguimento in profondità degli aquicludes riconosciuti in affioramento.

La falda dell’acquifero basale risulterebbe libera in corrispondenza del nucleo di Monte Maggio e si può ragionevolmente ipotizzare la sua continuazione nel fianco occidentale della struttura, in condizioni di pressione, tamponata al tetto dall’aquiclude delle marne a fucoidi.

Nell’idrostruttura di monte Pennino non si esclude una continuità idraulica fra l’acquifero della scaglia e quello basale, in accordo con quanto riferito da Ardizzone et alii (1999).

L’ipotesi dell’esistenza di scambi idrici profondi fra gli acquiferi della scaglia calcarea di Monte Faeto e Monte Maggio, descritta nel paragrafo 8.4, sembrerebbe confermata dalla tendenza a risalire verso sud del nucleo della sinclinale interposta fra Monte Faeto e Monte Maggio; non è possibile, infatti, escludere una continuità idraulica fra gli acquiferi della scaglia, non più separati in profondità dal complesso calcareo marnoso.

9.2. SEZIONE B – B'

Questa sezione, con direzione SSW – NNE, mette in evidenza il probabile assetto idrogeologico che determina l'alimentazione delle Fonti del Clitunno e i rapporti che questo sistema ha con le idrostrutture adiacenti.

La sezione, infatti, attraversa l'idrostruttura di Monte Santo Stefano – Monte Brunette (n° 6), il settore settentrionale di quella di Monte Siliolo – Monte Carpegna – Monte Galenne (n° 7) e intercetta il settore nordorientale dell'idrostruttura di Monte San Salvatore – Monte Maggiore (n° 8) nel punto di emergenza della sorgente Capo Vena di Rasiglia.

L'interpretazione geologica proposta da Barchi et alii (1996) mostra come la prosecuzione in profondità del fronte che limita il fianco orientale di Monte Brunette, sostenga la circolazione idrica profonda dell'acquifero basale che alimenta le sorgenti del Clitunno; la risalita del substrato dolomitico e il suo coinvolgimento nella circolazione profonda giustificerebbe l'elevata mineralizzazione che caratterizza le acque di queste sorgenti.

La falda dell'acquifero della scaglia di Monte Siliolo, che alimenta il corso del Fiume Menotre, sembrerebbe proseguire, in condizioni di probabile pressione, fin sotto l'acquifero di Monte Brunette.

Nell'acquifero basale di Monte San Salvatore la falda, tamponata dall'aquiclude delle marne a fucoidi, emerge in corrispondenza della Sorgente Capo Vena di Rasiglia; la sorgente riceve anche altri contributi idrici profondi attraverso la faglia diretta, ben evidente nella sezione, che costituirebbe una via di drenaggio preferenziale delle acque sotterranee.

Nella sezione appare, inoltre, evidente che l'acquifero basale di Monte San Salvatore potrebbe svilupparsi verso SSW, sotto l'acquifero della scaglia di Monte Siliolo; non sono evidenti, infatti, elementi che possano giustificare una barriera idraulica profonda, che limiti la circolazione dell'acquifero basale in questa direzione.

9.3. SEZIONE C – C’

La sezione idrogeologica C-C’ propone un tentativo di interpretazione del complesso assetto idrogeologico che caratterizza l’idrostruttura di Monte Tolentino – Monte Cavogna (n° 11) descritto nel paragrafo 8.13.

Nella sezione viene messo in evidenza che la falda dell’acquifero basale, localmente in pressione (zona di Piè del Colle e di Abeto) alimenta esclusivamente le sorgenti lineari del Fiume Corno e del Fiume Nera in corrispondenza della loro confluenza. In particolare nel tratto drenante del Fiume Nera emergono sia le acque alimentate dalla falda dell’acquifero della scaglia, che quelle provenienti dalla circolazione nella falda dell’acquifero basale, localmente in continuità idraulica a causa di dislocazioni tettoniche.

Nel settore orientale è evidente la coesistenza di due circolazioni idriche separate. L’aquiclude delle marne a fucoidi sostiene la falda libera dell’acquifero della scaglia che, verso NE, alimenta le sorgenti lineari del Fiume Campiano, e, verso WSW, tampona la falda in pressione dell’acquifero basale che drena verso il Fiume Nera.

9.4. SEZIONE D – D'

La sezione si estende fra le idrostrutture dei Monti di Spoleto (n° 15c), di Monte Aspra – Monte Coscerno (n° 10) e di Monte Tolentino – Monte Cavogna (n° 11).

La quota di saturazione della falda (circa 200 m s.l.m.) dell'acquifero basale dei Monti di Spoleto è stata ricostruita sulla base dell'ipotesi di alimentazione di questa struttura verso la sorgente di Stifone Montoro, descritta nei paragrafi 8.19 e 8.21.

Nell'idrostruttura di Monte Coscerno è evidente la sovrapposizione della circolazione idrica dell'acquifero della scaglia su quella dell'acquifero profondo. Entrambe le falde alimentano le sorgenti lineari del Fiume Nera fra Sant'Anatolia di Narco e Scheggino con le modalità descritte nel paragrafo 8.12. Dalla ricostruzione dell'assetto geologico – strutturale proposto è possibile attribuire l'alimentazione della Sorgente Scheggino esclusivamente all'acquifero della scaglia.

La falda dell'acquifero basale dell'idrostruttura di Monte Tolentino si troverebbe in pressione sotto la falda dell'acquifero della scaglia e, in particolare, sotto la valle del Corno la quota piezometrica della falda basale risulterebbe maggiore di quella della falda della scaglia. Questa situazione potrebbe favorire una parziale ricarica dell'acquifero della scaglia da parte dell'acquifero basale per drainance. Non sono noti elementi che consentano di verificare la quota di saturazione della falda della scaglia a W del Fosso Tissino.

9.5. SEZIONE E – E'

Nella sezione è evidente la quota di saturazione della falda (circa 750 m s.l.m.) dell'acquifero basale che alimenta la sorgente lineare del Torrente Rapegna e le Sorgenti di San Chiodo da cui trae origine il corso del Fiume Nera. La falda sarebbe contenuta prevalentemente nel complesso della corniola – calcareo massiccio; con gli elementi a disposizione non è possibile verificare se, nella situazione specifica del rilievo di Poggio Sommorto, il complesso calcareo – silico - marnoso possa svolgere il ruolo di aquiclude locale fra questa circolazione e quella del complesso della maiolica, come ipotizzato da Tarragoni (2005).

Nello stesso settore i rapporti stratigrafico – strutturali evidenziati non forniscono una giustificazione per l'isolamento idraulico dell'acquifero basale da quello della scaglia che potrebbero, quindi, trovarsi localmente in continuità idraulica.

10. PROBLEMATICHE APERTE E PROSPETTIVE DI RICERCA

I risultati raggiunti dallo studio, illustrati nei capitoli precedenti e negli elaborati cartografici allegati, hanno messo in evidenza diverse problematiche, in parte irrisolte, sia a scala dell'intero dominio che per singole idrostrutture. Questi aspetti vengono elencati di seguito, con il duplice scopo di sottolinearne l'esistenza laddove si debba intervenire con specifiche scelte di pianificazione, ma anche in modo da suggerire appositi approfondimenti delle conoscenze, utilizzando approcci di studio diversificati, che possano completare uno studio prettamente quantitativo, quali le indagini idrochimiche e isotopiche e/o la realizzazione di modelli numerici di simulazione del flusso idrico sotterraneo.

In particolare, si evidenzia quanto segue:

- a) la circolazione idrica all'interno delle idrostrutture viene indicata soltanto sulla base delle principali direttrici del deflusso sotterraneo, senza definire con precisione spartiacque dinamici anche secondari, in assenza della ricostruzione di curve isopiezometriche, di difficile definizione su idrostrutture carbonatiche; un contributo in tal senso potrebbe venire dal potenziamento della rete di controllo su pozzi e piezometri profondi;
- b) la distinzione dei due acquiferi di interesse regionale (quello della Scaglia e quello Basale) è sufficientemente nota in termini di aree di ricarica, mentre non è stato possibile allo stato attuale verificare in molti casi eventuali scambi idrici sotterranei, sia laterali che verticali (drainance); tale comunicazione viene soltanto ipotizzata sulla base del modello concettuale in alcune idrostrutture;
- c) la valutazione dell'infiltrazione efficace con il metodo diretto ha fornito risultati anche molto differenti tra loro per le singole idrostrutture; in alcuni casi queste differenze sono state attribuite a diverse condizioni di permeabilità dovute all'assetto geologico-strutturale; in altri casi, in particolare in assenza di emergenze significative, la valutazione della ricarica degli acquiferi è avvenuta per confronto con aree limitrofe a comportamento analogo; inevitabilmente il passaggio dalla scala regionale a quella delle singole idrostrutture, richiede una ridiscussione del parametro infiltrazione efficace, che può presentare variabilità non soltanto in funzione dei complessi idrogeologici e degli afflussi;
- d) il ruolo rivestito dalle piane intramontane e dalle coperture recenti nelle aree montuose, quale possibile contributo alla ricarica degli acquiferi carbonatici contigui, è stato parzialmente studiato in questo lavoro (caso della Piana di Colfiorito), ma rappresenta certamente un elemento in grado di condizionare sia il deflusso idrico sotterraneo che l'entità e la distribuzione della ricarica;

- e) il travaso dalle idrostrutture carbonatiche verso gli acquiferi alluvionali e detritici di fondovalle è stato calcolato su base indiretta (deficit di deflusso rispetto alla ricarica), ma una sua più dettagliata e precisa valutazione rappresenta un obiettivo futuro imprescindibile, al fine di ottimizzare gli usi della risorsa e il rilascio delle concessioni idriche;
- f) l'influenza di una circolazione profonda su numerose emergenze è stata in questa sede evidenziata come un dato di fatto, in assenza di ulteriori elementi conoscitivi, ma la problematica richiede necessariamente l'analisi delle reciproche influenze tra circolazione negli acquiferi carbonatici fratturati e risalita di fluidi mineralizzanti, sia a scala regionale che per singole idrostrutture;
- g) a tale proposito, nella ricerca si è sollevata la questione relativa al ruolo del substrato evaporitico-dolomitico nella circolazione idrica sotterranea, che resta un nodo irrisolto, sia in termini di contributo quantitativo (aliquote di flusso circolanti nel substrato) che di influenza sulla qualità delle acque (mineralizzazione specifica); in particolare, la definizione dell'area di ricarica delle grandi sorgenti di Stifone Montoro richiede specifici approfondimenti, tenuto conto delle incertezze sull'entità della ricarica e sulle modalità di comunicazione profonda tra le singole idrostrutture;
- h) infine, per alcune idrostrutture restano dubbi sia sul ruolo dei limiti idrodinamici, che sull'entità della risorsa in termini di magra ordinaria e/o massima magra, per oggettiva carenza di dati disponibili o particolare complessità dell'assetto geologico-strutturale; in questi casi, specifici approfondimenti e monitoraggi potranno consentire una migliore caratterizzazione idrogeologica.

Tenuto conto delle problematiche sopra elencate, si individuano alcuni strumenti di studio e ricerca in grado di migliorare il quadro conoscitivo e soprattutto di verificare e dettagliare ulteriormente il modello idrogeologico concettuale proposto, da realizzarsi attraverso il seguente approccio:

- identificazione di alcune aree campione dove eseguire studi di dettaglio multidisciplinari, per ottenere una definizione più precisa del ciclo idrologico, dalla ricarica al deflusso, tramite monitoraggio idrogeologico e studio idrogeochimico e isotopico;
- differenziazione delle attività in funzione di problematiche differenti nelle singole idrostrutture: in idrostrutture chiuse si mirerà alla definizione del ruolo dei singoli acquiferi e alla valutazione dell'infiltrazione efficace e delle sue variazioni con la precipitazione e con l'assetto geologico-strutturale; in idrostrutture aperte, poste a contatto con depositi

alluvionali-detritici si focalizzerà l'indagine sul ruolo dei travasi sotterranei e dei contributi a/da circolazione profonda;

- indagini basate sull'integrazione delle misure dirette di portata su sorgenti e corsi d'acqua, coniugate ad analisi idrochimiche degli elementi maggiori, ma soprattutto a tecniche multiisotopiche (^{18}O , ^2H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ^{34}S , ecc.), con misurazione della variabilità stagionale dei parametri;
- allestimento di modelli numerici di simulazione, con approccio discreto basato sul concetto di "acquifero poroso equivalente", ma anche, per situazioni specifiche a scala di dettaglio, su simulazioni "dual porosity", che tengano conto della circolazione in rete di fratture.

L'esame integrato dei risultati delle future indagini idrogeologiche e idrogeochimiche, coniugato all'approccio modellistico, qui genericamente proposti, consentirebbe il passaggio dal momento conoscitivo, di cui lo studio qui presentato rappresenta un moderno aggiornamento, ad un vero e proprio strumento di gestione della risorsa idrica a scala regionale, in grado di consentire interventi a scala delle singole emergenze e delle situazioni specifiche.

11. CONCLUSIONI

Lo studio condotto per conto della Regione Umbria, Servizi Tecnici Regionali, relativo alla cartografia idrogeologica del dominio carbonatico e vulcanico umbro, ha prodotto, oltre la presente relazione finale, tre allegati cartografici che riassumono efficacemente i risultati ottenuti, rispettivamente relativi alla “Carta Idrogeologica del Dominio Carbonatico e Vulcanico in Umbria” (Allegato 1A-1B), alla “Carta delle Idrostrutture Carbonatiche Umbre” (Allegato 2) e alla “Tavola delle Sezioni Idrogeologiche Interpretative” (Allegato 3), tutte in formato elettronico georeferenziato.

L’obiettivo dello studio (Capitolo 1) è stato quello di realizzare prodotti cartografici in grado di evidenziare le risorse idriche sotterranee disponibili in regime di magra ordinaria e in periodo di crisi idrica nel dominio carbonatico e vulcanico del territorio della Regione Umbria, attraverso l’analisi del bilancio idrogeologico con metodo diretto e la conseguente individuazione delle principali idrostrutture.

La base conoscitiva pregressa a carattere geologico-strutturale e idrogeologico (Capitolo 2) è stata aggiornata e rivista criticamente, utilizzando (Capitolo 3) la banca dati contenente informazioni idrogeologiche quantitative dirette, quasi esclusivamente inedite, raccolte dal Laboratorio di Idrogeologia Quantitativa sotto la guida del Prof. Carlo Boni negli ultimi 25 anni; questa banca dati è stata integrata con i risultati di altri studi condotti nel territorio regionale, con misure direttamente eseguite dalla Regione Umbria e con i dati del monitoraggio quantitativo su alcune sorgenti, realizzato dall’ARPA Umbria.

La metodologia utilizzata per l’analisi dei dati (Capitolo 4) si fonda sulla valutazione diretta delle portate erogate dalle emergenze localizzate e lineari (metodo del bilancio idrogeologico “diretto”), che attraverso l’identificazione delle aree di ricarica su base geologico-strutturale, conduce all’individuazione delle idrostrutture e, conseguentemente, alla valutazione dell’infiltrazione efficace, quale rapporto tra portate erogate e area di alimentazione. Sul territorio studiato, l’infiltrazione efficace è stata valutata considerando le portate di magra ordinaria delle sorgenti e distinta sulla base dei principali complessi idrogeologici costituenti acquiferi di importanza regionale. Il prodotto finale è costituito dalla proposta di un bilancio idrogeologico a scala delle singole idrostrutture esaminate.

Per un numero limitato di sorgenti, monitorate in continuo da parte dell’ARPA Umbria, si sono analizzati gli idrogrammi e le relative curve di esaurimento (Capitolo 5), al fine di valutare i coefficienti di esaurimento (α) per 6 sorgenti per le quali era disponibile un sufficiente numero di anni di osservazione. I risultati delle elaborazioni consentono di valutare il comportamento delle

sorgenti studiate, relativamente alle modalità di esaurimento in assenza di ricarica, al tasso e al tempo di rinnovamento delle risorse regolatrici e all'entità erogata e residua delle stesse risorse; in tal modo è oggi possibile prevedere le portate di magra disponibili a seguito di un periodo siccitoso reale o ipotizzabile, favorendo l'allestimento di piani di razionalizzazione dell'uso della risorsa idrica.

La Carta Idrogeologica del Dominio Carbonatico e Vulcanico (Capitolo 6 e Allegato 1A-1B) sintetizza le informazioni utilizzate per la ricostruzione del modello idrogeologico concettuale dell'area esaminata. L'elaborato cartografico è stato redatto a partire dalla Carta Idrogeologica della Regione Umbria precedentemente realizzata, i cui contenuti sono stati integrati e, ove necessario, modificati con i risultati dell'analisi critica condotta sui dati appositamente utilizzati in questo studio. In carta sono riportati:

- 12 complessi idrogeologici che raggruppano i litotipi affioranti in base al comune comportamento idrogeologico, sulla base di uno schema che ricostruisce i rapporti tra successione stratigrafica, complessi idrogeologici e acquiferi; tra questi, vengono distinti i due principali acquiferi regionali, costituiti rispettivamente dall'Acquifero Regionale Basale (Complessi della maiolica e della corniola-calcareo massiccio) e dall'Acquifero della Scaglia (Complesso della scaglia calcarea);
- circa 100 sorgenti puntuali e lineari (di portata uguale o maggiore di 30 l/s), distinte per classi di portata e per acquifero di prevalente alimentazione; nella tabella esplicativa vengono inoltre indicate la portata di magra ordinaria, la portata minima misurata, il numero di misure eseguite e il relativo periodo, oltre alla quota di emergenza, la regione di ubicazione e, infine, l'idrostruttura di appartenenza;
- i tratti d'alveo in perdita, dove i fiumi contribuiscono all'alimentazione della falda sottostante;
- i principali punti di controllo del livello piezometrico degli acquiferi ritenuti significativi, corrispondenti alla rete di monitoraggio dell'ARPA Umbria e ad alcune perforazioni a scopo esplorativo;
- le principali derivazioni per scopi idroelettrici, con traccia indicativa del percorso e della portata derivata;
- il probabile andamento della superficie piezometrica, per il solo dominio vulcanico.

Per il dominio vulcanico, nello stesso capitolo, viene illustrato il bilancio idrogeologico realizzato riesaminando dati esclusivamente bibliografici.

Il prodotto innovativo dello studio è costituito dalla Carta delle Idrostrutture Carbonatiche Umbre (Capitolo 7 e Allegato 2), in cui viene proposto un modello concettuale di circolazione idrica

sotterranea, suddiviso non solo per singole idrostrutture ma anche in funzione dei due diversi acquiferi regionali. Dall'analisi critica e congiunta dei dati, è stato possibile individuare 21 strutture idrogeologiche distinte, di estensione variabile tra 15 e 754 km², definendo per ognuna di esse i limiti e le barriere idrauliche che condizionano le direttrici di flusso sotterraneo e gli eventuali scambi con idrostrutture adiacenti, evidenziati con specifica simbologia. In carta sono anche riportate le sorgenti già presenti nella carta idrogeologica, le principali direzioni di deflusso sotterraneo, le barriere idrauliche e, con apposito sovrassegno, le aree di affioramento del Complesso della Scaglia calcarea. Con l'ausilio di grafici viene riportato anche il rapporto tra portata di magra ordinaria e portata minima misurata, in modo da evidenziare la tendenza all'esaurimento della risorsa per le singole idrostrutture.

Per ogni idrostruttura viene proposto un proprio bilancio idrogeologico, impostato attraverso la valutazione della portata complessiva delle sorgenti (anche con aliquote distinte per i due principali acquiferi regionali) e dell'estensione dell'area di ricarica (anche con aliquote distinte per affioramento dei principali complessi idrogeologici che svolgono un ruolo attivo nella ricarica degli acquiferi), il cui rapporto consente di calcolare il valore medio di infiltrazione efficace. Inoltre, i valori di infiltrazione efficace, vengono forniti distintamente per l'intera idrostruttura e per i due acquiferi regionali principali.

Rimandando alla trattazione delle singole idrostrutture per un'analisi di dettaglio, si può riassumere che l'infiltrazione efficace per le singole idrostrutture varia tra 250 e 880 mm/anno, con contributi compresi tra 435 e 680 mm/anno per i complessi della maiolica e della corniola-calcareo massiccio, mentre per il complesso della scaglia calcarea l'infiltrazione efficace è risultata compresa tra 170 e 425 mm/anno. La variabilità dell'infiltrazione efficace, sia a scala delle idrostrutture che dei complessi idrogeologici, è da attribuirsi, oltre che a differenti valori di precipitazione, anche a variazioni litologiche e strutturali all'interno dei singoli complessi.

Le 21 idrostrutture individuate sono state descritte una per una (Capitolo 8), evidenziandone le principali caratteristiche e i dubbi e problemi interpretativi rimasti irrisolti al termine dello studio, che dovranno essere esaminati in futuro tramite ulteriori approfondimenti delle indagini. Oltre all'individuazione delle idrostrutture, alcune delle quali caratterizzate idrogeologicamente per la prima volta, il modello idrogeologico concettuale proposto ha consentito una duplice analisi a scala dell'intero dominio carbonatico, ma contemporaneamente a scala delle singole idrostrutture, perseguendo l'obiettivo di superare un approccio dedicato alla singola porzione di territorio, senza rinunciare al grado di dettaglio minimo necessario per il governo della risorsa idrica sotterranea a scala regionale.

Ad integrazione della cartografia prodotta, sono state realizzate cinque sezioni idrogeologiche interpretative (Capitolo 9 e Allegato 3), elaborate a partire da sezioni geologico-strutturali precedentemente proposte da altri autori, ubicate in settori di particolare interesse idrogeologico. Le sezioni intendono portare un contributo alle conoscenze dei rapporti intercorrenti in profondità tra idrostrutture limitrofe, alla definizione degli acquiferi di alimentazione delle sorgenti, nonché alla posizione del potenziale piezometrico nei due principali acquiferi di interesse regionale.

A conclusione dello studio, sono state evidenziate le problematiche rimaste aperte (Capitolo 10), relative principalmente ai rapporti reciproci tra i due acquiferi regionali, agli scambi tra idrostrutture limitrofe, alla variabilità dell'infiltrazione efficace, al ruolo delle piane intramontane e di fondovalle, alla circolazione profonda e al ruolo del substrato evaporitico-dolomitico, proponendo alcuni strumenti di studio e ricerca che consentano nell'immediato futuro di migliorare il quadro conoscitivo e soprattutto di verificare e dettagliare ulteriormente il modello idrogeologico concettuale qui proposto.

In definitiva, questo studio, pur non avendo la pretesa di offrire soluzioni specifiche a problemi di gestione della risorsa e sollevando dubbi e necessità di ulteriori approfondimenti per singole aree, vuole rappresentare un documento di sintesi a scala regionale, allo stesso tempo abbastanza articolato territorialmente, che possa essere direttamente utilizzabile da parte degli Enti preposti alla pianificazione e gestione della risorsa idrica sotterranea nel territorio umbro.

BIBLIOGRAFIA GEOLOGICA

AUTORI VARI (1994) – *Appennino Umbro-Marchigiano*. Guide Geologiche Regionali. Società Geologica Italiana. BE-MA editrice.

APAT - DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO (in lavorazione) – *Foglio 299 Umbertide*. Carta Geologica d'Italia. Scala 1:50.000 Progetto CARG.

APAT - DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO (in lavorazione) – *Foglio 336 Spoleto*. Carta Geologica d'Italia. Scala 1:50.000 Progetto CARG.

BARCHI M. (1991) – *Una sezione geologica bilanciata attraverso il settore meridionale dell'Appennino umbro-marchigiano: l'Acquasparta – Spoleto – Accumoli*. Vol. spec. (1991/2) CROP 11; 347 – 362.

BARCHI M., CARDINALI M., GUZZETTI F. & LEMMI M. (1993) – *Relazioni fra movimenti di versante e fenomeni tettonici nell'are di Monte Coscerno – M. di Civitella, Valnerina (Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It. 112; 83-111.

BARCHI M., GUZZETTI F., LAVECCHIAG., 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.

BARCHI M., GUZZETTI F. & MINELLI G. (1986) – *Analisi preliminare geologico strutturale dell'area dei Massicci Perugini (Umbria occidentale)*. Boll. Soc. Geol. It., 105; 225 – 232.

BARCHI M. & LEMMI M. (1996) – *Geologia dell'area di M. Coscerno – M. di Civitella, Valnerina (Umbria)*. Boll. Soc. Geol. It. 115; 601 – 624.

BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & DRAMIS F. (1983) – *The Umbria – Marche apennine: an example of thrust and wrenching tectonics in a model of ensialic Neogenic – Quaternary deformation*. Boll. Soc. Geol. It. 102 (4); 581 – 592.

BONCIO P., BACHECA A., BROZZETTI F., LAVECCHIA G. & MINELLI G. (2000) – *Note stratigrafiche e strutturali della carta geologica della catena narnese-amerina nell'area di Narni (Umbria, scala 1:25.000)*. Boll. Soc. Geol. It. 119, 69-83.

CALAMITA F. (1990) – *Thrust and fold related structures in the Umbria-Marche Apennines*. Annales tectonicae 4(1); 83-117.

CALAMITA F., COLTORTI M., DEIANA G., DRAMIS F. & PAMBIANCHI G. (1982) – *Neotectonic evolution and geomorphology of the Cascia and Norcia depression (Umbria-Marche Apennine)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 5.

CALAMITA F. & DEIANA G. (1995) – *Correlazione tra gli eventi deformativi neogenico-quaternari del settore tosco-umbro-marchigiano*. Studi Geologici Camerti, Volume speciale, 1; 137 -152.

- CALAMITA F. & PIERANTONI P. (1992) – *Il sovrascorrimento di Monte Cavallo – Monte Primo (Appennino umbro - marchigiano)*. Preprint 76° Congresso della Società Geol. It., 1992, Firenze; 225 – 226.
- CALAMITA F. & PIERANTONI P. (1994) – *Structural setting of the Southern Martani Mountains (Umbria in apennines central Italy)*. Mem. Soc. Geol. It. 48; 549 – 557.
- CALAMITA F. & PIZZI A. (1992) – *Tettonica quaternaria della dorsale appenninica umbro – marchigiana e bacini intrappenninici associati*. Studi Geologici Camerti Volume speciale 1992/1.
- 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.
- 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 Geologici Camerti Volume speciale 1992/1.
- CALAMITA F., PIZZI A. & TOSTI A. (1990) – *Blind thrusts: esempi nell’Appennino umbro – marchigiano*. Studi Geologici Camerti, vol. spec. (1990); 57 – 67.
- CASTELLARIN A., COLACICCHI R. & PRATURLON A. (1978) – *Fasi distensive, trascorrenze e sovrascorrimenti lungo la “linea Ancona – Anzio” dal Lias medio al Pliocene*. Geologica Romana, 27.
- CIARAPICA G. (1994) – *Le successioni di piattaforma del Trias superiore e del Lias inferiore. Da: Appennino Umbro-Marchigiano. Guide Geologiche Regionali. Società Geologica Italiana. BE-MA editrice, 24 – 27.*
- COLI M. (1981) – *Studio strutturale della “Linea Ancona – Anzio” tra Posta e Antrodoco (Gole del Velino)*. Boll. Soc. Geol. It. 100; 171-182.
- COOPER J.C. & BURBI L. (1986) – *The geology of the central Sibillini Mountains*. Mem. Soc. Geol. It. 35 (1); 323 - 347
- COSENTINO D., SCOPPOLA C., SCROCCA D. & LA VECCHIA P. (1991) – *Stile strutturale dei Monti Reatini e dei Monti Sabini settentrionali (Appennino centrale) a confronto*. Studi Geologici Camerti. Vol. spec. (1991/2) CROP 11, 55 – 61.
- DECANDIA F., IANNINI E. & MICHELUCCINI M. (1980) – *I fenomeni sismici e il recente terremoto in Valnerina – Umbria*. Geologia Tecnica 27 (1); 37 – 46.
- DECANDIA F. (1982) - *Geologia dei Monti di Spoleto (Provincia di Perugia)*. Boll. Soc. Geol. It. 101.
- DECANDIA F. & TAVERNELLI E. (1990) – *Il sovrascorrimento di Monte Sant’Angelo – Monte Solenne (Ferentillo – Terni)*. Studi Geologici Camerti. Volume speciale (1990); 51 - 56.
- DE RITA D. (1993) – *Il vulcanismo della Regione Lazio*. Soc. Geol. It. Guide Geologiche Regionali, 5; 50 – 64.

- DESSEAU G. (1962) – *Geologia del Monte Malbe nel quadro dei massicci mesozoici del perugino*. Boll. Soc. Geol. It. 81, fasc.2.
- LAVECCHIA G. (1985) – *Il sovrascorrimento dei Monti Sibillini: analisi cinematica e strutturale*. Boll. Soc. geol. It. 104 ; 162-194.
- MARTINIS B. & PIERI M. (1964) – *Alcune notizie sulla formazione evaporitica del Triassico superiore nell'Italia centrale e meridionale*. Mem. Soc. Geol. It. 86.
- MINELLI G. & MENICHETTI M. (1990) – *Tectonic evolution of the Perugia massifs area (central Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., 109; 445 – 453.
- MINELLI G., MOTTI A. & PIALLI G. (1986) – *Evoluzione tettonica dei massicci perugini area Monte Torrazzo*. Mem. Soc. Geol. It., 35; 389 – 398.
- PASSERI L. (1994) – *Guide geologiche regionali della Società Geologica Italiana, Appennino umbro – marchigiano*. B.E.M.A. editrice.
- REGIONE LAZIO (2002) – *Carta litologica con elementi strutturali in formato digitale della Regione Lazio*. Regione Lazio – Università Roma 3.
- REGIONE MARCHE – *Carta geologica regionale (scala 1:10.000)*. Servizio Urbanistica e Cartografia, Ufficio cartografia e Informazioni territoriali.
- REGIONE MARCHE (1991) – *L'Ambiente Fisico delle Marche*. SELCA Firenze.
- REGIONE UMBRIA – *Carte geologiche e idrogeologiche dell'orvietano e della catena amerina. Scala 1:10.000* Direzione Ambiente Territorio e Infrastrutture. Servizio Geologico.
- REGIONE UMBRIA – *Rilevamento geologico e geotematico delle aree terremotate. Carte geologiche di pericolosità sismica locale. Scala 1:10.000*. Direzione Politiche Territoriali Ambiente e Infrastrutture Servizio Geologico.
- SALVINI F. & VITTORI E. (1982) – *Analisi strutturale della Linea Olevano – Antrodoco – Posta (Ancona – Anzio auct.): metodologia di studio delle deformazioni fragili e presentazione del tratto meridionale*. Mem. Soc. Geol. It. 24; 337 – 355.
- SPOSATO A., DE RITA D., BERTAGNINI A., LANDI P. & SALVINI F. (1993) – *Itinerario n°14 il Lazio settentrionale, dal vulcano di Latera alla costa di Montalto di Castro*. Soc. Geol. It. Guide Geologiche Regionali, 5; 323 – 343.

BIBLIOGRAFIA IDROGEOLOGICA

ANGELINI P. (1997) – *Correlation and spectral analysis of two hydrogeological systems in Central Italy*. Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques, 42 (3).

ANGELINI P. & DRAGONI W. (1993) – *Studio idrogeologico sulla sorgente di Bagnara. Curva d'esaurimento e risposta del sistema alle variazioni climatiche*. Acque Sotterranee anno X.

ANGELINI P. & DRAGONI W. (1997) – *The problem of modeling limestone springs: the case of Bagnara (North Apennines, Italy)*. Groundwater, vol. 35, n° 4.

ARDIZZONE F., DRAGONI W., MARCHETTI G., MARIANI M., VACCA G. (1999) – *Definizione delle aree di salvaguardia della sorgente di Bagnara di Nocera Umbra*. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio. Parma 13-14-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata.

BARCHI M., CONVERSINI P., TAZIOLI G.S. (1996) – *Schema idrogeologico delle emergenze del Clitunno e del Tempio del Clitunno, Umbria orientale*. Quaderni di Geologia applicata, 3 – 1/1996.

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.

BOILA P. & CHECCUCCI R. (1995) – *Relazioni tra dinamica di deflusso delle sorgenti e suscettibilità all'inquinamento di idrostrutture carbonatiche nell'Appennino centrale*. Atti del 2° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi. Nonantola (Modena), 17-18-19 maggio 1995. Quaderni di Geologia Applicata.

BOILA P., CHECCUCCI R., VACCA G. (1999) – *Studio idrogeologico per la captazione di risorse idriche dall'Unità carbonatici di Monte Malbe – Umbria*. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio. Parma 13-14-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata.

BONI C. (2000) – *Les aquifères karstique de l'Apennines Central*. Hidrogèologie, 4.

BONI C. & BONO P. (1982) – *Prima valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace sui sistemi carsici della piattaforma carbonatici laziale-abruzzese e nei sistemi di facies pelagica umbro-marchigiana-sabina (Italia centrale)*. Geologia Applicata e idrogeologia, 17.

BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) – *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. 35; 991 – 1012.

BONI C., FALCONE M., GIAQUINTO S., MARTINI E., ZOPPIS L. (1991) – *Risorse idriche sotterranee dei massicci carbonatici umbri*. Le acque sotterranee in Umbria. Protagon Publ. n° 413 del GNDICI – CNR.

BONI C. & MASTRORILLO L. (1993) – *Rilevamento idrogeologico dei monti di Foligno*. Atti del Convegno "Ricerca e protezione delle risorse idriche sotterranee delle aree montuose" Brescia 24-25 ottobre 1991. Quaderni di sintesi, 42. Azienda Servizi Municipalizzati. Brescia.

- BONI C., MASTRORILLO M., PREZIOSI E. (1994) – *Simulazione numerica di acquiferi carbonatici: l'esempio della struttura Monte Maggio – Monte Penna (Nocera Umbra)*. Geologica Romana, 30.
- BONI C., MASTRORILLO M., CASCONI D., TARRAGONI C. (2005) – *Carta idrogeologica delle dorsali interne umbro-marchigiane (scala 1:50.000)*. Pubblicazione GNDCI – CNR n°2865, Roma.
- BONI C. & PETITTA M. (1994) – *Sorgenti lineari e valutazione dell'infiltrazione efficace in alcuni bacini dell'Italia centrale*. Quaderni di Geologia Applicata, 1.
- BONI C. & PREZIOSI E. (1994) – *Le sorgenti lineari nell'alto bacino del fiume Nera (Appennino Umbro – Marchigiano, Italia centrale)*. Atti del "1st International Meeting for young Researchers in Applied Geology". Lausanne, april 21th 1994, SwissFederal Institute of Technology. GEOLOP-DGC/EPFL.
- BOSCHERINI A., CHECCUCCI R., NATALE G., NATALI N. (2005a) – *Carta idrogeologica della Regione Umbria a scala 1:100.000*. Regione Umbria Direzione Politiche Territoriali, ambientali e Infrastrutture. Servizio Geologico. Giornale di Geologia Applicata 2.
- BOSCHERINI A., CHECCUCCI R., NATALE G., NATALI N. (2005b) – *Carta idrogeologica della Regione Umbria a scala 1:100.000. Note illustrative* Giornale di Geologia Applicata 2
- CAMBI C. & DRAGONI W. (2001)B – *Strategic groundwater resources in central Italy: climatic changes and risk of depletion*. Future groundwater resources at risk Proceeding of the 3rd International Conference Lisbon, Portugal June 2001 Edited by Luis Ribeiro; 469 – 477.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (2005) – *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici*. Pitagora Editrice Bologna.
- CAPRARI M & NANNI T. (1999) – *Idrogeologia della dorsale carbonatici del M.Catria – M.Nerone (Appennino umbro-marchigiano settentrionale)*. Boll.Soc. Geol. It., 118.
- CELICO P. (1988) – *Prospezioni idrogeologiche*. Liguori Editore, volume II; 125 – 173.
- CELICO P. (2003) – *Elementi di idrogeologia..* Liguori Editore; 121 – 126.
- 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.
- CHECCUCCI R. (2007) – *Definizione dei parametri idrodinamici degli acquiferi tramite la determinazione del coefficiente di esaurimento*. Acque Sotterranee, 109 Ottobre 2007
- CHECCUCCI R., DRAGONI W., MARCHETTI G. (1999) – *Le risorse idriche strategiche in Umbria. Conoscenze e prospettive di utilizzo*. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio. Parma 13-14-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata.

CHIOCCHINI U., CHIOCCHINI M., MANNA F. (1987) – *Studio idrogeologico per il tracciato della galleria Santa Croce della linea ferroviaria Orte – Falconara*. *Geologia Applicata e Idrogeologia* XXII, 105-139.

CHIODINI G., GIAQUINTO S., MARCHETTI G., MARTINELLI A. (1991) – *L'area di ricarica di Monte Subasio*. *Le acque sotterranee in Umbria*. *Protagon Publ.* n° 413 del GNDCI – CNR.

CIVITA M. (2005) – *Idrogeologia applicata e ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana; 389 – 407

CONVERSINI P., NOTO P., SABATINI P. (1976) – *Dati caratteristici dei corpi idrici presenti nel bacino del fiume Topino a nord di Foligno*. *Documenti Studi Ricerche* a cura dell'Ufficio Stampa dell'Amministrazione Provinciale. Provincia di Perugia.

DRAGONI W., SPERANZA G. & VALIGI D. (2003) – *Impatto delle variazioni climatiche sui sistemi idrogeologici: il caso della sorgente Pescara d'Arquata (Appennino umbro – marchigiano, Italia)*. *Geologia Tecnica ed Ambientale* 3.

CONVERSINI P. & TAZIOLI G.S. (1994) – *Studio idrogeologico delle sorgenti di Rasiglia, Umbria orientale*. *Quaderni di Geologia Applicata* 2/1994.

FICIARA' R., MARCHETTI G., MARTINELLI A. & PASSERI S. (1998) – *La definizione delle risorse idriche degli acquiferi calcarei dei monti di Gubbio*. *Atti del Convegno "Carte di vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi: strumenti di salvaguardia e gestione delle risorse idriche"* Gubbio, 26 giugno 1998. Pubblicazione n° 1961 del G.N.D.C.I. del C.N.R.; 117 – 145.

GIAQUINTO S., MARCHETTI G., MARTINELLI A., SANTUCCI A. (1991) – *L'idrochimica dell'acquifero alluvionale della Valle Umbra Sud*. *Le acque sotterranee in Umbria*. *Protagon. Publ.* n° 413 del GNDCI – CNR.

GIAQUINTO S. & MATTIOLI B. (1991) – *Il bacino delle sorgenti del Clitunno: lineamenti idrogeologici e idrogeochimici*. *Le acque sotterranee in Umbria*. *Protagon Publ.* n° 413 del GNDCI – CNR.

GIULIANO G., MARCHETTI G., MARTINELLI A., FRONDINI F., PERUZZI L. (1999) – *Nuove procedure operative e strumentali sulla rete di monitoraggio delle acque sotterranee in Umbria*. *Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio*. Parma 13-14-15 ottobre 1999. *Quaderni di Geologia Applicata*.

LIPPI BONCAMPI C. (1953) – *Le sorgenti alimentate dal bacino carsico di Colfiorito*. *I Congr. Intern. De Spèlèologie Parigi*; 229 – 235.

MARCHETTI G. & MARTINELLI A. (1991) – *Gli acquiferi alluvionali dell'Umbria*. *Le acque sotterranee in Umbria*. *Protagon. Publ.* n° 413 del GNDCI – CNR; 13 – 48.

MARCHETTI G., MARTINELLI A., PASSERI S., VACCA G. (1999) – *Messa a punto di un sistema di gestione di un acquifero calcareo sovrassaturato: i Monti di Gubbio (Umbria)*. *Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III Millennio*. Parma 13-14-15 ottobre 1999. *Quaderni di Geologia Applicata*; 4.83 – 4.93.

MARCHETTI 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.

MASTRORILLO L. (1994) – *Idrogeologia quantitativa delle dorsali carbonatiche dell'Appennino marchigiano: valutazione delle risorse idriche rinnovabili*. Tesi di Dottorato in Scienze della Terra. Università degli studi di Roma "La Sapienza".

MASTRORILLO L. (2001) – *Elementi strutturali e caratteristiche idrogeologiche della dorsale carbonatica Umbro – Marchigiana interna*. Mem. Soc.Geol. It. 56.

PREZIOSI E. (2007) – *Simulazioni numeriche di acquiferi carbonatici in aree corrugate: applicazioni al sistema idrogeologico della Valnerina (Italia centrale)*. Quaderno 125. Istituto di Ricerca sulle Acque – CNR.

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 in Scienze della Terra . università degli studi di Roma "La Sapienza".

BIBLIOGRAFIA IDROGEOLOGICA: RAPPORTI TECNICI INEDITI

A.AT.O. Umbria 3 – *Piano delle Aree di Salvaguardia dei prelievi idropotabili strategico dell'ATO 3. Volume 1,2,3.*

ATO Umbria 2 S.I.I. S.c.p.a. UMBRIADUE S.c.a.r.l. SEVERN TRENT ITALIA S.p.a. (2005) – *Progetto per la realizzazione di perforazioni esplorativo – produttive e completamento dello studio geologico – idrogeologico dell'acquifero vulcanico nel territorio della Regione Umbria. Studio idrogeologico.*

ATO Umbria 2 S.I.I. S.c.p.a. UMBRIADUE S.c.a.r.l. SEVERN TRENT ITALIA S.p.a. (2006) – *Delimitazione aree di salvaguardia dei punti di captazione di importanza strategica e generale censiti nel territorio dell'ATO2.*

ATO Umbria 2 S.I.I. S.c.p.a. UMBRIADUE S.c.a.r.l. SEVERN TRENT ITALIA S.p.a. (2007) – *Progetto per la realizzazione di perforazioni esplorativo – produttive e completamento dello studio geologico – idrogeologico dell'acquifero vulcanico nel territorio della Regione Umbria. Modellazione matematica quanti-qualitativa dell'acquifero per la verifica dei volumi estraibili compatibili con il bilancio idrogeologico e con gli attuali usi delle acque.*

AQUATER – R.p.A (1986) – *Modello matematico del sistema acquifero alluvionale della Valle Umbra.* Regione Umbria, rapporto interno.

BONI C. (2002) - *Aggiornamento e verifica degli studi idrogeologici sulle strutture carbonatiche che alimentano le sorgenti ed il reticolo idrografico perenne del bacino del fiume Tevere.* Dipartimento di Scienze della Terra Università di Roma “La Sapienza” - Autorità Bacino Fiume Tevere.

BONI C. (2004) - *Consulenza scientifica per la redazione del Progetto di Piano di Bacino del Fiume Tevere. Risorsa idrica superficiale e sotterranea (Piano Stralcio 9).* Dipartimento di Scienze della Terra Università di Roma “La Sapienza” – Autorità Bacino Fiume Tevere.

BONI C. & PETITTA M. (2007) – *Studio idrogeologico per l'identificazione e la caratterizzazione degli acquiferi che alimentano le sorgenti dei corsi d'acqua perenni dei Monti Sibillini, esteso all'intera area del Parco Nazionale.* Rapporto definitivo. Contratto di studio e ricerca Autorità di Bacino del Fiume Tevere – Parco Nazionale dei Monti Sibillini – Dipartimento di Scienze della Terra Università di Roma “La Sapienza”.

DRAGONI W & CAMBI C. (2006) – *Idrogeologia dei Monti di Gualdo Tadino. Umbria Nord – Orientale.* Progetto Emergenza Idrica O.P.G.R. n° 48/04 “Analisi delle risorse idriche sotterranee nell'Umbria Nord-Orientale e sud –Occidentale” Sottoprogetto Idrogeologia. D.S.T. Università degli Studi di Perugia – Regione Umbria.

DRAGONI W & DI MATTEO L. (2006a) – *Rapporto sull'idrogeologia dell'area vulsina umbra e note illustrative della carta idrogeologica di sintesi in scala 1:25.000. Umbria Sud-Occidentale.* Emergenza Idrica O.P.G.R. n° 48/04 “Analisi delle risorse idriche sotterranee nell'Umbria Nord-Orientale e sud –Occidentale” Sottoprogetto Idrogeologia. D.S.T. Università degli Studi di Perugia – Regione Umbria.

DRAGONI W & DI MATTEO L. (2006b) – *Rapporto sull'idrogeologia della zona centro settentrionale della dorsale narnese-amerina (tra il Lago di Corsara e le Gole del Nera presso Narni) e note illustrative della carta idrogeologica di sintesi in scala 1:25.000*. Progetto Emergenza Idrica O.P.G.R. n° 48/04 “Analisi delle risorse idriche sotterranee nell’Umbria Nord-Orientale e sud –Occidentale” Sottoprogetto Idrogeologia. D.S.T. Università degli Studi di Perugia – Regione Umbria.

DRAGONI W & VALIGI D. (2006) – *Idrogeologia del Monte Cucco. Umbria Nord – Orientale*. Progetto Emergenza Idrica O.P.G.R. n° 48/04 “Analisi delle risorse idriche sotterranee nell’Umbria Nord-Orientale e sud –Occidentale” Sottoprogetto Idrogeologia. D.S.T. Università degli Studi di Perugia – Regione Umbria.

LOTTI C. & ASSOCIATI (1998) - “*Acque sotterranee del bacino idrografico del Fiume Tevere*”. Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

MATTIOLI B. (2006) – *Sorgente Argentina. Indagini geologiche per nuove risorse idriche*. Valle Umbria Servizi S.p.a.

REGIONE DELL’UMBRIA (1991) – *Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della regione (I stralcio) – I fase operativa. Indagini geoidrologiche preliminari. Area vulcanica di Orvieto*. Assessorato Difesa del Suolo, Ambiente e Infrastrutture. Perugia.