

DETERMINAZIONE DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE

Uno degli obiettivi di questo lavoro di tesi è quello dell'applicazione di alcuni dei metodi in uso per la definizione del deflusso minimo vitale dei corsi d'acqua in esame. A tale scopo si è fatto riferimento ai metodi proposti in bibliografia e dettagliati nel CAPITOLO 1, scegliendo quelli più appropriati alla realtà territoriale in esame ed ai dati disponibili.

Prima di illustrare i metodi applicati ed i risultati ottenuti, si è ritenuto indispensabile tener conto degli studi pregressi relativi al deflusso minimo vitale del Marta e del Mignone (cfr. PAR. 10.1), in modo da avere un quadro più completo e quindi confrontare i diversi approcci alla stima della portata minima vitale (cfr. PAR. 10.2 e PAR. 10.3).

10.1 STIME PREGRESSE DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE DEI FIUMI MARTA E MIGNONE

L'Autorità di Bacino della Regione Lazio, nella Relazione Generale sulle "Disponibilità idriche superficiali e minimi vitali" (AA. VV., 1998), ha svolto uno studio sui corsi d'acqua dei bacini regionali, al fine di valutare l'entità delle risorse idriche disponibili, nell'ottica di razionalizzare la gestione dei prelievi per uso irriguo, idroelettrico e potabile. Inoltre, sono stati considerati gli usi in alveo volti alla tutela sia dell'ecosistema fluviale che dell'aspetto paesaggistico, ricreativo e sportivo.

Nell'ambito dello studio dell'Autorità di Bacino, il bacino del fiume Marta è stato suddiviso in 21 sottobacini, le cui sezioni di chiusura sono state scelte in corrispondenza delle opere di presa e di restituzione delle cinque centrali idroelettriche disposte in sequenza lungo l'asta fluviale principale e lungo i principali affluenti. Il bacino del fiume Mignone invece è stato suddiviso in 7 sottobacini, identificati da sezioni di chiusura, schematizzate come aste fluviali tra loro connesse nei nodi di confluenza.

Per la determinazione del DMV è stato considerato il metodo dei "microhabitat" (cfr. PAR. 1.5.3; BOVEE, 1982). In particolare per l'applicazione di tale metodologia è stata

usata la procedura implementata nel programma PHABSIM (Physical HABitat SIMulation System; cfr. FIG. 1.1 (e)).

Seguendo la procedura considerata, sono state individuate delle specie maggiormente rappresentative dei tratti esaminati, i cui stadi vitali, risultando particolarmente sensibili alle variazioni dell'ecosistema acquatico in funzione dei differenti regimi idrici, possono essere considerati come indicatori biologici dei corsi d'acqua. Sulla base delle osservazioni sperimentali, sono state scelte come specie ittiche rappresentative della comunità sia del fiume Marta che del Mignone, il Barbo Comune (*Barbus plebejus*) e il Cavedano (*Leuciscus cephalus*). Per ciascuna delle specie sono state elaborate le curve di idoneità relative a tre fasi vitali (stadio riproduttivo, novellame ed adulto), in funzione della velocità della corrente, della profondità dell'acqua e del substrato (FIGG. 10.1 e 10.2). Nel caso specifico del Barbo e del Cavedano, sono state utilizzate e riadattate le curve elaborate nel corso di uno studio sulla valutazione delle portate minime vitali di un corso d'acqua appenninico (RAMBALDI *et alii*, 1997).

In alcune sezioni dei fiumi Marta e Mignone, contemporaneamente alle osservazioni idrobiologiche, sono stati compiuti rilievi topografici dell'alveo e sono state acquisite le altezze idrometriche necessarie al modello di simulazione idraulica.

Tramite le curve di idoneità, sono state calcolate le Aree Disponibili Ponderali (ADP), per ciascuna specie di riferimento e per le diverse portate; è stata infine identificata una portata critica al di sotto della quale non è accettabile scendere per il rischio di un'eccessiva riduzione dell'area disponibile ponderale.

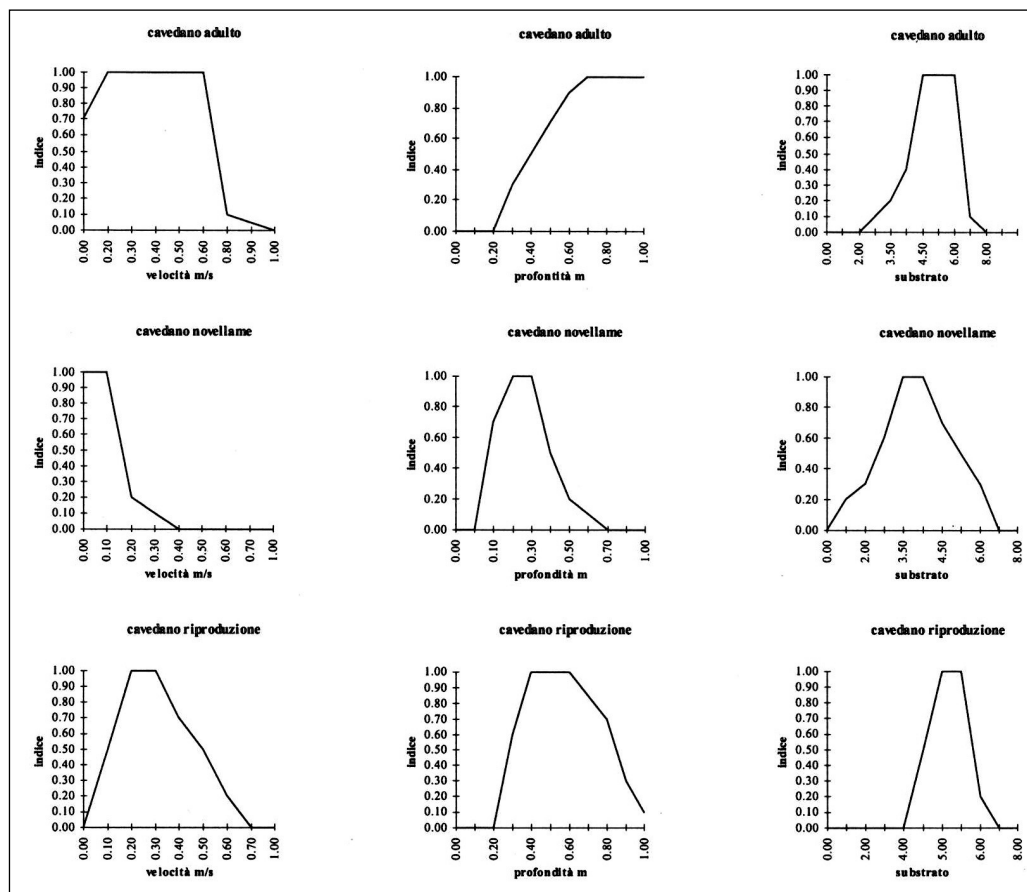


FIGURA 10.1 – Curve di idoneità del Cavedano (da RAMBALDI *et alii*, 1997).

Nella seguente TABELLA 10.1, sono riportati i valori relativi alla stazione di Ponte Cartiera sul fiume Marta ed i valori relativi alla stazione sul Mignone, situata nel medio-alto corso, nelle immediate vicinanze dell'abitato di Rota.

Tali valori, calcolati dall'Autorità di Bacino, assicurano il 50 % e il 25 % dell'ADP massima richiesta da ciascuna specie indicatrice ($Q_{50\%}$ e $Q_{25\%}$). I valori sono messi a confronto con le portate minime della durata di 7 giorni con tempo di ritorno pari a 10 anni ($Q_{7/10}$) e con i quelli del contributo specifico (Q_r), posto pari a 2 (Provincia di Bolzano; cfr. PAR. 1.2) e $1.6 \text{ l/s} \times \text{km}^2$ (Autorità di bacino del Po, cfr. PAR. 1.2).

E' risultato che, per la stazione nei pressi di Ponte Cartiera, i valori del $Q_{25\%}$ sono molto prossimi al 70 % della $Q_{7/10}$. Per il Mignone invece si nota che il valore 70 % della $Q_{7/10}$ risulta inferiore della $Q_{25\%}$ di un 25 %. L'Autorità di Bacino ha scelto dunque come valore di riferimento, per il calcolo del DMV, il 70 % della $Q_{7/10}$; propagando poi questo valore nelle sezioni non strumentate per la misura di portata, è stata calcolata la portata minima vitale per i sottobacini del fiume Marta. In TABELLA 10.2 sono riportati i valori relativi ad alcune sezioni di riferimento.

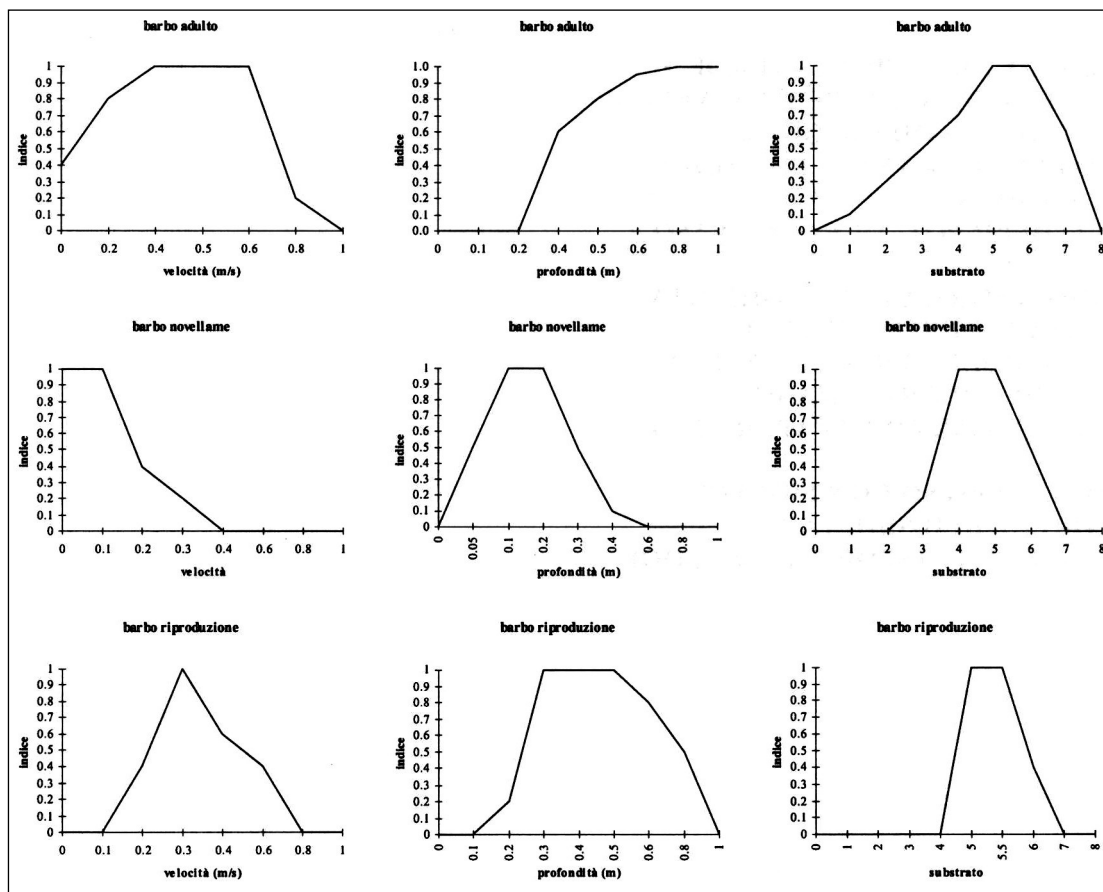


FIGURA 10.2 – Curve di idoneità del Barbo (da RAMBALDI *et alii*, 1997).

PONTE CARTIERA – FIUME MARTA				
$Q_{7/10}$ (m ³ /s)	$Q_r = 2 \text{ l/s} \times \text{km}^2$ (m ³ /s)	$Q_r = 1.6 \text{ l/s} \times \text{km}^2$ (m ³ /s)	$Q_{50\%}$ (m ³ /s)	$Q_{25\%}$ (m ³ /s)
0.69	0.55	0.45	0.80	0.50
ROTA – FIUME MIGNONE				
$Q_{7/10}$ (m ³ /s)	$Q_r = 2 \text{ l/s} \times \text{km}^2$ (m ³ /s)	$Q_r = 1.6 \text{ l/s} \times \text{km}^2$ (m ³ /s)	$Q_{50\%}$ (m ³ /s)	$Q_{25\%}$ (m ³ /s)
0.23	0.45	0.35	0.30	0.20

TABELLA 10.1 – Confronto tra diversi valori di portate minime vitali calcolate per la Stazione di Ponte Cartiera sul Marta e di Rota sul Mignone (da Autorità di Bacino della Regione Lazio, AA. VV. 1998).

SEZIONE DI RIFERIMENTO	$Q_{7/10}$ (m ³ /s)	DMV (m ³ /s)
Stazione Ponte Cartiera	0.69	0.48
Restituzione Centrale Fioritella	0.72	0.51
Stazione Centrale Traponzo	2.43	1.70

TABELLA 10.2 – Valori della $Q_{7/10}$ e della portata minima vitale, calcolati dall'Autorità di Bacino per le stazioni Ponte Cartiera, Centrale Traponzo e per la restituzione della Centrale Fioritella. (da Autorità di Bacino della Regione Lazio, AA. VV., 1998).

Tuttavia, nella Relazione Generale, si indicano tali valori come assegnati in via puramente indicativa e si consigliano controlli sistematici sui corpi idrici, al fine di verificare i provvedimenti in atto. Inoltre, è da sottolineare che la definizione del DMV dell'Autorità di Bacino, è vincolata a procedure di regionalizzazione, allo scopo di ottenere dei valori applicabili all'intero ambito dei bacini del Lazio.

Nell'ambito del lavoro di tesi sul medio-alto corso del fiume Marta (PRESTINENZI, 2005), per la determinazione del DMV è stata utilizzata la formula adottata dall'Autorità di Bacino del fiume Magra (cfr. PAR. 1.2):

$$DMV = S \times R_{SPEC} \times P \times Q \times N \times G \times L_{7,5} + M_{10} \quad [10.1]$$

dove:

S = superficie del bacino idrografico sotteso dall'opera di derivazione sino allo spartiacque, espressa in km²;

R_{SPEC} = 1.6 l/s;

P = precipitazione media annua del bacino, espresse in mm;

Q = qualità biologica delle acque, nel tratto compreso tra la derivazione e la restituzione in alveo;

N = naturalità nel tratto tra la derivazione e la restituzione in alveo;

G = geomorfologia dell'alveo;

$L_{7,5}$ = fattore che tiene conto della lunghezza dei tratti compresi tra la derivazione e la restituzione in alveo;

M_{10} = fattore di modulazione di portata.

Le sezioni di riferimento su cui è stato calcolato il DMV corrispondono rispettivamente ai punti di rilascio dell'impianto idroelettrico Centrale S. Savino III e della Centrale Fioritella (cfr. FIG. 10.1). Il valore di DMV che si ottiene per la Centrale S. Savino III è pari a circa 0.83 m³/s, mentre per la Centrale Fioritella è pari a circa 0.87 m³/s.

10.2 NUOVE APPLICAZIONI PER LA DETERMINAZIONE DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE DEL FIUME MARTA

I metodi selezionati per la valutazione del deflusso minimo vitale, relativo al corso d'acqua principale del Marta, si basano sia su variabili morfologiche che su variabili idrologiche semplici.

Tali metodi sono stati applicati a tre sezioni d'alveo significative: la stazione Ponte Cartiera, la sezione relativa alla Centrale Fioritella e la stazione Centrale Traponzo (FIG.

10.1). La prima è la stazione di riferimento delle misure di portata delle serie storiche, subito dopo l'immissione dell'emissario dal lago. La seconda sezione coincide con l'ultima derivazione idroelettrica dell'asta principale del Marta. La terza sezione riguarda la principale derivazione idroelettrica del torrente Traponzo, che drena la parte orientale del bacino idrografico.

I metodi adottati per tale valutazione sono: il metodo del contributo specifico, il metodo basato sulla Q_{347} , il metodo del Montana e la $Q_{MIN/10}$ (cfr. PAR. 1.5.1). I risultati sono riassunti nella TABELLA 10.3, integrati con quelli ottenuti dall'Autorità di Bacino.

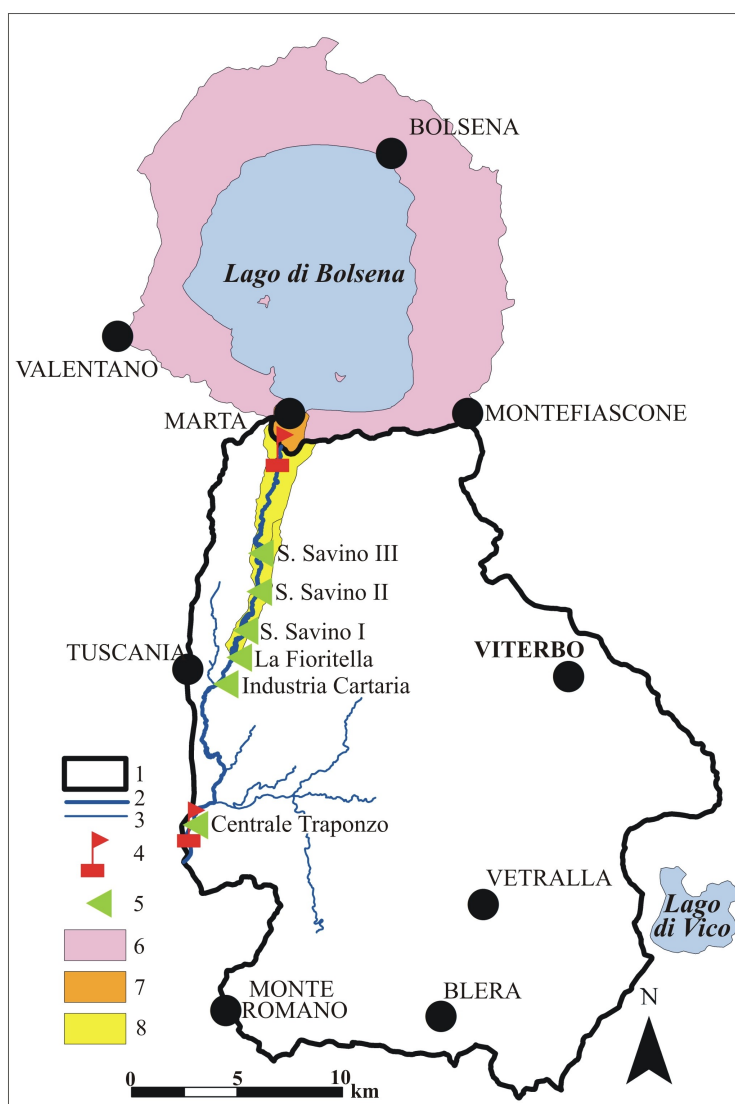


FIGURA 10.1 – Sezione di alveo individuate per il calcolo del deflusso minimo vitale (1: area di studio; 2: fiume Marta; 3: principale reticolo idrografico; 4: stazioni idrometrografiche; 5: impatti antropici; 6: bacini imbriferi del lago di Bolsena; 7: bacino sotteso fino a Ponte Cartiera; 8: bacino sotteso fino alla centrale Fioritella).

	PONTE CARTIERA	CENTRALE FIORITELLA	CENTRALE TRAPONZO
AREA BACINO	273 km ²	285 km ²	850 km ²
PORTATA MEDIA Q	2.46 m ³ /s	----	7.54 m ³ /s
Q ₃₄₇	1.10 m ³ /s	----	3.30 m ³ /s
Q ₃₅₅	0.90 m ³ /s	----	3.0 m ³ /s
METODO DEL CONTRIBUTO SPECIFICO (Q _{MV} = 2 l/s × km ²)	0.55 m ³ /s	0.57 m ³ /s	1.70 m ³ /s
Q _{MV} = f (Q ₃₄₇)	0.44 m ³ /s	----	1.16 m ³ /s
Q _{MV} = 0.5 Q ₃₅₅	0.45 m ³ /s	----	1.50 m ³ /s
METODO DEL MONTANA	Q _{MV} = Q _{MIN} = (0.1 Q)	0.25 m ³ /s	0.75 m ³ /s
	Q _{MV} = Q _{BUO} = (0.3 Q)	0.74 m ³ /s	2.26 m ³ /s
METODO DELLA Q _{7/10} *		0.69 m ³ /s	2.43 m ³ /s
METODO IFIM *	Q _{MV} = Q _{25%}	0.50 m ³ /s	----
	Q _{MV} = Q _{50%}	0.80 m ³ /s	----
MARZO 2005	0.97 m ³ /s	0.05 m ³ /s in alveo 1.66 m ³ /s deriv.	4.42 m ³ /s in alveo 1.10 m ³ /s deriv.
MAGGIO 2005	2.96 m ³ /s	----	5.48 m ³ /s totale

TABELLA 10.3 – Determinazione del deflusso minimo (Q_{MV} in m³/s) per alcune sezioni d'alveo. I valori con asterisco sono tratti da AA. VV. (1998) e da CALENDRA *et alii* (2000). Nelle ultime due righe sono riportati i valori delle portate in alveo e delle portate derivate per mezzo dei canali artificiali ottenuti svolgendo le campagne di misura (cfr. CAP. 6).

Il primo metodo di stima della portata minima vitale si basa sui valori del contributo specifico, che viene posto pari a 2 l/s × km². Alla stazione Ponte Cartiera si ottiene così una portata minima vitale pari a circa 0.55 m³/s, confrontabile con quella ottenuta per la Centrale Fioritella, risultata di circa 0.57 m³/s, considerando la minima differenza dell'estensione dei due bacini idrografici (circa il 2%).

Alla stazione Centrale Traponzo si ottiene una portata minima vitale pari a circa 1.70 m³/s.

Il secondo metodo di stima si basa sull'utilizzo della curva di durata, sulla quale viene individuato il valore della Q₃₄₇ e della Q₃₅₅ (cfr. PAR. 6.1.1.3 e TAB. 6.3).

Per la stazione Ponte Cartiera, la Q₃₄₇ vale circa 1.10 m³/s mentre a Centrale Traponzo risulta di 3.30 m³/s. Sono stati presi in considerazione i valori riportati nella TABELLA 1.22 (cfr. PAR. 1.4), in cui ad ogni Q₃₄₇ corrisponde una portata di minimo vitale, equivalente ad una percentuale dei deflussi. Questi sono stati riportati su un grafico Q_{MV} (l/s)-Q₃₄₇ (l/s) e, attraverso un'interpolazione lineare, sono stati ricavati i valori di DMV corrispondenti alla Q₃₄₇ del fiume Marta e del Mignone. Questi sono pari a circa

0.44 m³/s per Ponte Cartiera e a 1.16 m³/s per Centrale Traponzo. Per la stazione intermedia della Fioritella non è stato possibile applicare tale metodologia per mancanza di una stazione di misura e quindi di dati storici di portata.

Considerando la Q_{355} di 0.90 m³/s e di 3.0 m³/s, rispettivamente per Ponte Cartiera e Centrale Traponzo, si determinano valori di DMV rispettivamente di 0.45 m³/s e di 1.50 m³/s.

Il terzo metodo di stima applicato è il metodo del Montana (cfr. PAR. 1.5.1).

Per la stazione Ponte Cartiera, i valori della portata minima vitale vanno da circa 0.25 m³/s (Q_{MINIMA}) a circa 0.74 m³/s (Q_{BUONA}), mentre per la stazione Centrale Traponzo, i valori della portata minima vitale vanno da circa 0.75 m³/s (Q_{MINIMA}) a circa 2.26 m³/s (Q_{BUONA}). Non sono state considerate le altre percentuali della portata media annua (Q_{OTTIMA} ; cfr. TAB. 1.26) perché risultano valori di DMV eccessivamente cautelativi.

Il quarto metodo considerato per il calcolo del DMV è basato sulla variabile statistica $Q_{MIN/10}$.

Per il calcolo della $Q_{7/10}$ si utilizza la serie delle portate minime di durata pari a 7 giorni al fine di eliminare l'influenza dovuta ad eventuali valori isolati a causa di errori di misura. Questo valore è stato acquisito dalle elaborazioni effettuate dall'Autorità di Bacino ed è di 0.69 m³/s per la stazione Ponte Cartiera (cfr. FIG. 10.1) e di 2.43 m³/s per la stazione Centrale Traponzo (cfr. FIG. 10.1).

Dalla serie di valori ottenuti con i suddetti metodi, si possono ricavare alcuni intervalli di valori entro i quali, in via indicativa, dovrebbe ricadere il valore della portata minima vitale per le sezioni in esame.

Per la stazione Ponte Cartiera e quindi anche per il sito di ubicazione della Centrale Fioritella, considerata la ridotta differenza di bacino sotteso dalle due stazioni (circa 12 km²), i valori della portata minima vitale sono compresi tra 0.25 m³/s e 0.80 m³/s.

Per la sezione relativa alla centrale Traponzo, i valori della portata minima vitale sono compresi tra 0.75 m³/s e 2.43 m³/s.

Gli intervalli di valori ottenuti per i deflussi minimi vitali sono stati successivamente confrontati con le relative portate misurate in alveo e nei canali di derivazione nel corso dei mesi di Marzo e Maggio del 2005 (cfr. CAP. 6). Risulta che le portate misurate in alveo alla stazione Ponte Cartiera variano da circa 0.97 m³/s a circa 2.96 m³/s. Le portate misurate, dunque, risultano superiori agli intervalli indicativi della portata minima vitale, sia nel periodo di piena che nel periodo di magra, ma questa sezione non presenta derivazioni. È invece da considerare che il deflusso minimo vitale in questa

sezione risente fortemente della regolazione delle paratoie all'incile del lago. Infatti durante la campagna di misura nel Maggio 2004 nella sezione A, quella ubicata a 2 km dal lago, sono stati registrati due differenti valori di portata: quello di Maggio, risultato di $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ e quello nel mese di Giugno, di circa $0.76 \text{ m}^3/\text{s}$. Quest'ultima misura è stata effettuata in seguito alle aperture delle paratoie, dove risulta quindi un incremento di portata in alveo di $0.43 \text{ m}^3/\text{s}$ in pochi giorni.

La situazione cambia nettamente verso valle, dove il Marta è condizionato dalla presenza delle quattro derivazioni idroelettriche.

Le portate misurate in alveo nel tratto depauperato dalle acque della Centrale Fioritella nel corso delle misure hanno evidenziato valori che vanno da 0.01 a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre il canale di derivazione drenava da 0.30 a $1.60 \text{ m}^3/\text{s}$. Il deflusso idrico derivato nei canali artificiali rappresenta, almeno da quanto rilevato nel corso del 2004-2005, la quasi totalità del deflusso naturale, determinando una vera e propria trasformazione della morfologia del vecchio alveo. Le portate lasciate in alveo sono trascurabili e nettamente inferiori ai valori di DMV calcolati.

La Centrale Fioritella rappresenta inoltre l'ultima centrale prima della città di Tuscania, la cui derivazione lascia l'esigua portata al relativo tratto depauperato del fiume Marta per mezzo di uno stramazzo che rappresenta una brusca interruzione della continuità fluviale (cfr. FOTO 6.6; FOTO 10.1). Questo può influenzare la ripresa del fiume a valle e, comunque, anche a monte la situazione non si presenta diversamente a causa delle altre tre derivazioni.



Foro 10.1 – Stramazzo che regola la portata del Marta verso la Centrale Fioritella nell'Aprile del 2004 e nel Marzo del 2005.

Le portate misurate in alveo dopo la derivazione della Centrale Traponzo sono risultate nel periodo di osservazione superiori all'intervallo di DMV calcolato. In questo caso, se

si considera una portata di derivazione di circa $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$, come quella misurata nel corso delle indagini, sono prevedibili portate critiche di rilascio in alveo solo in occasione di periodi magra, se si assume il valore della $Q_{7/10}$ quale limite superiore dell'intervallo dei deflussi minimi.

10.3 DETERMINAZIONE DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE DEL FIUME MIGNONE

Il deflusso minimo vitale del fiume Mignone è stato determinato solo per la sezione relativa alla stazione idrometrografica di Rota, essendo l'unica sezione dotata di strumenti per la misura di portate nel tempo. Tuttavia uno dei metodi è stato applicato anche alla sezione in località Le Mole sul Mignone, quella interessata dalla principale derivazione ad uso irriguo.

I metodi adottati ed i risultati ottenuti sono riassunti nella TABELLA 10.4, insieme a quelli riportati in bibliografia.

Dal metodo del contributo specifico si ottiene per la stazione di Rota una portata di deflusso minimo di $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ ed una di $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ per la sezione ubicata in corrispondenza della derivazione. Tale valore di Q_{MV} , se relazionato alla misura di portata relativa alla stazione nel Maggio 2006 di $1.61 \text{ m}^3/\text{s}$, risulta accettabile.

Il metodo della Q_{347} e della Q_{355} (cfr. PAR. 6.2.1.3 e TAB. 6.6) applicato solo a Rota, ha permesso di trovare due valori di Q_{MV} simili, risultati rispettivamente di $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ ed di $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dal metodo Montana (cfr. PAR. 1.5.1) si ottengono portate che oscillano da una Q_{MINIMA} di $0.22 \text{ m}^3/\text{s}$ ad una Q_{BUONA} $0.66 \text{ m}^3/\text{s}$. Quest'ultimo valore, è confrontabile con la portata misurata in alveo nel Maggio del 2006.

I risultati della Q_{MV} ottenuti dal metodo basato sulla variabile statistica $Q_{MIN/10}$ e dal metodo IFIM sono stati acquisiti dall'Autorità di Bacino. Questi variano da $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ per la stazione di Rota (cfr. FIG. 3.16).

In generale, dalla stima del deflusso minimo vitale, ottenuta dall'applicazione dei metodi selezionati, ha permesso di ricavare intervalli di valori di DMV che sono risultati compatibili con le portate misurate in alveo nel mese di Maggio 2006.

	ROTA	LE MOLE
AREA BACINO	223 km ²	395.3 km ²

PORTATA MEDIA Q		2.21 m ³ /s	----
Q₃₄₇		0.40 m ³ /s	----
Q₃₅₅		0.35 m ³ /s	----
METODO DEL CONTRIBUTO SPECIFICO (Q_{MV} = 2 l/s × km²)		0.45 m ³ /s	0.79 m ³ /s
Q_{MV} = f (Q₃₄₇)		0.25 m ³ /s	----
Q_{MV} = 0.5 Q₃₅₅		0.18 m ³ /s	----
METODO DEL MONTANA	Q _{MV} = Q _{MIN} = (0.1 Q)	0.22 m ³ /s	----
	Q _{MV} = Q _{BUO} = (0.3 Q)	0.66 m ³ /s	----
METODO DELLA Q_{7/10} *		0.23 m ³ /s	----
METODO IFIM *	Q _{MV} = Q _{25%}	0.20 m ³ /s	----
	Q _{MV} = Q _{50%}	0.30 m ³ /s	----
MAGGIO 2006		0.68 m ³ /s	1.61 m ³ /s

TABELLA 10.4 – Determinazione del deflusso minimo (Q_{MV} in m³/s) per la sezione di Rota. I valori con asterisco sono tratti da AA. VV. (1998) e da CALEND *et alii* (2000). Nell’ultima riga è riportato il valore della portata in alveo (cfr. CAP. 6).

La situazione del Mignone non si presenta compromessa come nel caso del fiume Marta. Durante i sopralluoghi le criticità maggiori sono state riscontrate in località Le Mole, in corrispondenza dello sbarramento ad uso irriguo, anche se l’opera di presa è stata sempre trovata inattiva. Pertanto la derivazione rappresenta più un’interruzione fisica del corso naturale del fiume, che un’interruzione idraulica, in quanto la derivazione è probabilmente occasionale ed in funzione solo in alcuni periodi dell’anno.



Foro 10.2 – Opera di presa a scopo irriguo in località “Le Mole” sul Mignone.

DISCUSSIONE

Il lavoro eseguito è stato incentrato sul confronto di metodi per la determinazione del deflusso minimo vitale in alcune sezioni d'alveo significative dei fiumi Marta e Mignone, con particolare riferimento alle interazioni tra acque superficiali ed acque sotterranee.

I due bacini esaminati possono essere considerati rappresentativi della rete idrografica minore dell'alto Lazio (bacini regionali) ed evidenziano sostanziali differenze in ordine alla morfologia, geologia, idrogeologia, uso delle risorse idriche e qualità delle acque superficiali.

I due bacini, pur confinanti e pur ricadenti nella stessa regione vulcanica, si presentano morfologicamente differenti. Intanto la presenza del lago di Bolsena per il bacino del fiume Marta e la regolazione artificiale della portata dell'emissario, attraverso paratoie all'incile, influenza il deflusso in alveo, soprattutto nel suo alto corso (cfr. PAR. 3.1.1).

Le reti idrografiche dei due bacini sono articolate in modo diverso. Quella del Mignone risulta molto più ramificata, rispetto a quella del Marta, in relazione soprattutto all'assetto strutturale e all'affioramento di terreni poco permeabili (cfr. PARR. 3.3. e 3.4, cfr. FIGG. 3.6 e 3.10).

La morfologia del bacino del Mignone è influenzata dalla presenza di rilievi dove affiorano rocce sedimentarie e dai duomi vulcanici di Tolfa, con un'altitudine media di 280 m s.l.m. ed una pendenza media del 9 %, in confronto con la morfologia più pianeggiante del bacino del Marta, caratterizzato da un'altitudine media di 240 m s.l.m. ed una pendenza media del 4 % (cfr. PARR. 3.2.1 e 3.2.2, cfr. TABB. 3.1 e 3.3).

La forma irregolare del bacino del Mignone risente della risposta geomorfologica delle rocce presenti, a confronto con una forma quasi circolare del bacino del Marta, testimoniata da un fattore di forma prossimo ad 1 (cfr. PAR. 3.2.1).

I due bacini sono caratterizzati dall'attività vulcanica principalmente dei Distretti Vulsino, Vicano, Cimino e Sabatino (cfr. CAP. 2). La presenza delle formazioni vulcaniche permeabili è maggiore nel bacino del fiume Marta (85 % dell'area totale), essendo i terreni poco permeabili presenti solo marginalmente nella zona meridionale

dell'area di studio. Nel bacino del Mignone dominano invece i terreni sedimentari poco permeabili, che costituiscono il 63 % dell'intera area di studio (cfr. CAP. 4).

Le acque superficiali del fiume Marta vengono utilizzate per uso energetico da cinque centrali idroelettriche dislocate lungo il corso principale del fiume e sul torrente Traponzo. Notevole risulta anche l'uso irriguo delle risorse idriche nell'ambito del bacino del Marta, essendo le aree coltivate circa 255 km², pari al 44 % dell'area esaminata. L'uso industriale delle risorse idriche è nettamente più contenuto per il bacino del fiume Mignone che però risente, nel medio corso, dei prelievi idrici dal corso d'acqua utilizzati ai fini potabili dall'acquedotto di Civitavecchia e, nel tratto finale, della chiusa artificiale del Consorzio Nuovo Mignone, che utilizza le acque derivate dal fiume a scopo irriguo.

Dal confronto delle carte dell'uso del suolo dei due bacini (FIGG. 11.1 e 11.2) si nota una diversa distribuzione delle aree agricole, concentrate nella porzione vicino al lago e nel settore centrale, per il bacino del Marta, e nella zona occidentale, per il Mignone. È anche evidente una diversa densità di urbanizzazione per le due aree. Il bacino del Marta è caratterizzato da più centri urbani, come quello di Viterbo (60387 abitanti nel 2000; AA. VV., 2002) e di Vetralla (12375 abitanti) e altri minori come Monte Romano (1947 abitanti), Tuscania (7922 abitanti), Blera (3255 abitanti) e Villa S. Giovanni in Tuscia (1186 abitanti), per un totale di circa 88000 abitanti ed una densità di popolazione di circa 150 ab/km² (cfr. FIG. 11.1). Nel bacino del Mignone, invece, i centri urbani sono pochi e poco popolati, gli unici insediamenti sono quelli di Vejano (2127 abitanti), Manziana (5766 abitanti), Tolfa (4926 abitanti) e Oriolo Romano (2949 abitanti; cfr. FIG. 11.2).

Di conseguenza, a causa della diversità nelle caratteristiche geomorfologiche dei due bacini, nell'uso delle risorse idriche e del suolo, risulta differente lo stato di qualità delle acque superficiali, come dimostrato, per esempio, attraverso le classi di qualità dell'I.B.E (cfr. PARR. 8.2.2 e 8.3.2). La situazione del fiume Marta, fino alla confluenza del Traponzo, si presenta molto compromessa, essendo più esposta all'impatto antropico. Buona è invece risultata quella del Mignone, dove i pochi tratti con classi di qualità più basse sono da collegarsi a cause naturali, come le considerevoli variazioni stagionali della portata del corso d'acqua o la presenza di sorgenti minerali, che localmente modificano la qualità delle acque.

L'analisi idrogeologica condotta ha evidenziato delle caratteristiche fondamentali per la comprensione delle interazioni tra acque superficiali ed acque sotterranee e per la valutazione del bilancio idrologico e del deflusso minimo vitale.

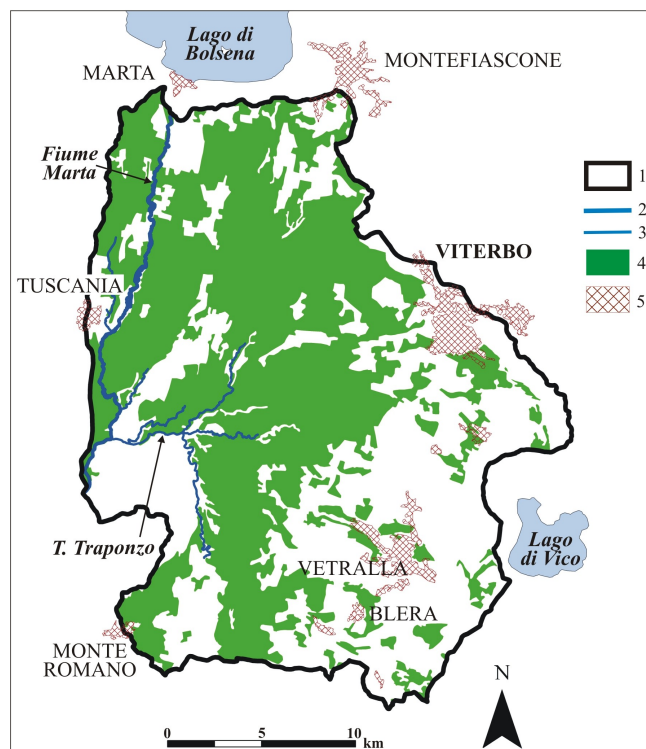


FIGURA 11.1 – Carta dell'Uso del Suolo del bacino del fiume Marta (1: area di studio; 2: fiume Marta; 3: principale reticolo idrografico; 4: aree agricole; 5: centri urbani; da Corine Land Cover della Regione Lazio, COMMISSIONE EUROPEA, 2000).

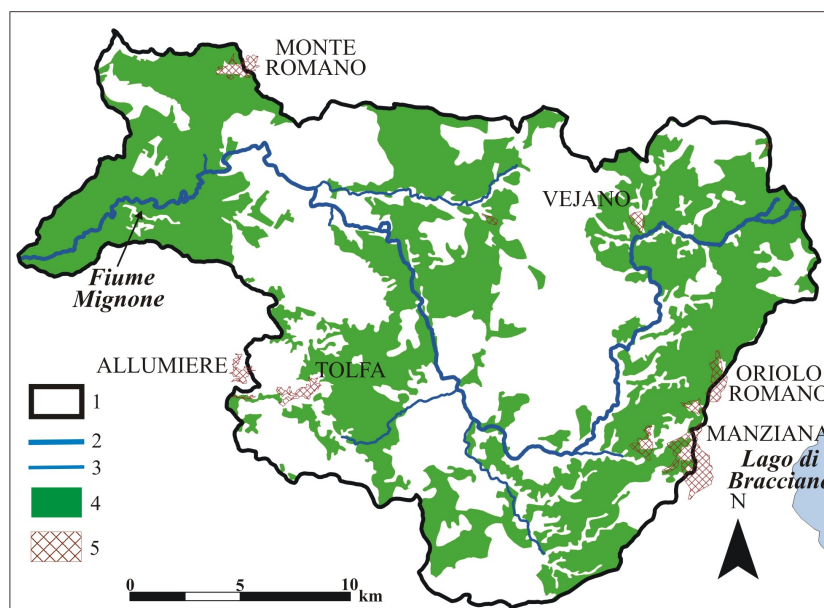


FIGURA 11.2 – Carta dell'Uso del Suolo del bacino del fiume Mignone (1: area di studio; 2: fiume Mignone; 3: principale reticolo idrografico; 4: aree agricole; 5: centri urbani; da Corine Land Cover della Regione Lazio, COMMISSIONE EUROPEA, 2000).

È risultato innanzitutto che il deflusso del fiume Marta è sostenuto dagli afflussi dal lago di Bolsena e principalmente dalle acque sotterranee; queste ultime (pari a circa $111 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ a Centrale Traponzo) giocano un ruolo essenziale sul deflusso del fiume ed equivalgono a circa il 70 % del deflusso totale (circa di $157 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$; cfr. PAR. 6.1.1.4).

Il deflusso del fiume Mignone risente meno dell'alimentazione delle acque sotterranee (circa di $26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ a Rota, ovvero il 37 % del deflusso totale), anche se nella stagione di magra il deflusso dipende esclusivamente dagli apporti diffusi in alveo, costituiti anche da risalite di acque profonde mineralizzate che condizionano localmente il chimismo delle acque superficiali (cfr. PAR. 6.2.1.4).

Dalla ricostruzione delle curve isopiezometriche per entrambi i bacini, si è notato che i bacini idrografici generalmente non corrispondono a quelli idrogeologici, soprattutto dove sono più rappresentati in affioramento i terreni vulcanici permeabili, cioè nel bacino del Marta (cfr. CAP. 7).

In relazione alla presenza di un acquifero più produttivo per il bacino del fiume Marta, in quest'area si ha una presenza di pozzi e relativi prelievi più diffusi. Sono stati infatti censiti 238 pozzi all'interno dell'area di studio, con una densità di circa un 0.5 pozzi per km^2 , contro i 45 censiti all'interno nel bacino del Mignone (densità di 0.1 pozzi per km^2) dove sono più rappresentati i terreni poco permeabili.

La maggior parte delle sorgenti sono caratterizzate da portate molto modeste (generalmente inferiore a qualche litro al secondo) e rappresentano, in entrambi i casi di studio, i recapiti secondari del deflusso sotterraneo (complessivamente 300 l/s per il Marta e 17 l/s per il Mignone). Il recapito principale delle acque sotterranee è dunque il corso d'acqua, principalmente in corrispondenza della confluenza con il Traponzo per il fiume Marta, e nell'alto e medio corso per il fiume Mignone, prima della confluenza con il fosso Lenta.

La relazione tra portata dei fiumi e qualità delle acque superficiali è più evidente per il caso del fiume Marta che per il Mignone. Infatti nei rami del Marta dove le portate sono ridotte, soprattutto a cause delle derivazioni antropiche, si sono registrate le classi di qualità peggiori. La situazione migliora dove l'impatto antropico si annulla o dove sono maggiori gli incrementi di portata in alveo (FIGG. 11.3 e 11.4; cfr. TABB. 6.10 e 6.13 e FIGG. 6.24 e 6.25).

La valutazione delle risorse idriche, condotta su base media annua e con riferimento ai bacini idrografici, sottolinea che a conferma dell'analisi idrogeologica il recapito principale dei deflussi sotterranei è il fiume.

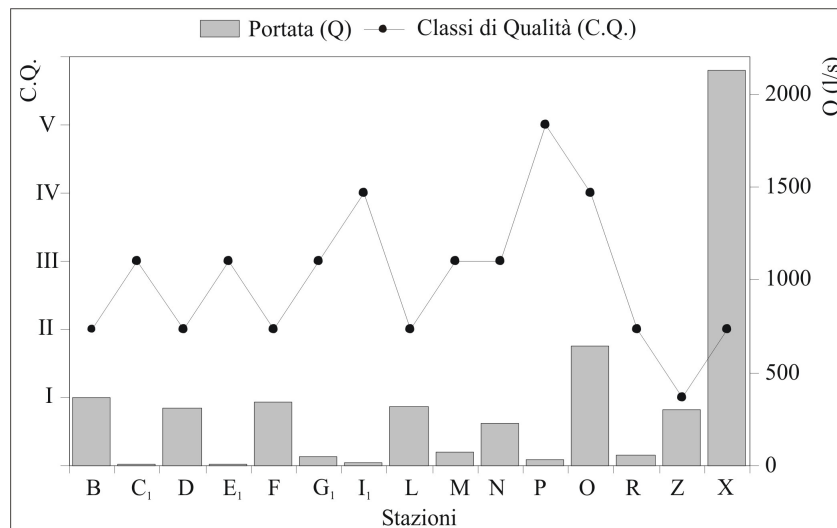


FIGURA 11.3 – Relazione tra le classi di qualità (C.Q.) dell'I.B.E. nella primavera 2004 e valori di portata del maggio 2006 per il fiume Marta.

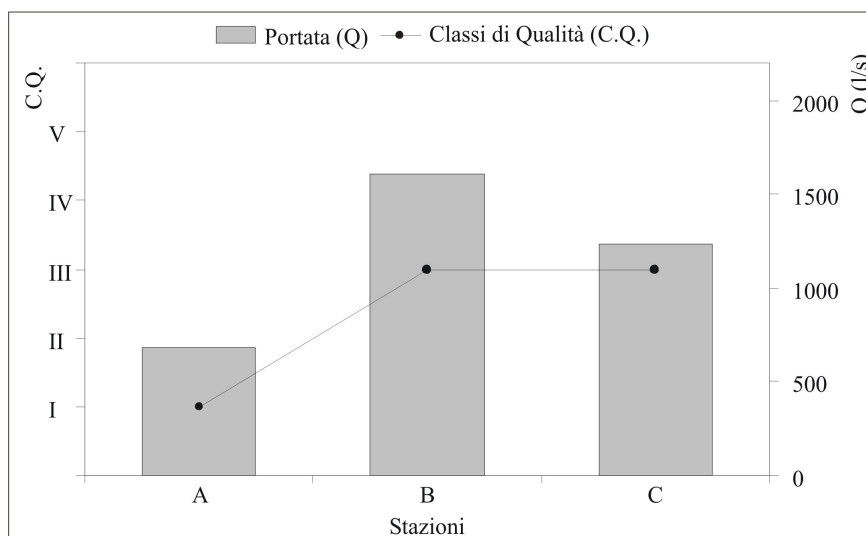


FIGURA 11.4 – Relazione tra le classi di qualità (C.Q.) dell'I.B.E. nella primavera 2000 e valori di portata del maggio 2004 per il fiume Mignone.

Sono state registrate rese in acque sotterranee diverse per i due ambiti spaziali esaminati, 4.8 l/s per km² per il Mignone e 6.0 l/s per km² per il Marta (cfr. PARR. 9.1 e 9.2). Di conseguenza l'indice di deflusso di base è più alto per il bacino del Marta (0.71; cfr. PAR. 6.1.1.5) che per il bacino del Mignone (0.36; cfr. PAR. 6.2.1.5).

Dalla valutazione delle risorse idriche dei due bacini risulta che prelievi conservativi, quali le captazioni potabili da pozzi e sorgenti e le acque derivate dal fiume per uso

idroelettrico e industriale, ritornando al fiume non rappresentano una sostanziale perdita dal sistema, almeno alla scala considerata. Invece i prelievi irrigui, quando praticati all'interno del bacino di studio, rappresentano una reale perdita di risorse idriche dal bacino in quanto vanno a compensare le differenze tra l'evapotraspirazione potenziale e reale nel periodo irriguo. Queste perdite, stimate in $40 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ per il bacino del Marta (prelevati principalmente dai pozzi) e in $11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ per il bacino del Mignone, rappresentano quindi un decremento di risorse idriche che in condizioni naturali andrebbero ad incrementare principalmente il deflusso di base dei corsi d'acqua (cfr. CAP. 9).

La determinazione del deflusso minimo vitale in alcune sezioni d'alveo significative per il fiume Marta e Mignone, eseguita attraverso l'applicazione di metodi indiretti basati principalmente sulle caratteristiche morfologiche e idrologiche ed integrati da altre applicazioni presenti in bibliografia, ha segnalato che i metodi più affidabili sembrerebbero essere quelli che tengono conto della biologia e dell'idraulica, come il metodo I.F.I.M., anche se la procedura necessita di molti dati in ingresso raccolti in sito e di lunghe elaborazioni. Confrontando i vari risultati ottenuti per entrambi i corsi d'acqua, si ritrovano con il metodo dell'I.F.I.M., con il metodo della Q_{347} e della Q_{355} percentuali di portata minima vitale compresa tra il 10 % e il 30 % della portata media annua. I valori di deflusso minimo vitale determinati attraverso i metodi che tengono conto delle caratteristiche idrologiche e morfologiche, come la portata e l'area del bacino, oscillano intorno al 20 % della portata media annua.

Dal confronto dei metodi emerge che i valori di portata sono indispensabili per i metodi più affidabili. Questi non sempre sono disponibili o, se presenti, sono relativi solo a qualche sezione d'alveo, ciò accade soprattutto nella rete idrografica minore come quelle in esame. Allora si applicano procedure più lunghe che prevedono la regionalizzazione delle variabili idrologiche, con tutti i problemi di incertezza connessi con i diversi metodi disponibili. In ogni caso sia il metodo dell'I.F.I.M. che i metodi idrologici partono da valori di portata osservata in sezioni strumentate del fiume, spesso senza tener conto di ciò che succede nel bacino sotteso e cioè se esistono prelievi idrici a monte delle sezioni. Quindi la portata registrata potrebbe non corrispondere a quella naturale, poiché la portata in alveo nei casi esaminati, essendo fortemente dipendente dall'alimentazione delle acque sotterranee, risente anche dei prelievi dalla falda. Questo ovviamente comporta che le portate in alveo, in occasione soprattutto di prelievi non conservativi dal bacino, è già diminuita rispetto al suo valore naturale, e quindi i calcoli

del deflusso minimo vitale, che assumono le portate in alveo quale parametro di riferimento, sono influenzati da questo decremento.

Tutte le osservazioni fino a qui riportate, soprattutto quest'ultimo aspetto, vanno inquadrare tenendo conto di quanto già riportato in letteratura, circa il fatto che le acque sotterranee e quelle superficiali sono componenti interconnesse tra di loro e interattive del sistema idrologico e, quindi, non possono essere trattate isolatamente (WINTER *et alii*, 1998; WINTER, 1999; SOPHOCLEOUS, 2002; BRUNKE & GONSER, 1997). In questa ottica, tenendo conto di quanto risultante dalle analisi condotte per i due bacini in esame, è necessario un diverso approccio al calcolo del deflusso minimo vitale. La determinazione della portata minima vitale non si deve limitare ad applicare il metodo ad una particolare sezione di riferimento ma bisogna estendere l'attenzione a tutto il sistema idrogeologico collegato al fiume. Sul valore del deflusso minimo vitale incide non solo ciò che succede nel fiume come tale, ma anche ciò che succede nel sistema collegato al corso d'acqua, cioè il bacino superficiale e sotterraneo. Pertanto il problema della definizione di deflusso minimo vitale rientra nel più ampio quadro dell'uso sostenibile delle risorse idriche.

I principi fondamentali ai quali riferirsi per una gestione sostenibile delle risorse idriche di un sistema dovrebbero essere (VAN TONDER & VAN DER VOORT, 2001):

- soddisfare il fabbisogno idrico delle generazioni presenti e future;
- proteggere le risorse idriche;
- promuovere lo sviluppo economico e sociale attraverso l'uso delle risorse idriche,
- proteggere gli ecosistemi acquatici.

Questi obiettivi possono essere raggiunti considerando i legami esistenti tra acque superficiali e sotterranee, inquadrando il sistema nella sua interezza, tenendo conto di quelle che sono le componenti idrologiche, chimiche e biologiche. Quindi si deve far riferimento alla qualità e alla quantità delle risorse essendo questi due aspetti fortemente interconnessi, come avviene per esempio per la “*hyporheic zone*” (WILLIAMS, 1993).

Se nell'ottica della gestione delle risorse idriche si pone l'attenzione sull'aspetto quantitativo della “sostenibilità”, uno dei modi appropriati per definire correttamente i prelievi (conservativi e non conservativi) è quello che coinvolge il concetto di “*basin sustainable yield*” (KALF & WOOLLEY, 2005).

In letteratura esistono varie definizioni del “*basin sustainable yield*” e tra queste si riporta quella di EVANS & COOK (2002): “*the groundwater abstraction regime, measured*

over a specified time frame, that allows acceptable levels of stress and protects the higher value uses that have a dependency on the water”. Tale definizione non è universalmente accettata, essendo troppo esposta ad interpretazioni soggettive, soprattutto sul tempo da considerare accettabile o sui giusti usi a cui le acque sono destinate.

Le metodologie utilizzate spesso si basano su concetti ambigui e non sempre considerano i parametri fisici, tanto che la determinazione quantitativa risulta complicata. Inoltre esistono tanti fattori che sono legati alla portata sostenibile e non tutti vengono considerati o sono di difficile valutazione.

Tra i vari approcci teorici è significativo quello di KALF & WOOLLEY (2005) dove si considera come esempio un sistema, che può rappresentare o un acquifero un bacino superficiale. Il sistema, in condizioni naturali, è in uno stato di equilibrio, dove gli ingressi idrici sono uguali alle uscite (FIG. 11.5):

$$In = On \quad [11.1]$$

dove In rappresentano le entrate nel sistema e On le uscite.

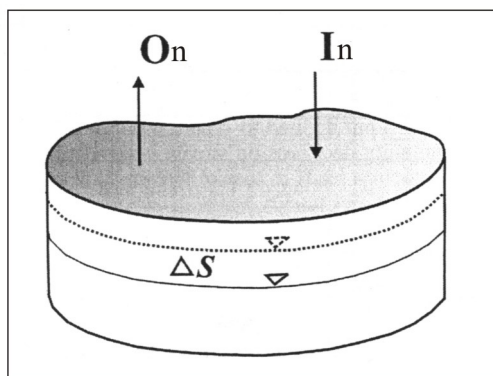


FIGURA 11.5 – Sistema in equilibrio (da KALF & WOOLLEY, 2005).

Nel caso in cui il sistema in questione rappresenti un acquifero le condizioni naturali corrispondono all'assenza di prelievi idrici, sia da acque sotterranee e sia da acque superficiali. Essendo l'acquifero in condizioni stazionarie le entrate, rappresentate prevalentemente da una parte delle precipitazioni, devono uguagliare le uscite, comprensive del deflusso verso il fiume. Nelle condizioni stazionarie la variazione dell'immagazzinamento del sistema (ΔS) risulta quindi nulla, poiché i livelli idrici non subiscono variazioni.

La situazione cambia se dal sistema vengono praticati prelievi (Ps), per esempio dalla falda, in un determinato tempo (ts) (FIG. 11.6 (a)).

Queste nuove condizioni producono in un determinato tempo:

- un incremento delle entrate, che aumentano da un valore iniziale In a quello finale Is , poiché il sistema acquifero tende a richiamare acque sotterranee dai sistemi confinanti per compensare le perdite dovute ai prelievi. Le entrate aumentano fino ad un nuovo equilibrio (Is) dopo un tempo ts (FIG 11.6 (b));
- un decremento delle uscite, dal valore iniziale On ad un nuovo valore Ors , a causa dell'acqua sotterranea prelevata dai pozzi, che si stabilizza dopo un tempo ts (FIG. 11.6 (c));
- un decremento dell'immagazzinamento (Ss) causato dai prelievi (FIG. 11.6 (d)).

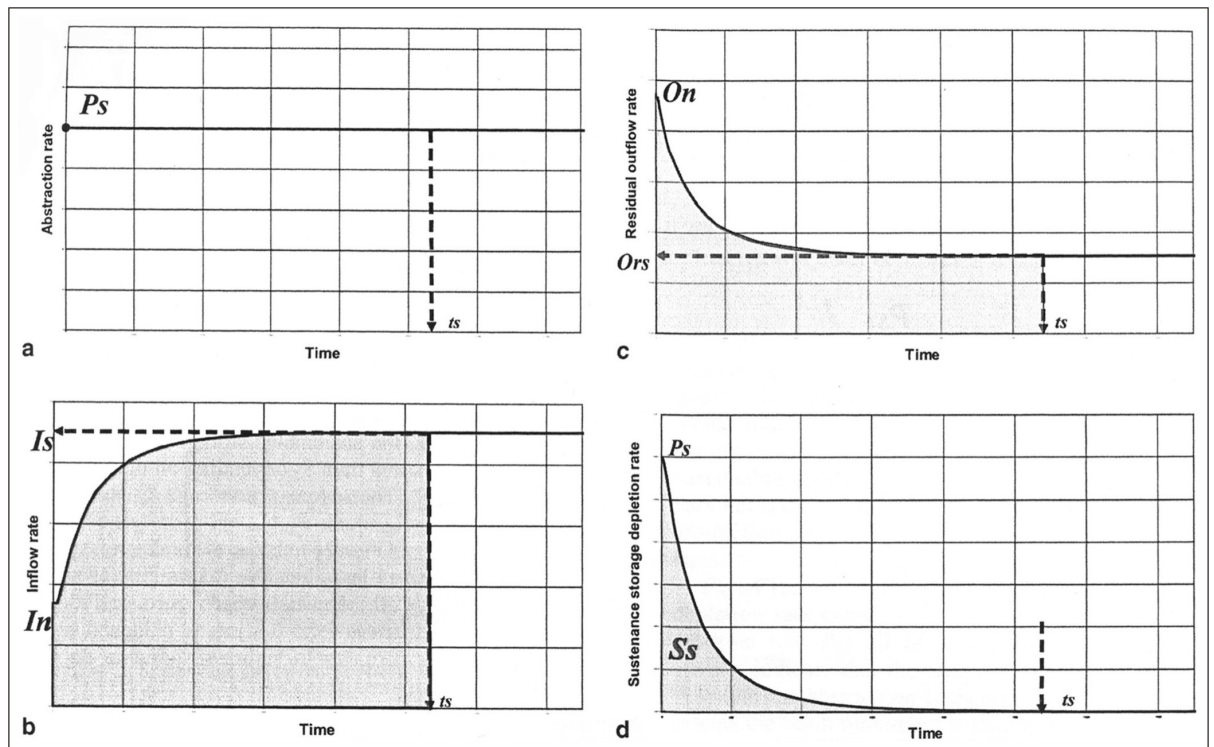


FIGURA 11.6 – Variazione dei termini in seguito all'inizio dei prelievi (da KALF & WOOLLEY, 2005).

Dopo un tempo ts il nuovo equilibrio è dato da:

$$Is = Ps + Ors \quad [11.2]$$

dove le uscite totali sono date da quelle naturali ridotte (Ors) e dai prelievi (Ps).

Dalla FIGURA 11.6 (d) si nota che il decremento dell'immagazzinamento Ss al tempo ts tende a zero, oltre questo tempo si raggiunge il nuovo equilibrio dato dall'equazione [11.2]. Quindi risulta importante determinare un valore di Ps sostenibile, riferito ad un tempo specifico, oltre il quale non si possono aumentare i prelievi. KALF & WOOLLEY (2005) introducono il concetto di “*basin maximum sustainable yield*” (Pd), riprendendo

altri concetti simili riportati in letteratura come quello del “*maximunstable basin yield*” di FREEZE (1971).

Il “*basin maximun sustainable yield*” (Pd) si raggiunge dopo un tempo td e risulta pari a :

$$Id = Pd \quad [11.3]$$

con Ors uguale a zero (FIG. 11.7).

Questa situazione rappresenta la condizione massima di sostenibilità, in cui tutte le entrate eguagliano i prelievi e le uscite naturali risultano quindi nulle. Questo stato comporta la massima riduzione di “*storage*” (Sd) recuperabile.

Nella FIGURA 11.7 vengono mostrate le curve rappresentanti la diminuzione dell’immagazzinamento, con diversi prelievi (Ps_1 , Ps_2 , e Ps_3 ; “*basin sustainable yied*”). Tali curve dopo tempi differenti (ts_1 , ts_2 e ts_3) tendono a zero, indicando che ridotto l’immagazzinamento le uscite sono bilanciate dalle entrate in una nuova condizione di equilibrio del sistema. Le curve relative ai prelievi Ps_1 , Ps_2 , e Ps_3 sostenibili vengono confrontate con la curva Pd del “*basin maximun sustainable yield*” che tende all’equilibrio dopo un tempo td , che è maggiore dei tempi ts_1 , ts_2 e ts_3 . La situazione non è più sostenibile quando i prelievi superano il massimo valore Pd nel caso della curva Ppm , in cui si innesca il soprasfruttamento del sistema, ovvero si passa ad utilizzare le riserve del sistema non più recuperabili nel tempo (Sm e Sr ; FIG. 11.8).

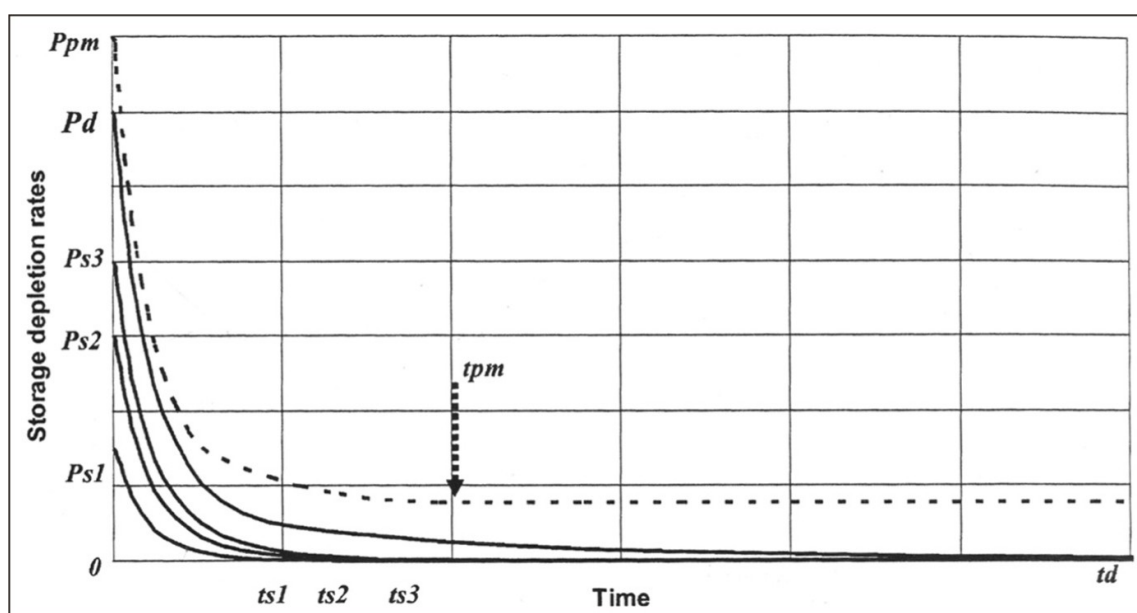


FIGURA 11.7 – Variazione dell’immagazzinamento (da KALF & WOOLLEY, 2005).

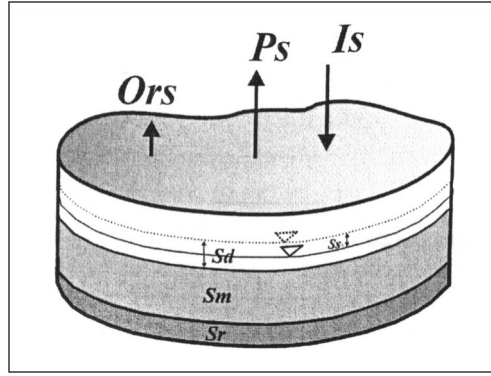


FIGURA 11.8 – Nuovo equilibrio del sistema (da KALF & WOOLLEY, 2005).

Facendo riferimento alla FIGURA 11.7, l'area sottesa dalle singole curve rappresenta il volume di svuotamento del sistema, necessario per raggiungere il nuovo equilibrio tra entrate e uscite. Per P_s tale volume è dato da:

$$P_s t_s = \left(\int_0^{t_s} I dt - \int_0^{t_s} O_r dt + S_s \right) \quad [11.4]$$

dove I è l'incremento nel tempo t_s delle entrate e O_r è il decremento nel tempo t_s delle uscite.

L'equazione [11.4] indica che un prelievo sostenibile P_s produce nel tempo t_s un volume pari al volume totale delle entrate meno il volume delle uscite comprensive del “*sustenance storage*” (S_s). Quindi dopo un tempo t_s si ha all'equilibrio:

$$P_s = I_s - O_r \quad [11.5]$$

dove I_s sono le entrate incrementate e O_r sono le uscite residuali. Le O_r comprendono anche il deflusso nel fiume se si applica la [11.5] ai casi esaminati.

Il tempo t_s che definisce il raggiungimento del nuovo equilibrio, dopo la diminuzione di “*storage*”, è funzione:

- del rapporto tra la trasmissività (T) e il coefficiente dell'immagazzinamento dell'acquifero (S), ovvero la diffusività dell'acquifero (T/S);
- dell'ubicazione dei prelievi in relazione alla zona di ricarica e di recapito delle acque sotterranee, quindi nei casi in esame rispetto al corso d'acqua che rappresenta il principale recapito della falda;
- della durata dei prelievi.

Se nel sistema introduciamo le necessità ecologiche, e quindi anche il deflusso minimo vitale, la [11.5] all'equilibrio diventa:

$$P_e = I_e - O_e \quad [11.6]$$

dove Pe rappresentano i prelievi “ecologicamente sostenibili”, Ie le entrate sostenibili e Ore le uscite residuali. Le entrate Ie sono minori di Is , mentre le Ore devono essere maggiori di Ors , essendo necessarie più risorse per assicurare i fabbisogni degli ecosistemi acquatici, tra questi è ovviamente incluso il deflusso minimo vitale.

Nel valore di Pe sono quindi contenuti diversi tipi di prelievi e proprio la definizione di tale termine genera conflitto tra i vari utenti e gestori delle risorse idriche, perché bisogna cercare di dimensionare il termine Ore , che senza tener conto delle necessità ecologiche sarebbe più basso.

Il problema della definizione del deflusso minimo vitale, ma in generale di tutti i fabbisogni degli ecosistemi acquatici, dovrebbe dunque essere ricondotto ad un quadro di riferimento più ampio che è quello del sistema complessivo in cui le acque superficiali sono incluse. In particolare, tenendo conto dell’esperienza maturata sui bacini del Marta e del Mignone e di quanto discusso in precedenza, il problema della definizione del deflusso minimo vitale non può prescindere dalla definizione del quadro complessivo dei prelievi da tutto il sistema, in quanto sono tra loro interdipendenti.

Le principali considerazioni che scaturiscono dunque dallo studio dei casi esaminati sono le seguenti:

- il quantitativo dei prelievi idrici concesso per un determinato sistema (Pe), che tiene conto anche delle necessità ecologiche, va calcolato e successivamente calibrato conoscendo innanzitutto il bilancio idrologico “naturale” del sistema;
- la definizione del deflusso minimo vitale non può prescindere dalle conoscenze dei prelievi idrici che insistono su tutto il bacino o sistema che include il fiume, in quanto quantità ed ubicazione dei prelievi dal sistema condizionano i deflussi in alveo;
- il conflitto tra i fabbisogni “*instream*” ed “*offstream*” può essere risolto solo a valle della definizione della sostenibilità dei prelievi sull’intero sistema, adottando per esempio la soluzione indicata da KALF & WOOLLEY (2005);
- il deflusso minimo vitale è legato a Ore e quindi è funzione di Pe , la sua definizione specifica per un dato sistema deve quindi necessariamente considerare anche l’acquifero, che con lo “*storage*” condiziona fortemente anche Ore .

Le precedenti considerazioni di carattere generale possono essere tradotte in termini applicativi per le realtà esaminate, facendo riferimento in particolare al bacino del fiume Marta. Quest’ambito è più significativo per la problematica in esame rispetto al caso del

fiume Mignone, in quanto, come è stato detto in precedenza, mostra una maggiore pressione antropica, soprattutto per il controllo delle portate attraverso le paratoie e per la presenza delle centrali idroelettriche; inoltre, i dati disponibili sono più consistenti per il bacino del Marta.

In merito principalmente al problema della definizione del deflusso minimo vitale, così come inteso nell'attuale letteratura e normativa, è da sottolineare la necessità di stabilire una portata di deflusso minimo vitale anche per la sezione di ingresso dal lago all'emissario, tenendo conto della realtà idrogeologica del fiume stesso, ma anche dei rapporti tra lago e fiume. Infatti la regolazione dell'apertura delle paratoie va ad influenzare l'entità del deflusso nell'asta principale e quindi la sua portata minima vitale, oltre che il livello del lago. In riferimento a tutto questo il valore di deflusso minimo vitale per questa specifica sezione dovrebbe essere non inferiore a 0.3 m³/s (cfr. TAB. 10.3).

La situazione più critica del fiume Marta si verifica nel tratto interessato dalle derivazioni idroelettriche, in cui si è notato che i deflussi rilasciati in alveo sono nettamente inferiori ai valori stimati di deflusso minimo vitale, con conseguenza sulle condizioni ambientali del fiume per buona parte dell'asta principale, almeno fino alla città di Tuscania. Infatti durante le varie campagne di misura nei tratti depauperati la portata misurata variava da alcune decine di l/s a un centinaio di l/s, mentre il deflusso minimo vitale stimato per la sezione dopo la centrale Fioritella è di diverse centinaia di l/s. È necessario quindi riuscire a ridimensionare la portata derivata dalle centrali e gli eventuali prelievi presenti, considerando anche i rapporti tra acque superficiali e sotterranee (cfr. TAB. 6.4).

La derivazione di Centrale Traponzo ha un impatto nettamente più basso sui deflussi del corso d'acqua ed i valori di deflusso minimo vitale calcolati rientrano negli intervalli di portata misurata direttamente in alveo nel periodo 2004-2005: questo perché la centrale è ubicata laddove sono più consistenti gli apporti idrici sotterranei in alveo.

Facendo riferimento a quanto scaturito dallo studio sulla necessità di inquadrare il concetto di deflusso minimo vitale nel contesto generale del bilancio idrologico a scala di bacino, è stata considerata l'equazione [11.6] per il bacino del Marta:

$$Pe_{MA} = Ie_{MA} - Ore_{MA} \quad [11.7]$$

dove:

- Pe_{MA} corrispondono ai prelievi a scopo irriguo che sono stati stimati intorno a 40×10^6 m³/anno;

- I_{eMA} rappresentano le entrate dal sistema che, nel caso in esame, sono date dalla somma del contributo degli apporti sotterranei dal lago, gli apporti sotterranei extrabacinali, il ruscellamento e l'infiltrazione, pari a circa $195 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$;
- Ore sono le uscite dal sistema date dal deflusso totale del fiume di circa $157 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$.

Sulla base di questi dati i prelievi dal sistema, risulterebbero sostenibili, almeno alla scala di riferimento considerata, il condizionale è legato all'incertezza sulla determinazione dei vari parametri. Una prova dell'equilibrio del sistema potrebbe essere il diagramma della portata media annua di Centrale Traponzo (cfr. FIG. 6.1) dove dai dati disponibili si nota solo un debole trend in discesa che potrebbe essere imputato però a variazioni climatiche (DRAGONI, 2003), come per la variazione del livello del lago negli ultimi decenni (FIG. 11.9).

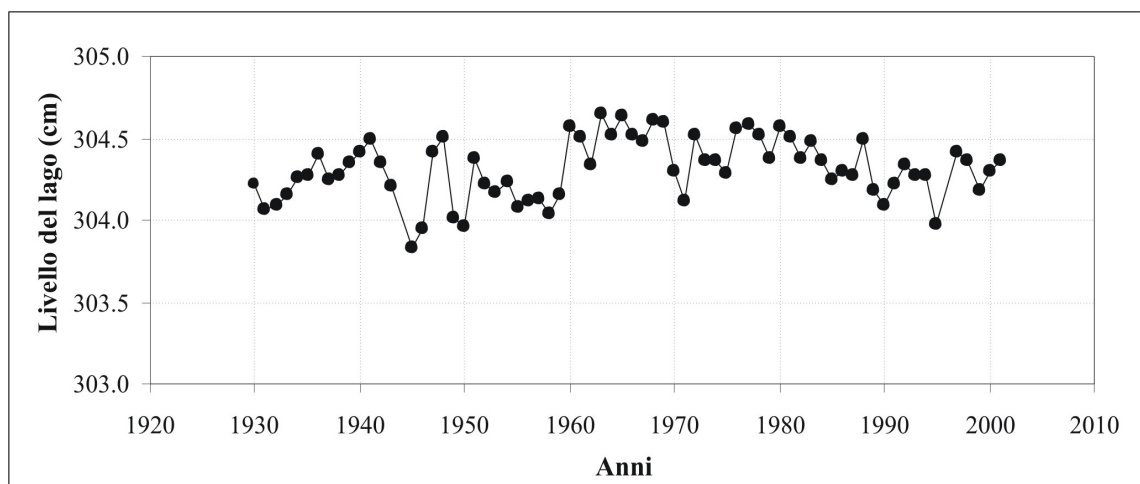


FIGURA 11.9 – Abbassamento del livello del lago registrato nella stazione di Bolsena.

A scala locale la situazione cambia, soprattutto a monte della città di Tuscania, in cui i prelievi diretti dal fiume da parte delle centrali idroelettriche non sono sostenibili. Inoltre si deve considerare anche l'incidenza dei prelievi dall'acquifero attraverso i pozzi, che direttamente vanno a condizionare il deflusso del fiume, poiché alterano i rapporti tra acque sotterranee e superficiali.

Nell'ottica di pianificare i prelievi dall'acquifero, anche per definire il deflusso minimo vitale da mantenere in alveo, i prelievi a scopo irriguo dovrebbero essere collocati ad una distanza significativa dal corso d'acqua per diminuire l'impatto sui rapporti di scambio falda-fiume.

Le caratteristiche essenziali per determinare la reazione dell’acquifero al pompaggio sono, oltre alla distanza dalla zona di recapito, che nel caso in esame è principalmente il corso d’acqua, anche la distanza e la natura della zona di ricarica e il modo in cui l’acquifero risponde al pompaggio.

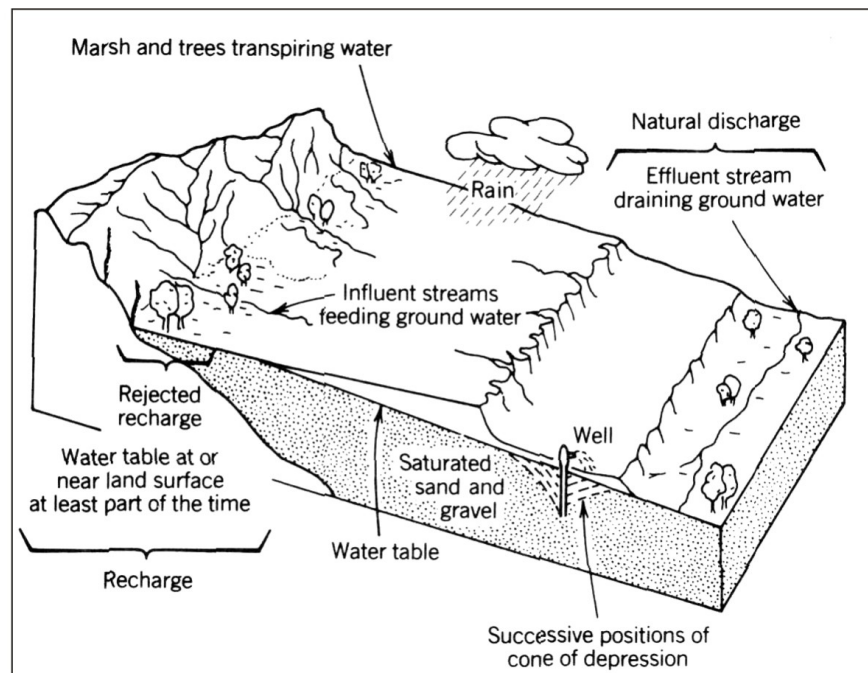


FIGURA 11.10 – Fattori che regolano la reazione dell’acquifero ai prelievi dai pozzi (da THEIS, 1940).

La FIGURA 11.10 mette in evidenza il fatto che se il pozzo è posizionato nella zona di “*natural discharge*” l’acqua viene prelevata, oltre che dallo “*storage*” dell’acquifero, anche dal fiume, in quanto la depressione piezometrica può raggiungere, in relazione al tempo di pompaggio, il corso d’acqua con la possibilità di invertire i rapporti naturali di interscambio tra le acque superficiali e sotterranee.

A titolo di esempio si potrebbe considerare il concetto di “*transition*” or “*growth curve*” (SOPHOCLEUS, 2002) per un sistema omogeneo, bidimensionale e isotropo.

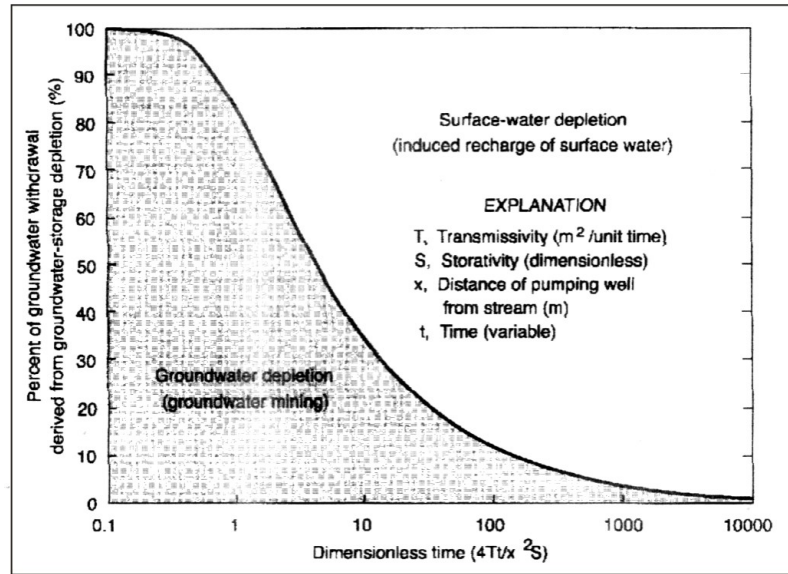


FIGURA 11.11 – (modificato da BALLEAU, 1988).

Nella FIGURA 11.11 si riporta un grafico in cui viene messa in relazione la percentuale di acqua prelevata direttamente dallo “storage” dell’acquifero in funzione del tempo adimensionale t^* , che si calcola applicando l’equazione di GLOVER (1974):

$$t^* = ut \quad [11.8]$$

con:

$$u = \frac{(x^2 S / 4T)}{t} = \frac{t^*}{t} \quad [11.9]$$

dove:

x^2 = distanza del pozzo dal corso d’acqua (m);

S = coefficiente di immagazzinamento (adimensionale);

T = trasmissività (m^2/s);

t = tempo (s).

Risulta importante dunque riuscire a definire la distanza del pozzo dal fiume (x), per far sì che le acque sotterranee prelevate derivino dallo “storage” dell’acquifero piuttosto che dal deflusso in alveo. Per questo motivo i prelievi devono, per quanto possibile essere limitati e ubicati più lontano possibile dalle zone di “natural discharge”.

È stata quindi applicata l’equazione [11.9] al caso del fiume Marta.

Il termine u è stato posto uguale a 0.001 in quanto dal grafico della “funzione pozzo ($W(u)$)” di THEIS (1935; FIG. 11.12) risulta che per questi valori della variabile u , $W(u)$ non ha più variazioni rilevanti. In altri termini per valori di $u > 0.001$ l’abbassamento

piezometrico di un pozzo non è più significativo nel tempo, essendo la variabile u funzione del tempo come indicato nella [11.9].

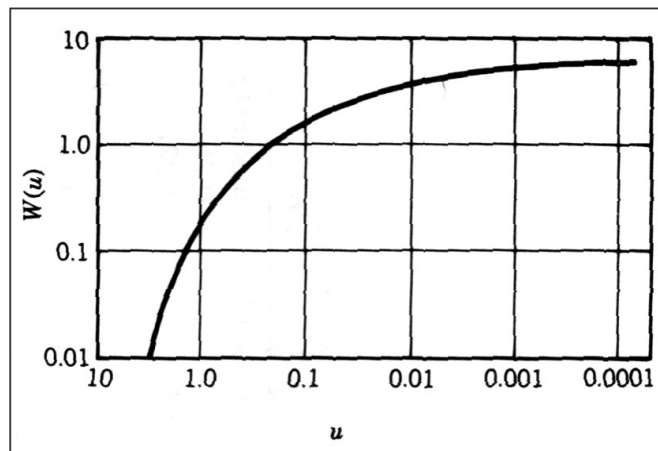


FIGURA 11.12 – Curva di THEIS (1935).

Conducendo poi un'analisi parametrica degli altri termini contenuti nell'equazione [11.9] è possibile individuare la distanza pozzo-fiume, affinché il pompaggio non influenzi direttamente la portata del fiume ma piuttosto incida sullo “*storage*” dell'acquifero.

In particolare sono state adottate le seguenti simulazioni dei parametri:

$t = 153$ giorni, ipotizzando un pompaggio continuo dai pozzi irrigui dal mese di Maggio a Settembre, rappresentando questo intervallo un periodo di deficit tra evapotraspirazione potenziale e reale (PISTONI, 2004).

$T = 10^{-2}$ - 10^{-3} m²/s, intervallo di valori ricavato per aree di recapito del sistema acquifero cimino-vicano (BAIOCCHI *et alii*, 2006).

$S = 10^{-3}$ - 10^{-4} , intervallo di valori ricavati da prove di pompaggio nell'intorno di Viterbo (PISCOPO *et alii*, 2005; PISCOPO *et alii*, 2006; BAIOCCHI *et alii*, 2006; BAIOCCHI *et alii*, 2007).

Si trova dall'applicazione della [11.9] un intervallo di x compreso tra 230 m e 2300 m; pertanto, posizionando i pozzi ad una distanza dal fiume superiore a 2300 m, si può parlare di un pompaggio localmente sostenibile.

Il discorso cambia se si tiene conto dei prelievi ad uso potabile. L'ubicazione dei pozzi dovrebbe essere stabilita applicando la stessa formula di GLOVER (1974), ma considerando un tempo di 365 giorni all'anno, essendo continui i prelievi potabili nel corso dell'anno. Nel caso in esame però i prelievi potabili sono ridotti (circa 5×10^6 m³/anno) e quelli censiti sono ubicati a giusta distanza dal fiume Marta. Inoltre

le acque prelevate risultano ritornare nel fiume, anche se qualitativamente degradate, ma non rappresentano una perdita netta dal sistema.

Per le considerazioni fino qui riportare pesano però delle incertezze di carattere generale, legate alla mancanza di dati specifici.

Si sottolinea l'importanza di intervenire nel tratto del fiume Marta sotteso fino alla centrale di La Fioritella, essendo compromesse le condizioni in termini qualitativi e quantitativi delle acque superficiali, realtà questa confermata dai notevoli studi sulla qualità biologica delle acque e anche dalle misure della portata in alveo.

I prelievi irrigui stimati per il bacino idrografico del fiume Marta possono essere considerati sostenibili a scala di bacino, tenendo conto però del fatto che i prelievi sono stati determinati attraverso metodi indiretti. Per questo sarebbe necessario definire e quantificare con maggior dettaglio i prelievi di acque sotterranee, proponendo una specifica verifica a scala locale.

Viene proposta quindi una fascia di rispetto per l'ubicazione dei pozzi, che nel caso in esame del fiume Marta rientra dai 230 m ai 2300 m dal corso d'acqua. Tale intervallo è stato però definito utilizzando parametri, come la trasmissività e il coefficiente di immagazzinamento, che non sono esclusivi del caso in esame ma che si adattano in modo significativo all'acquifero vulcanico del Marta. I risultati ottenuti però risultano cautelativi, essendo consigliata una distanza di almeno 2300 m per la fascia di protezione dei rapporti falda-fiume.

L'analisi condotta evidenzia la necessità di proporre un monitoraggio della sostenibilità dei prelievi dal fiume e dal bacino idrografico, che andrebbe impostato principalmente sul valore delle uscite residuali dal sistema (*Ore*), che nel caso in esame corrispondono alle portate fluviali. Il monitoraggio delle uscite residuali è fondamentale per interpretare anche le eventuali variazioni piezometriche nel tempo, in quanto un trend di abbassamento piezometrico, come quello segnalato in alcune zone dell'area in esame (AA. VV., 2006), potrebbe anche indicare solo una riduzione del “*sustainable storage*” per il raggiungimento di un nuovo equilibrio sostenibile.

CONCLUSIONI

Il lavoro condotto ha riguardato principalmente l'analisi dei rapporti tra acque sotterranee e superficiali dei fiumi Marta e Mignone e le relative implicazioni di tali conoscenze nell'approccio della definizione del deflusso minimo vitale, inquadrato nella gestione sostenibile delle risorse idriche.

I risultati così raggiunti possono essere suddivisi in due categorie: quelli di carattere "locale", riferiti allo studio dei casi esaminati e quelli di carattere "generale", considerando le conclusioni guadagnate dalle esperienze specifiche.

I risultati specifici per le due realtà territoriali possono essere schematizzate come di seguito.

- L'influenza della regolazione della portata attraverso le paratoie all'incile del lago di Bolsena condiziona l'entità dei deflussi in alveo del fiume Marta, soprattutto nel suo alto corso. La presenza degli sbarramenti delle centrali, ubicati anche a distanza ridotta l'uno dall'altro, altera la qualità e il regime del fiume, come confermato dalle pessime classi di qualità delle acque superficiali e dalla ridotta portata residua lasciata in alveo dalle centrali. Il fiume Marta risulta alimentato dalla falda in corrispondenza della confluenza con il torrente Traponzo e gli incrementi di portata registrati in questo tratto permettono una buona ripresa qualitativa. Per il fiume Mignone la situazione è completamente diversa, legata soprattutto alla presenza di soli due sbarramenti, uno idropotabile a metà corso e uno irriguo in prossimità della foce. Il basso impatto antropico implica buone classi di qualità delle acque e le riduzioni di portata sono legate a cause naturali e all'assetto geologico-strutturale del bacino idrografico. La relazione tra classi di qualità delle acque superficiali e portata in alveo è fondamentale per la definizione del deflusso minimo vitale.
- E' stato stimato il deflusso minimo vitale relativamente ad alcune sezioni d'alveo interessate da derivazione idroelettrica: tre lungo l'asta principale del fiume Marta (Ponte Cartiera, Centrale Fioritella e Centrale Traponzo) e due sul Mignone (a Rota e in località le Mole). Per entrambi sono stati utilizzati gli stessi metodi e sono stati così ottenuti degli intervalli di valori relativi alle portate minime vitali da rilasciare in alveo a valle delle suddette sezioni. La portata minima vitale a Ponte Cartiera e a Centrale Fioritella variano da circa

0.2 m³/s a circa 1.1 m³/s. Per la stazione di Centrale Traponzo sono stati trovati valori variabili da 0.7 m³/s a 3.3 m³/s. Sul Mignone la portata minima vitale a Rota oscilla da 0.2 m³/s a 0.6 m³/s, mentre in località le Mole è stato possibile applicare solo un metodo, ricavando un valore di deflusso minimo vitale pari a 0.8 m³/s.

Nel caso del fiume Marta, i valori ottenuti deflusso minimo vitale, se confrontati con le effettive portate rilasciate, sembrano testimoniare una situazione estremamente compromessa per la Centrale Fioritella, poiché il deflusso rilasciato, così come è risultato anche dalle misure negli anni 2004-2005, è decisamente inferiore rispetto all'intervallo indicativo di valori calcolati di portata minima vitale. Alla stazione Centrale Traponzo, invece, è stata registrata una situazione migliore, se si fa riferimento ancora ai dati misurati nel corso del 2004-2005, poichè nell'alveo naturale, almeno nella stagione di piena, venivano rilasciate portate adeguate all'intervallo indicativo di deflusso minimo stimato. Tale "miglioramento" è dovuto anche all'apporto delle acque del torrente Traponzo che, come è emerso dallo schema idrogeologico, costituisce uno dei principali recapiti dell'acquifero vulcanico del bacino. Per il Mignone i valori di portata minima vitale trovati risultano compatibili con le portate misurate in alveo.

I risultati di carattere generale che scaturiscono dallo studio possono essere sintetizzati come di seguito.

- Nei casi esaminati per la stima del deflusso minimo vitale sono stati selezionati alcuni tra i metodi maggiormente utilizzati in letteratura. L'applicazione di tali metodi ha portato a risultati differenti, sulla base dei diversi parametri presi in considerazione. La definizione della portata minima vitale, dunque, non genera un risultato univoco, anche se applicata a una medesima sezione d'alveo. Ciò è imputabile all'esigenza di dover utilizzare dei criteri di stima che siano facilmente applicabili a contesti più ampi rispetto al singolo bacino imbrifero. L'esigenza di "regionalizzare" tali criteri di stima non sempre tiene conto delle peculiarità caratteristiche di ciascun sistema idrogeologico, quali la naturale variabilità stagionale delle portate fluviali, le potenzialità idriche del sistema e i rapporti tra acque superficiali e acque sotterranee. Risulta quindi necessario ampliare l'analisi a scala di bacino, tenendo conto di tutte le interazioni e di tutte le componenti del sistema di riferimento.

- Il deflusso minimo vitale non può essere stimato facendo riferimento solo ad un valore medio annuo di portata registrata in una particolare sezione d'alveo, portata calcolata attraverso dati di serie storiche che non tengono conto delle variazioni dovute ai prelievi a monte della stazione di misura e nella maggior parte dei casi lontano dalla situazione idrogeologica attuale. Questo comporta problemi nell'individuare la giusta portata naturale da utilizzare nel calcolo del deflusso minimo vitale, sottolineando la necessità di introdurre un adeguato monitoraggio delle portate in alveo.
- L'esperienza maturata per i bacini del fiume Marta e Mignone evidenzia che, per la valutazione delle portate minime vitali, andrebbe preso in considerazione anche il ruolo fondamentale rappresentato dalle acque sotterranee. Dunque, ai fini della gestione delle risorse idriche, sarebbe necessario non fare esclusivamente riferimento all'asta fluviale ed alla relativa portata, bensì all'intero sistema idrografico e idrogeologico. L'uso della risorsa idrica superficiale e sotterranea, che il concetto di deflusso minimo vitale cerca di razionalizzare, dovrebbe essere ridisegnato, non agendo solamente sulle derivazioni operate in alveo, ma nel contesto più ampio del bilancio idrologico del bacino.
- A titolo di esempio nel bilancio idrologico del fiume Marta, la somma di piogge, apporti dal lago e apporti di acque sotterranee deve essere pareggiata dalla somma di evapotraspirazione, infiltrazione, ruscellamento, prelievi e deflusso di base alla sezione di chiusura del bacino. In tale equazione dovrebbe essere inserito un ulteriore termine che rappresenti la portata minima vitale.
- Tutto questo va inquadrato anche nella gestione sostenibile dei prelievi dalla falda, in cui il massimo sfruttamento delle risorse deve essere compatibile con la stabilità dell'acquifero. Il quantitativo e l'ubicazione dei prelievi richiede una giusta gestione che tenga conto però della realtà idrogeologica del corso d'acqua, legata innanzitutto alle variazioni stagionali di portata e ai rapporti con la falda e, le necessità ecologiche del fiume, in relazione anche all'uso idropotabile o irriguo delle acque superficiali. Tutto questo, insieme alla determinazione del deflusso minimo vitale, va impostato e calibrato sulla base del bilancio idrologico del bacino idrografico, unità più significativa per la valutazione del "*water management*".

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare tutte le persone che con la loro disponibilità e competenza hanno reso possibile lo svolgimento di questo lavoro di tesi.

- L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (A.P.A.T.) nella persona del Dr. Claudio Campobasso, per aver messo a disposizione i dati dei pozzi.
- Il Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.) nella persona della Dott.ssa Cristina Pompei, per i dati pluvio-termometrici e idrometrografici relativi alle aree di ricerca.
- L'autorità di Ambito Territoriale Ottimale 1, nella persona dell'Ing. Giancarlo Daniele, per aver fornito le informazioni sulle opere di captazione della provincia di Viterbo.
- La Dott.ssa Francesca Lotti, amica e collega, per il suo aiuto continuo e indispensabile in questo lavoro.
- La Dott.ssa Ilaria Rocchetti per avermi accompagnato nelle campagne di misura delle portate e per il suo contributo nella cartografia ed elaborazioni dei dati.
- Il Prof. Vincenzo Piscopo, per essermi stato sempre vicino, come persona e come professore.

Inoltre con affetto desidero ringraziare tutti coloro che, al di fuori della stesura della tesi, in un modo o nell'altro, sono stati importanti.

- *La mia famiglia, mamma, papà, Andrea e Federica, perché, pur non avendo ancora capito l'argomento del mio lavoro, si sono sempre dimostrati orgogliosi di me.*
- *La mia amica Martina, per la sua preziosa compagnia, per avermi ascoltato in qualsiasi momento, per avermi rimproverato quando stavo per cedere e per avermi "raccolto" e "salvato" dopo essermi "smarrita".*
- *Tutti i miei amici e amiche, il cui elenco sarebbe troppo lungo, che riempiono la mia vita e mi fanno sentire "giovane".*
- *Il mio cane Forte, per il suo innaturale e insostituibile amore dal primo anno di università.*
- *Tutti i dipendenti del ristorante "Enoteca la Torre" ed il proprietario Carlo Zucchetti, per essere stata la mia seconda casa e famiglia negli ultimi sei anni, per avermi accolto sempre e non solo per lavorare e...per aver permesso che io pagassi l'affitto in tutti questi anni.*
- *E infine Emiliano...perché lui c'era all'inizio...e c'è ancora...e forse ci sarà sempre...*

BIBLIOGRAFIA

ABBATE E. & SAGRI M. (1970) – “*Development of the Northern Appennines geosyncline - The eugeosynclinal sequences*”, Sedimentary Geology, Elsevier, 4, pp. 251-340.

ALBERTI A., BERTINI M., DEL BONO G. L., NAPPI G. & SALVATI L. (1970) – “*Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 136 – Tuscania – Foglio 142 – Civitavecchia*”, Servizio Geologico d'Italia.

ARNOLD D. J. & KEITH D. E. (1976) – “*A simple continuous-flow respirometer for comparative respiratory changes in medium-sized aquatic organism*” Water Res., 10, pp. 261-264.

AURISICCHIO C., NAPPI G., RENZULLI A. & SANTI P. (1992) – “*Mineral chemistry, glass composition and magma fractionation of the welded ignimbrite in the Civitella d'Agliano Formation, Vulsini Volcanic District*”, Mineralogica et petrographica Acta, 35, pp. 157-182.

AUTORITÀ DEI BACINI REGIONALI (1998) – “*ST9, Disponibilità idriche superficiali e minimi vitali, Relazione Generale*”, Regione Lazio, Assessorato alle Opere e Reti di Servizi e Mobilità.

AUTORITÀ DI BACINO PILOTA DEL FIUME SERCHIO (2002) – “*Criteri per la definizione del Deflusso Minimo Vitale nel Bacino del Fiume Serchio (Legge 183/89, D.Lgs. 275/93, legge 36/94, D.Lgs. 152/99)*” Delibera del Comitato Istituzionale n. 121 del 1 Agosto 2002.

AA. VV. (1901) – “*Carta Idrografica d'Italia. Fiume Marta e Lago di Bolsena. Torrente Mignone e altri minori fra il Marta ed il Tevere*”, Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, Tipografia Nazionale di G. Bertero e C., 1901.

AA. VV. (1990) – “*Guide Geologiche Regionali – Lazio*”, a cura della Società Geologica Italiana.

AA. VV. (1998) – “*Disponibilità idriche superficiali e minimi vitali, Relazione Generale*”, Autorità dei Bacini Regionali, Regione Lazio.

AA. VV. (2002) – “*Relazione sullo Stato dell’Ambiente della Provincia di Viterbo*”, EMAS, Assessorato Ambiente & Provincia di Viterbo, Dicembre 2003.

AA. VV. (2003) – “*Seconda relazione sullo Stato dell’Ambiente della Provincia di Viterbo*”, EMAS, Assessorato Ambiente & Provincia di Viterbo, Dicembre 2003.

AA. VV. (2005) – “*Rapporto sullo stato dell’Ambiente, anno 2006*”, Provincia di Viterbo, IGEAM e Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio, Settembre 2006.

AA. VV. (2005) – “*L’indice di funzionalità Fluviale nei principali corsi d’acqua della provincia di Viterbo*”, EMAS, Provincia di Viterbo, APAT e Istituto Superiore di Sanità.

BAIOCCHI A. (2002) – “*Lineamenti idrogeologici e problematiche di vulnerabilità all’inquinamento delle acque sotterranee del settore settentrionale del distretto Cimino*”, tesi di laurea, Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di SS. MM. FF. NN., Corso di Laurea Scienze Ambientali, Anno Accademico 2001-2002.

BAIOCCHI A., CHIOCCHINI U., MADONNA S. & PISCOPO V (2004) – “*Idrogeologia della città di Viterbo*”, in “*La geologia della città di Viterbo*”, Studi e Ricerche degli Studi della Tuscia, Volume 1, curatore Chiocchini U., Roma, Novembre 2006.

BAIOCCHI A., LOTTI F., PISCOPO V., CHIOCCHINI U., MADONNA S. & MANNA F. (2007) – “*Hydraulic interactions between aquifers in the Viterbo area (Central Italy)*”, in *Urban Groundwater-Meeting the Challenge*, ed. K. W. F. Howard, Taylor & Francis, pp. 223-238, Londra.

BAIOCCHI A., DRAGONI W., LOTTI F., LUZZI G. & PISCOPO V. (2006) – “*Outline of the hydrogeology of the Cimino and Vico volcanic area and of the interaction between groundwater and Lake Vico (Lazio Region, Central Italy)*”, Boll. Soc. Geol. It., pp. 187-202.

BALDI P., DECANDIA F. A., LAZZAROTTO A., CALAMAI A. (1974) – “*Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano*”, Mem. Soc. Geol. It, vol. 13, pp. 575-606, Roma.

BALLEAU W. P. (1988) – “*Water approximation and transfer in a general hydrogeologic system*”, Nat Resour J. 29 (2), pp. 269-291.

BARBANTI L. & CAROLLO A. (1966) – “*Lago di Bolsena: rilevamento batimetrico e note morfologiche*”, Mem. Ist. It. Idrobiol., Verbania Pallanza, 20, pp. 133-151.

BARBERI F., INNOCENTI F., LANDI P., ROSSI U., SAITTA M., SANTACROCE R. & VILLA I. M. (1984) – “*The evolution of Latera caldera (central Italy) in the light of subsurface data*”, Bull. Volcanol., 47, pp. 125-141.

BARNES B. S. (1939) – “*Structures of discharge recession curves*”, Trans. Amer. Geophys. Union, Vol. 20.

BAXTER G. (1961) – “*River utilization and preservation of migratory fish life*”, Proc. Inst. Civ. Eng., pp.225-244.

BERTAGNINI A. & SBRANA A. (1986) – “*Il vulcano di Vico: stratigrafia del complesso vulcanico e sequenze eruttive delle formazioni piroclastiche*”, Mem. Soc. Geol. It, vol. 35, pp. 699-713.

BERTINI M., D'AMICO C., DERIU M., TAGLIAVINI S. & VERNIA L. (1971 a) – “*Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 137 – Viterbo*”, Servizio Geologico d'Italia.

BERTINI M., D'AMICO C., DERIU M., TAGLIAVINI S. & VERNIA L. (1971 b) – “*Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 143 – Bracciano*”, Servizio Geologico d'Italia.

BINNS N. A. (1979) – “*A Habitat Quality Index for Wyoming trout Streams*”, Fishery Research Report, Monograph Series, n° 2, Wyoming Game and Fish Department, pp. 75.

BINNS N. A. & EISERMAN F. M. (1979) – “*Quantification of fluvial trout habitat in Wyoming*”, Transaction of the American Fisheries Society 108, pp. 215-228.

BINNS N. A. (1982) – “*Habitat Quality Index Procedures Manual*”, Wyoming Game and Fish Department, pp. 209.

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

BONO P. (1993) – “*Risorse idriche società geologica italiana*”, Guide Geologiche Regionali, 5, pp. 81-88.

BOVEE K. D. (1982) – “*A guide to streams habitat analysis using instream incremental methodology*”, Instream Flow Information Paper 12, U.S.D.I. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, FWS/OBS-82/26, pp. 248.

BOVEE K. D. (1996) – “*The compleat IFIM: A Coursebook for IF*”, pp. 250-256.

BOVEE K. D. (1997) – “*Studio dei deflussi minimi mediante metodi sperimentali*” Atti del convegno nazionale sul Deflusso Minimo Vitale (A.G.A.C.), Reggio Emilia, Marzo 1997.

BRUNI P. (2005) – “*L'inverno limnologico del lago di Bolsena, 2004-2005*”, Associazione Lago di Bolsena.

BRUNKE M. & GONSER T. (1997) – “*The ecological significance of exchange processes rivers and ground-water*“, *Freshwater Biology* 37, pp. 1-33.

BUFFO M. (1998) – “*Il deflusso minimo vitale. Normative nazionali ed internazionali e criteri di valutazione*“, *L'ingegneria naturalistica nella sistemazione dei corsi d'acqua*, Atti del corso di aggiornamento, pp. 373-398.

BUONASORTE G., CATALDI R., CECCARELLI A., COSTANTINI A., D'OFFIZI S., LAZZAROTTO A., RIDOLFI A., BALDI P., BORELLI A., BERTINI G., BERTRAMI R., CALAMAI A., CAMELI G., CORSI R., D'ACQUINO C., FIORELLI A., GREZZO A. & LOVARI F. (1988) – “*Ricerca ed esplorazione nell'area geotermica di Torre Alfina (Lazio – Umbria)*“, *Boll. Soc. Geol. It.*, 107, pp. 265-337.

BUSATTI L. (1887) – “*Sulla trachite della Tolfa*“, *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. (Proc. Verb.)*, vol. 5, pp. 96-99, Pisa.

CALAMAI A., CATALDI R., LOCARDI E. & PRATURLON A. (1976) – “*Distribuzione delle anomalie geotermiche nella fascia preappenninica Tosco-Laziale (Italia)*“, *International Congress of Geothermal Energy, Guatemala, September 1976*.

CALENDA G. & UBERTINI L. (1993) – “*Gestione integrate degli invasi e definizione del minimo vitale*“, *Autorità di Bacino del Fiume Tevere, rapporto interno*.

CALENDA G., MANCINI C. P. & MARCELLO A. (2000) – “*Assessing instream flow needs for fish life in the regional basins of Regione Lazio, Italy*“, *Water Resources Management in a Vulnerable Environment for Sustainable Development*, K. Andah ed., Grifo Publishers, Perugia, pp. 167-183.

CANTONI S. (1997) – “*Caratteristiche idrogeologiche e modellizzazione del lago di Bracciano*“, *Tesi, Università degli Studi di Perugia*, pp. 123.

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*”, Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, pp. 78, Pitagora Editrice Bologna.

CASADEI S. (1995) – “*Analisi dell'indice del deflusso di base (BFI) di alcuni bacini dell'Italia Centrale*”, Idrotecnica, 3, pp. 177-191.

CASADEI S. & MANCIOLA P. (1990) – “*Flow duration curve estimation*”, Proceedings of the 21st Annual Pittsburgh Conference on Modeling and Simulation, vol. 21 part 4, School of Engineering - University of Pittsburgh, May 3-4, pp. 1467-1472.

CELICO P. (1988) – “*Prospezioni idrogeologiche*”, vol. II, Ed. Liguori, Napoli, pp. 528.

CHIOCCHINI U. & MADONNA S. (2003) – “*Geologia delle unità sedimentarie della provincia di Viterbo*”, Atti giornata di studio: “Le risorse idriche nel viterbese: salvaguardia e sviluppo sostenibile”, Università degli Studi della Tuscia, pp. 6-81.

CIABATTI M. (1982) – “*Elementi di idrologia superficiale*”, Cooperativa Libreria Universitaria Ed. Bologna, pp. 230.

CICCACCI S., FREDI P., LUPA PALMIERI E. & PUGLIESE F. (1980) – “*Contributo dell'analisi geomorfologica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*”, Bollettino della Società Geologica Italiana, 99, pp. 445-516.

CIVITA M. (2005) – “*Idrogeologia applicata e ambientale*”, Casa Ed. Ambrosiana, Milano, pp. 794

CIVITELLI G. & CORDA L. (1993) – “*The Allochthonus Succession*”, CNR Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, pp. 9-28.

COLTORTI M., DI BATTISTINI G., NAPPI G., RENZULLI A. & ZEDA O. (1991) – “*Structural setting and magmatic evolution of Montefiascone Volcanic Complex, Vulsini District (Central Italy)*”, Journ. Volcanol. Geoth. Res., pp. 46.

COMMISSIONE EUROPEA (2000) – “*Programma Europeo Corine, Coordination of Information of the Environment*”, Sottoprogetto “Land Cover”, Scala 1: 100.000.

COPERTINO V. A., DE VINCENZO A., TEDESCA V., & RIPARELLI R. (1997) – “*Il deflusso minimo vitale negli alvei alluvionali larghi*”, Giornate di studio in onore del prof. Edoardo Orabona nel centenario della nascita, Bari, 1997.

CROSA G., COTTA RAMUSINO M. & MARCHETTI R. (1988) – “*Determinazione delle portate minime necessarie per la tutela della vita acquatica in corsi d'acqua soggetti a derivazioni o ritenute*”, *Acqua-Aria*, (1988), n. 7, pp. 893-850.

COCHNAUER T. (1976) – “*Instream flow techiques for large rivers, in Orsborn*” J.F. and C.H. Allman, Editors, 1976. Instream flow needs, Western Division, American Fisheries Society, volume 2, pp. 387-400, Bethesda, Maryland, USA.

COLLINGS M. R. (1974) – “*Generalization of spanwing and rearing discharges for several Pacific salmon species in western Washington*”, Open File Rep. U.S. Geological Survey, Tacoma.

COWX I. G. & WELCOMME R. L. (1998) – “*Rehabilitation of Rivers for Fish*”, Oxford: Fishing Nexs Books, Blackwell Science, pp. 204.

CUNDARI A. & VENTRIGLIA U. (1963) – “*Apparati vulcanici Cimino, Vico, Sabatino e Cerite. Direzione della magnetizzazione*”, *Boll. Vulc.*, vol. 25, pp. 367-371, Napoli.

DE BOSNASKI S. (1881) – “*L'età geologica dei monti della Tolfa*”, *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. (Prov. Verb.)*, vol 2, Pisa.

DE FELICE A. M. & DRAGONI W. (1991) – “*Studio idrogeologico di un bacino sulla Marnoso-Arenacea*”, *Atti 1° Conv. Naz. Giov. Ricerc. Geol. Appl.*, 22-23 ottobre 1991, Gargnano (BS), *Ricerca Scientifica ed Eduazione Permanente, Suppl.*, 93, pp. 347-356.

DE RITA D., FUNICIELLO R., ROSSI U. & SPOSATO A. (1982) – “*Strucutre and evolution of the Sacrofano Baccano caldera, Sabatini volcanic complex*”, Jour. Volc. Geoth. Res., v. 17, pp. 219-236.

DE RITA D., BERTAGNINI A., FACCENNA C., LANDI P.; ROSA C. & ZARLENGA F. (1992 a) – “*Considerazioni sull’evoluzione geologico-petrografica dell’area tolfetata e cerite*”, Studi Geol. Camerti, v. spec. 1991/2 CROP 11, pp. 369-370.

DE RITA D., BERTAGNINI A., CARBONI M. G., CICCACCI S., DI FILIPPO M., FACCENNA C., FREDI P., LANDI P.; ROSA C. & ZARLENGA F. (1992 b) – “*Evoluzione dinamica del settore tolfetano-cerite*”, Studi Geol. Camerti, v. spec. 1991/2 CROP 11, pp. 369-370.

DE Wiest J. M. (1965) – “*Geohydrology*“, John Wiley & Sons, Inc., New York-London-Sydney, pp. 366.

DRAGONI W. & VALIGI D. (1991) – “*Piene sulla “marnoso-arenacea” umbra: risultati preliminari*“, Atti del 1° Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, pp. 367-376.

DRAGONI W. (1998) – “*Some considerations on climatic changes, water resources and water needs in the Italic region south of the 43°N.*”, In “Water, Environment and Society in Times of Climatic Change”, Brown N., Issar A. Editors, Kluwer (NL), pp. 241-271.

DRAGONI W., EVANGELISTI C., GNUCCI L. & VALIGI G. (2002) – “*Impact of climatic variations on the Bolsena lake*”, International Conference: Residence Time in Lakes: Science, Management, Education, Bolsena, 29 september-3 october, 2002, pp. 182-186.

DRAGONI W., LOTTI F., PISCOPO V. & SIBI A. (2002) – “*Bilancio idrogeologico del lago di Vico*“, International Conference “Residence Times in Lakes: Science, Management, Education”, Regione Lazio, Provincia di Viterbo Assessorato Ambiente, Comune di Bolsena, Università degli Studi della Tuscia, pp. 96-104.

DUCHI V., MATASSONI L., TASSI F. & NISI B. (2003) – “*Studio Geochimico dei fluidi (acque e gas) circolanti nella regione vulcanica dei monti Vulsini (Italia centrale)*”, Boll. Soc. Geol. It. 122, pp. 47-61.

EPRI (1996) – “*An Individual – Based Instream Flow Model for Coexisting Populations of Brown and Rainbow Trout*”, Tr – 106258, Interim Report, March 1996.

EVANS W. & COOK P. (2002) – “*What is a sustainable yield for Australia’s groundwater systems?*”, Intl. Asso. Hydrogeologists Darwin Conference: balancing the groundwater budget, Darwin May 12-17, 2002.

FAZZINI P., GERMINI R., MANTOVANI M. P. & PELLEGRINI M. (1972) – “*Geologia dei Monti della Tolfe (Lazio Settentrionale; Prov. di Roma e Viterbo)*”, Mem. Soc. Geol. It., v. 11, pp. 65-144.

FREEZE R. (1971) – “*Three-dimensional, transient, saturated – unsaturated flow in a groundwater basin*”, Water Resour Res 7, pp. 347-366.

GARCIA DE JALÓN D. (2003) – “*The Spanish Experience in Determining Minimum Flow Regimes in Regular Streams*”, Canadian Water resources Journal, vol. 28, n° 2, pp. 185-198.

GHETTI P. F. & BONAZZI G. (1981) – “*I macroinvertebrati nella sorveglianza ecologica dei corsi d’acqua*”, Collana del Progetto Finalizzato “Promozione della Qualità dell’Ambiente”, CNR AQ/1/127.

GHETTI P. F. (1986) – “*I macroinvertebrati nell’analisi di qualità dei corsi d’acqua*”, manuale di applicazione Indice Biotico E.B.I. modificato, Provincia Autonoma di Trento, Stazione Sperimentale Agraria Forestale, Servizio protezione Ambiente, Trento.

GHETTI P. F. (1993) – “*Manuale per la difesa dei fiumi*”, Ed. Fondazioni Giovanni Agnelli, Torino.

GHETTI P. F. (1995) – “*Indice Biotico Esteso (I.B.E.)*“, Notiziario dei Metodi Analitici, IRSA (CNR), ISSN 1425, pp. 1-24.

GHETTI P. F. (1997) – “*Manuale di applicazione: Indice Biotico Esteso (I.B.E.). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti*“, provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per la protezione dell’Ambiente.

GLOVER R. E. (1974) – “*Transient groundwater hydraulics*“, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, reprinted in 1985 by Water Resources Publications, High-lands Ranch.

GUMBEL E. J. (1958) – “*Statistics of exstremes*“, Columbia University Press, New York, pp. 375.

HOPE R. A. (1976) – “*Minimum streamflows fish*“, Hydrology Workshop U.S.

HORTON R. E. (1945) – “*Erosional development of stream and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology*“, Geological Society of America Bulletin, 56, pp. 275-370.

KALF F.R.P. & WOOLLEY, D.R. (2005) – “*Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems*“, Hydrogeology Journal, Clifford Voss Executive Editor, Volume 13, number 1, March 2005.

LA TORRE P., NANNINI R., SOLLEVANTI F. (1981) – “*Geothermal exploration in central Italy: geophysical surveys in Cimini Range area*“, 43th Meeting European Association of Exploration Geophysicists, 26-29 Maggio 1981, Venezia.

LACHAT B. (1994) – “*Watercourses: conservation, maintenance and management*“, strasbourg, Council of Europe press, pp. 1-84.

LOCARDI E. (1965) – “*Tipi ignimbrici di magmi mediterranei: le ignimbriti del vulcano di Vico*“, Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. A72, pp. 55-174.

LOCARDI E., LOMBARDI G., FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1976) – “*I principali gruppi vulcanici del Lazio: relazioni tra l’evoluzione strutturale e la petrogenesi*“, *Geologica Romana*, 15, pp. 279-300.

LUZZI G. (2004)– *Modello di simulazione numerica dell’acquifero cimino-vicano come strumento di gestione delle risorse idriche sotterranee*, tesi di laurea, Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di SS. MM. FF. NN., Corso di Laurea Scienze Ambientali, Anno Accademico 2003-2004.

LOVOVITCH M. I. (1972) – “*Hydrologic budget of continents and estimate of balance of balance of global fresh water resources*“, *Soviet Hydrology*, vol. 4, pp. 360-439.

MAILLET E. (1905) – “*Essais d’hydraulique souterraine et fluviale*“, Lib. Scient. Herman, Paris.

MAIONE U. & MOISELLO U. (1981) – “*Appunti di idrologia 1. Introduzione alle elaborazioni statistiche*“, La Goliardica Pavese, 1981.

MANCINI L. & ARCÀ G. (2000) – “*Carta della Qualità Biologica dei corsi d’acqua della Regione Lazio*“, Istituto Superiore di Sanità e Regione Lazio, Novembre 2000.

MANCIOLA P. & CASADEI S. (1991) – “*Low Flow Index and Hydrogeological Characteristics*“, American Society of Civil Engineers, Proceedings of the 1991, National Conference on Hydraulic Engineering, pp. 930-936, Nashville, Tennessee, July 29 - Aug 2.

MANCIOLA P. (1996) – “*Minimo vitale e sua determinazione in sezione non strumentate*“, Atti del convegno nazionale “Verso la razionale utilizzazione delle risorse idriche: dalla legge 198/89 alla 36/94”, pp. 97-115.

MARUFFI G. (1972) – “*Il basamento impermeabile della regione vulcanica dei monti Cimini, ricostruzione mediante prospezione geoelettrica*“, in “*Boll. Soc. Geol.*” It., vol. 91, pp. 195-206, Roma.

MATTHEWS R. A., BUIKEMA A. L. JR., CAIRNS JR. & RODGERS J. H., (1982) – “*Biological monitoring*”, Part II A-Receiving System Functional Methods, Relationships and Indices, Water Res., 16, pp. 129-139.

MATTHIAS P. P. (1968) – “*Carta geologica della regione vulcanica dei Monti Sabatini e Cimini*”, L.A.C., Firenze.

MATTHIAS P.P. & VENTRIGLIA U. (1970) – “*La regione vulcanica dei monti Sabatini e Cimini*“, Mem. Soc. Geol. It., 9, pp. 331-384.

MATTIOLI M. (1992) – “*Ricostruzione stratigrafica del Distretto Vulcanico Vulsino. Le eruzioni pliniane dei complessi di Bolsena, Latera e Montefiascone. Elaborazione dei dati e restituzione grafica computerizzata*”, Tesi, Università degli Studi di Urbino.

MC NICOL R. E. & SCHERER E. (1985) – “*A system for recording and analyzing macroinvertebrate behaviour in laboratory stream channels*”, Can. Tech. Rep. Fish. Aquat., pp. 1321-1336.

METZELTIN S. & VEZZOLI L. (1983) – “*Contributi alla geologia del vulcano di Latera (Monti Vulsini, Toscana meridionale-Lazio settentrionale)*”, Mem. Soc. Geol. It., 25, pp. 247-271.

MILHOUS R. T., UPDIKE M. A. & SCHNEIDER D. M. (1989) – “*Physical habitat simulation reference manual – Version II*”, Instream Flow Paper 25, U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 89 (16).

MOISELLO U. (1985) – “*Grandezze e fenomeni idrologici*”, La Goliardina Pavese Ed.

NAPPI G. (1969) – “*Genesi ed evoluzione della caldera di Latera*“, Boll. Serv. Geol. D'It., 90, pp. 61-68.

NAPPI G. (1985) – “*Stratigraphy and eruptive mechanism of the East Vulsini Volcanoes*“, IAVCEI Scientific Assembly. Giardini Naxos (Abstract).

NAPPI G. & MARINI A. (1986) – “*I cicli eruttivi dei Vulsini Orientali nell’ambito della vulcanotettonica del complesso*“, Mem. Soc. Geol. It., 35, pp. 679-687.

NAPPI G. (1991) – “*Guida all’escursione sui depositi piroclastici del Distretto Vulcanico Vulsino*“, Università degli Studi di Urbino.

NAPPI G., RENZULLI A. & SANTI P. (1991) – “*Evidence of incremental growth in the Vulsinian calderas (Central Italy)*“, J. Volcanol. Geotherm. Res., 47, pp. 13-31.

NAPPI G., CAPACCIONI B., RENZULLI A., SANTI P. & VALENTINI L. (1994 a) – “*Stratigraphy of the Orvieto-Bagnoregio Ignimbrite eruption (Eastern Vulsini District, Central Italy)*“, Mem. Descr. Carta Geol. D’It., 49, pp. 241-254.

NAPPI G., CAPACCIONI B., MATTIOLI M., MANCINI E. & VALENTINI L. (1994 b) – “*Plinian fall deposits from Vulsini Volcanic District (Central Italy)*“, Bull. Volcanol., 56, pp. 502-515.

NAPPI G., RENZULLI A., SANTI P. & GILLOT P. Y. (1995) – “*Geological evolution and geochronology of the Vulsini Volcanic District (Central Italy)*“, Boll. Soc. Geol. It., 114, pp. 599-613.

NEGRETTI G. C. & MORBIDELLI L. (1965) – “*Studio geopedografico del complesso vulcanico Tolfetano – Cerite (Lazio). III – Le manifestazioni vulcaniche acide del settore Cerite*“, Atti Ist. Di Petrogr. Di Roma, pp. 1-91, Roma.

NEGRETTI G. C., LOMBARDI G. & MORBIDELLI L. (1966) – “*Studio geopedografico del complesso vulcanico Tolfetano – Cerite (Lazio). IV – Le manifestazioni vulcaniche acide del settore Civitavecchiese-Tolfetano*“, Atti Ist. Di Petrogr. Di Roma, pp. 1-172, Roma.

ORTH D.L. & LEONARD P.M. (1990) – “*Comparison of discharge methods and habitat optimization for recommending instream flows to protect fish habitat*”, Regulated rivers: Research and management 5(2), pp. 129-138.

PAGANO G., MENEGHINI A. & FLORIS S. (2000) – “*Bilancio idrogeologico del bacino vulsino*”, Geologia Tecnica & Ambientale, n° 3, Luglio/Settembre 2000.

PARASIEWICZ P. & SCHMUTZ S. (1997) – “*Integrità ecologica e deflusso minimo vitale*” Atti del convegno nazionale sul Deflusso Minimo Vitale (A.G.A.C.), Reggio Emilia, Marzo 1997.

PAVON U. & BRATH A. (1994) – “*Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali*” Politecnico di Milano, Atti del Corso di Aggiornamento, 10-14 Ottobre 1994, Editoriale BIOS.

PETERSEN R. C. (1992) – “*The R.C.E.: A riparian, channel, and environmental inventory for small streams in agricultural landscape*”, Freshwat, Biol. 27, pp. 295-306.

PISCOPO V., BAIOCCHI A., FANTUCCI R. & LOTTI F. (2005) – “*La risposta al pompaggio di acquiferi vulcanici: alcuni esempi delle aree napoletana e viterbese*”, Italian Journal of Engineering geology and Environment, vol 1, pp. 21-35.

PISCOPO V., BARBIERI M., MONETTI V., PAGANO G., PISTONI S., RUGGI E. & STANZIONE D. (2006) – “*Hydrogeology of the thermal waters in Viterbo area, central Italy*”, Hydrogeology Journal, 14, pp. 1508-1521.

PISTONI S. (2004) – “*Le acque termali di Viterbo: schema idrogeologico*”, tesi di laurea, Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di SS. MM. FF. NN., Corso di Laurea Scienze Ambientali, Anno Accademico 2003-2004.

PRESTINENZI M. (2005) – “*Valutazione della qualità biologica delle acque e stima del deflusso minimo vitale del medio-alto corso del fiume Marta*”, tesi di laurea, Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di SS. MM. FF. NN., Corso di Laurea Scienze Ambientali, Anno Accademico 2004-2005.

RAMBALDI A., RIZZOLI M. & VENTURINI L. (1997) – “*La valutazione delle portate minime per la vita acquatica sul Fiume Savio nei pressi di Cesena (F0)*“, Acqua Aria, pp. 99-104.

REGIONE LAZIO (2003) – “*La Rete Natura 2000 nel Lazio*“, Ass. Ambiente, Dip. Territorio, Direzione Generale e Protezione Civile.

RENOLDI M., TORRETTA R. & VISMARA R. (1995) – “*Gestione ecologica dei fiumi: il problema della portata minima vitale*“, Ingegneria Ambientale, 22 (10).

SABATINI V. (1912) – “*Classificazione delle rocce dei vulcani*“, Cimini, Boll. Soc. Geol. It., pp. 75-81.

SANTI P. (1990) – “*New geochronological data of the Vulsini Volcanic District (Central Italy)*“, Plinius, 4, pp. 91-92.

SANTORO M. (1994) – “*Relazione sul deflusso minimo vitale*“, Simposio dell'Associazione Idrotecnica Italiana su “Acqua ed Ambiente”, Napoli, 1994.

SCHNEIDER H. (1965) – “*Petrographie des Lateravulkans und die Magmentwicklung der Monti Volsini (prov. di Grosseto Viterbo und Orvieto (Italien)*“, Schw. Min. Petr. Mitt, B 45, H 1, pp. 331-455.

SIBI A. (1998) – “*Caratteristiche idrogeologiche e modellizzazione del lago di Vico*“, Tesi di Laurea A.A. 1997-1998, Università degli Studi di Perugia, Facoltà di SS. MM. FF. NN., Corso di Laurea Scienze Geologiche.

SILIGARDI M. (1990) – “*Prima applicazione di un nuovo indice di qualità dell'ambiente fluviale: I parte generale*“, in: Agenzia del Lavoro della Provincia Autonoma di Trento.

SILIGARDI M. & MAIOLINI B. (1993) “*La qualità delle acque superficiali. Criteri per la metodologia omogenea di valutazione*“, Provincia Autonoma di Trento, Atti del Convegno Internazionale, Riva del Garda.

SILIGARDI M. & MAIOLINI B. (1993) – “*L’inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d’acqua alpini. Guida all’uso della scheda Rce - 2*”, *Biologia Ambientale* n. 3, pp. 18-24.

SILIGARDI M., BERNABEI S., CAPPELLETTI C., CHIERICI E., EGADDI F., FRANCESCHINI A., MAIOLINI B., MANCINI L., MINCIARDI M.R., MONAUNI C., ROSSI G., SANSONI G., SPAGGIARI R. & ZANETTI M. (2000) “*I.F.F. indice di funzionalità fluviale*”, Manuale di applicazione, manuale A.N.P.A, Agenzia per la Protezione dell’Ambiente, Roma Novembre 2000.

SINGH K. P. & STALL J. B. (1974) – “*Hydrology of 7-day 10-yr low flow*”, *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, vol. 100, HY12, pp. 1753-1771.

SOPHOCLEOUS M. (2002) – “*Groundwater recharge*“, in: Silveira L (ed) *Encyclopedia of life support sustems*, EOLSS, Oxford.

SOLLEVANTI F. (1983) – “*Geology, volcanology and tectonic setting of the Vico – Cimini area, Italy*“, *Jour. Volc. Geol. Res.*, 17, pp. 203-217.

SPARKS R. S. J. (1975) – “*Stratigraphy and geology of the ignimbrites of Vulsini Volcano, central Italy*“, *Geol. Rundsch.*, 64, pp. 497-523.

STALNAKER C., LAMB B. L., HENRIKSEN J., BOVEE K. D. & BARTHOLOW J. (1995) – “*The Instream Flow Incremental Methodology. A Primer for IFIM*“, *Biol. Rep.* 29, U.S. Department of Interior, National Biological Service, Washington, pp. 45.

TENNANT D. L. (1976) – “*Instream fow regime fish, wildlife, recreation and related environmental resources*“, *Fisheries*, (Bethesda) 1 (4), pp. 6-10.

THEIS C. V. (1935) – “*The relation between the lowering of the piezometric surface and rate duration of discharge of a well using groundwater storage*“, *Trans. Amer. Geophys. Union*, v. 2, pp. 519-524.

THEIS C. V. (1940) – “*The source of water derived from wells; essential factors controlling the response of an acquifer to development*”, Civ. Eng. Amer. Soc. Civil Eng., pp. 277-280.

TONINI D. (1959) – “*Elementi di Idrografia ed Idrologia*“, Vol. I (1959) e Vol. II (1966), Libreria Universitaria, Venezia.

TRIGILA R., (1985) – “*Vulsini Volcanoes*”, Excursion guide book, IAVCEI Scientific Assembly.

TURC L. (1955) – “*Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle*“, Ann. Agron., Vol. 1.

UBERTINI L. (1997) – “*Studio dei deflussi minimi mediante un approccio idrologico*” Atti del convegno nazionale sul Deflusso Minimo Vitale (A.G.A.C.), Reggio Emilia, Marzo 1997.

VENANZI D. (1999) – “*Valutazione della qualità delle acque del bacino idrografico del fiume Marta: studio degli affluenti principali attraverso l'analisi della frequenza relativa de complesso esculenta e correlazione con indici di natura diversa*”, tesi di laurea, Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di SS. MM. FF. NN., Corso di Laurea Scienze Biologiche, Anno Accademico 1998-1999.

VIPARELLI R. (2000) – “*Il deflusso minimo vitale negli alvei di montagna*”, L'acqua, n. 3, pp. 91–106.

VISMARA R., RENOLDI M. & TORRETTA V. (1995) – “*Gestione ecologica dei fiumi: il problema della portata minima vitale*”, Ingegneria Ambientale, n° 22, Ottobre 1995.

VISMARA R., AZZELLINO A. & RENOLDI M. (1999) – “*Deflusso minimo Vitale: problematica ed esperienze italiane*”, Ingegneria Ambientale, vol. 28, n° 9, Settembre 1999, pp. 1-17.

VISMARA R., AZZELLINO A., BOSI R., GENTILI G., RENOLDI M. & TORRETTA V. (1999) – “*Portata Minima Vitale dei fiumi: analisi delle problematiche, delle esperienze e delle proposte*”, rapporto prodotto per il Ministero dei lavori pubblici, Direzione Generale della Difesa del Suolo, Milano, Settembre 1999.

VENTRIGLIA U. (1963) – “*Il vulcano Cimino*“, in Bull. Vulc., vol. 25, pp. 183-199, Napoli.

WESCHE T. A. (1980) – “*The WRRRI tout cover rating method: development and application*”.

WILLIAMS D. (1993) – “*Nutrient and flow vector dynamics at the hyporheic/groundwater interface and their effects on the interstitial fauna*“, Hydrobiologia 251, pp. 185-198.

WINTER T., HARVEY J., FRANKE O. & ALLEY W. (1998) – “*Groundwater and surface water, a single resource*“, US Geol. Surv. Circ. 1139.

WINTER T. (1999) – “*Relation of streams, lakes and wetlands to groundwater flow systems*“, Hydrogeol J 7, pp. 28-45.

WOODIWISS F. S. (1978) – “*Biological water assessment methods*” Seven Trent River Authorities, U.K.

VAN TONDER G.J. & VAN DER VOORT I. (2001) – “*The South African Water law: Catchment, regional and local groundwater balances*“, New Approaches Characterizing Grounwater Flow, Seiler & Wohnlich (eds), Swets & Zeitlinger Lisse, ISBN 902651 848 X.

VEZZOLI L., CONTICELLI S., INNOCENTI F., LANDI P., MANETTI P., PALLADINO P. M. & TRIGILA R. (1987) – “*Stratigraphy of the Latera Volcanic Complex: proposal for a new nomenclature*“, Per. Min., 56, pp. 89-110.