

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

**DIPARTIMENTO DI ECOLOGIA E
SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE**



DOTTORATO DI RICERCA

in

“Ecologia e Gestione delle Risorse Biologiche”

XIX Ciclo

**INTERAZIONI TRA ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI E
PROBLEMATICHE CONNESSE CON LA DETERMINAZIONE DEL
DEFLUSSO MINIMO VITALE: I CASI DEI
FIUMI MARTA E MIGNONE (LAZIO)**

GEO/05

Antonella Baiocchi

***Coordinatore
Prof. Giuseppe Nascetti
Piscopo***

***Tutor
Prof. Vincenzo***

a TOLE

perché è invincibile!!!

INDICE

RIASSUNTO	pag. 1
INTRODUZIONE	pag. 4
Capitolo 1: DEFLUSSO MINIMO VITALE	pag. 7
1.1 Il concetto di deflusso minimo vitale	pag. 7
1.1.1 Problemi relativi alla determinazione dei deflussi minimi vitali	pag. 11
1.1.2 L'impatto delle derivazioni sul sistema fluviale	pag. 12
1.2 Analisi della normativa italiana	pag. 14
• Provincia Autonoma di Trento	pag. 14
• Provincia Autonoma di Bolzano	pag. 15
• Regione Piemonte	pag. 15
• Amministrazione Provinciale di Torino	pag. 16
• La formula speditiva ambientale proposta dal DIIR, Politecnico di Milano	pag. 17
• Commissione di Studio Autorità di Bacino del Po per la Valtellina	pag. 19
• Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Magra	pag. 19
• Autorità di Bacino del Bacino Pilota del Fiume Serchio	pag. 25
• Altre Normative Italiane	pag. 28
1.4 Analisi della normativa internazionale	pag. 29
• Francia	pag. 30
• U.S.A.	pag. 30
• Altre Normative Nazionali	pag. 30
1.4.1 Obiettivi di tutela	pag. 31
1.5 Approccio metodologico al calcolo del DMV	pag. 32
1.5.1 Metodologie con risposta idrologica	pag. 36
• Formula di Matthey	pag. 38
• Metodo Montana	pag. 38
• Il Metodo del $Q_{7/10}$	pag. 40
• Metodo Durata del Deflusso	pag. 41
• Metodo di Baxter	pag. 42
1.5.2 Metodologie con risposta biologica	pag. 42
• HQI (Habitat Quality Index)	pag. 43

1.5.3 Metodologie dei microhabitat	pag. 45
• Metodo Instream Flow Incremental Methodology (IFIM o Metodologia Incrementale per il Deflusso Vitale)	pag. 46
• Tecnica del Perimetro Bagnato (Wetted Perimeter Technique)	pag. 50
• Physical Habitat SIMulation System (PHABSIM)	pag. 52
1.6 Considerazioni sui metodi in uso	pag. 53
 Capitolo 2: ASPETTI GEOLOGICI	pag. 57
2.1 Vulcanismo del Lazio	pag. 58
2.1.1 Il Distretto Cerite-Tolfetano	pag. 62
2.1.2 Il Distretto Sabatino	pag. 62
2.1.3 Il Distretto Vulsino	pag. 64
• Complesso vulcanico del Paleobolsena	pag. 67
• Complesso vulcanico del Bolsena	pag. 67
• Complesso vulcanico di Montefiascone	pag. 68
• Complesso vulcanico di Latera	pag. 69
2.1.4 Il Distretto Cimino	pag. 69
2.1.5 Il Distretto Vicano	pag. 71
2.2 Formazioni sedimentarie	pag. 73
• Successione Carbonatica Basale o Unità della Falda Toscana	pag. 74
• Complesso Alloctono (Complessi in Facies Ligure)	pag. 74
• Unità Liguridi e Australoalpine Interne	pag. 74
• Ciclo Neoautoctono	pag. 76
2.3 Assetto strutturale	pag. 81
2.4 Geologia e morfologia del bacino del Marta	pag. 84
2.5 Geologia e morfologia del bacino del Mignone	pag. 86
 Capitolo 3: CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEI BACINI E CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE	pag. 89
3.1 Individuazione del bacino idrografico	pag. 90
3.1.1 Il bacino idrografico del Fiume Marta	pag. 90
3.1.2 Il bacino idrografico del Fiume Mignone	pag. 95
3.2 Morfometria dei bacini	pag. 97

3.2.1 Il bacino idrografico del fiume Marta	pag. 98
• Area di drenaggio (A_{d-MA})	pag. 98
• Indice di lacualità (I_L)	pag. 98
• Densità di drenaggio (D_{d-MA})	pag. 99
• Curva ipsometrica e altitudine media del bacino (H_{m-MA})	pag. 101
• Pendenza media del bacino (P_{b-MA})	pag. 102
• Pendenza media del fiume (P_{f-MA})	pag. 103
• Fattore di forma (F_{f-MA})	pag. 103
3.2.2 Il bacino idrografico del fiume Mignone	pag. 104
• Area di drenaggio (A_{d-MI})	pag. 104
• Densità di drenaggio (D_{d-MI})	pag. 104
• Curva ipsometrica e altitudine media del bacino (H_{m-MI})	pag. 104
• Pendenza media del bacino (P_{b-MI})	pag. 106
• Pendenza media del fiume (P_{f-MI})	pag. 106
• Fattore di forma (F_{f-MI})	pag. 106
3.3 Alcune considerazioni geomorfologiche e morfometriche del bacino del Marta	pag. 107
• Area di drenaggio (A_d)	pag. 108
• Densità di drenaggio (D_d)	pag. 108
• Curva ipsometrica e altitudine media dei sottobacini (H_m)	pag. 108
• Pendenza media dei sottobacini (P_b)	pag. 109
• Pendenza media del fiume (P_f)	pag. 109
• Fattore di forma (F_f)	pag. 109
3.4 Alcune considerazioni geomorfologiche e morfometriche del bacino del Mignone	pag. 112

Capitolo 4: CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DEI LITOTIPI

4.1 Complessi idrogeologici del bacino del fiume Marta	pag. 116
4.1.1 Complesso alluvionale	pag. 118
4.1.2 Complesso dei travertini	pag. 120
4.1.3 Complesso piroclastico incoerente	pag. 121
4.1.4 Complesso piroclastico	pag. 122
4.1.5 Complesso lavico	pag. 127

4.1.6	Complesso argilloso-sabbioso-conglomeratico	pag. 129
4.1.7	Complesso marnoso-calcareo-arenaceo	pag. 130
4.2	Complessi idrogeologici del bacino del fiume Mignone	pag. 133
4.2.1	Complesso alluvionale	pag. 134
4.2.2	Complesso dei travertini	pag. 135
4.2.3	Complesso piroclastico incoerente	pag. 135
4.2.4	Complesso piroclastico	pag. 136
4.2.5	Complesso lavico	pag. 137
4.2.6	Complesso argilloso-sabbioso-conglomeratico	pag. 138
4.2.7	Complesso marnoso-calcareo-arenaceo	pag. 140
 Capitolo 5: PLUVIOMETRIA E TERMOMETRIA		pag. 142
5.1	Dati pluvio-termometrici del bacino del fiume Marta	pag. 142
5.1.1	Pluviometria	pag. 144
5.1.2	Termometria	pag. 147
5.1.3	Evapotraspirazione reale	pag. 151
5.2	Dati pluvio-termometrici del bacino del fiume Mignone	pag. 153
5.2.1	Pluviometria	pag. 153
5.2.2	Termometria	pag. 157
5.2.3	Evapotraspirazione reale	pag. 162
 Capitolo 6: ANALISI DEI DEFLUSSI		pag. 164
6.1	Misure storiche di portata del fiume Marta	pag. 165
6.1.1	Studio del regime fluviale	pag. 166
6.1.1.1	Portate medie annue	pag. 166
6.1.1.2	Portate medie mensili	pag. 169
6.1.1.3	Curva di durata delle portate	pag. 171
6.1.1.4	Analisi e scomposizione degli idrogrammi fluviali	pag. 174
6.1.1.5	Regimazione artificiale delle portate	pag. 180
6.1.1.6	Definizione dell'indice di deflusso di base (B.F.I.)	pag. 183
6.2	Misure storiche di portata del fiume Mignone	pag. 184
6.2.1	Studio del regime fluviale	pag. 184
6.2.1.1	Portate medie annue	pag. 185
6.2.1.2	Portate medie mensili	pag. 186

6.2.1.3	Curva di durata delle portate	pag. 188
6.2.1.4	Analisi e scomposizione dell'idrogramma fluviale	pag. 189
6.2.1.5	Definizione dell'indice di deflusso di base (B.F.I.)	pag. 193
6.3	Portate "naturali" di magra del fiume Marta e Mignone	pag. 194
6.4	Misure delle portate fluviali	pag. 195
6.4.1	Misure della portata del fiume Marta	pag. 199
	• I campagna di misure (Maggio 2004)	pag. 201
	• II campagna di misure (Marzo 2005)	pag. 208
	• III campagna di misure (Maggio 2005)	pag. 214
6.4.1.1	Considerazioni	pag. 215
6.4.2	Misure delle portate fluviali del fiume Mignone	pag. 217
	• I campagna di misure (Maggio 2006)	pag. 218
 Capitolo 7: ANALISI DELLA CIRCOLAZIONE SOTTERRANEA		pag. 222
7.1	Assetto idrogeologico del fiume Marta	pag. 222
7.1.1	Roccia serbatoio e substrato impermeabile	pag. 222
7.1.2	Piezometria	pag. 223
7.1.3	Sorgenti	pag. 228
7.2	Assetto idrogeologico del fiume Mignone	pag. 231
7.2.1	Roccia serbatoio e substrato impermeabile	pag. 231
7.2.2	Piezometria	pag. 231
7.2.3	Sorgenti	pag. 235
 Capitolo 8: QUALITA' BIOLOGICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI DEI FIUMI MARTA E MIGNONE		pag. 238
8.1	Il monitoraggio biologico	pag. 239
8.1.1	L'Indice Biotico Esteso (I.B.E.)	pag. 240
8.1.2	Il Livello di Inquinamento da Macroscrittori (L.I.M.)	pag. 243
8.1.3	Lo Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua (S.E.C.A.)	pag. 244
8.1.4	Lo Stato Ambientale dei Corsi d'Acqua (S.A.C.A.)	pag. 244
8.1.5	Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.)	pag. 244
8.2	Monitoraggio del fiume Marta	pag. 248
8.2.1	Studi pregressi	pag. 248

8.2.2	Valutazione dell'I.B.E.	pag. 249
8.2.3	Valutazione dell'I.F.F.	pag. 256
8.2.4	Analisi dei risultati	pag. 259
8.3	Monitoraggio del fiume Mignone	pag. 271
8.3.1	Studi pregressi	pag. 271
8.3.2	Valutazione dell'I.B.E.	pag. 272
8.3.3	Valutazione dell'I.F.F.	pag. 277
8.3.4	Analisi dei risultati	pag. 279
8.4	Qualità chimica e microbiologica del fiume Marta	pag. 280
8.5	Qualità chimica e microbiologica del fiume Mignone	pag. 284

Capitolo 9: BILANCIO IDROLOGICO pag. 286

9.1	Bilancio idrologico del bacino del fiume Marta	pag. 287
9.1.1	Calcolo delle precipitazioni	pag. 287
9.1.2	Calcolo dell'evapotraspirazione reale	pag. 289
9.1.3	Calcolo del deflusso idrico globale	pag. 290
9.1.4	Scomposizione del deflusso idrico totale e calcolo dell'infiltrazione efficace	pag. 291
9.1.5	Considerazioni finali sul bilancio	pag. 292
9.2	Bilancio idrologico del bacino del fiume Mignone	pag. 295
9.2.1	Calcolo delle precipitazioni	pag. 296
9.2.2	Calcolo dell'evapotraspirazione reale	pag. 298
9.2.3	Calcolo del deflusso idrico globale e dell'infiltrazione efficace	pag. 299
9.2.4	Calcolo dell'uscite sotterranee dal bacino	pag. 300
9.2.5	Calcolo dei prelievi idrici	pag. 301
9.2.5	Calcolo del ruscellamento e considerazioni finali sul bilancio	pag. 301

Capitolo 10: DETERMINAZIONE DEL DEFLUSSO MINIMO VITALE pag. 303

10.1	Stime pregresse del deflusso minimo vitale dei fiumi Marta e Mignone	pag. 303
10.2	Nuove applicazioni per la determinazione del deflusso minimo vitale del fiume Marta	pag. 307
10.3	Determinazione del deflusso minimo vitale del fiume Mignone	pag. 312

Capitolo 11: DISCUSSIONE pag. 315

CONCLUSIONI	pag. 333
RINGRAZIAMENTI	pag. 336
BIBLIOGRAFIA	pag. 337

RIASSUNTO

Il presente lavoro riguarda lo studio dei rapporti tra acque sotterranee e acque superficiali di due corsi d'acqua significativi della rete idrografica minore dell'alto Lazio ed è finalizzato a verificare le problematiche connesse con la determinazione del deflusso minimo vitale in alcune sezioni d'alveo. I bacini idrografici considerati sono quelli del fiume Marta, emissario del lago di Bolsena, e del fiume Mignone. Entrambi ricadono nella regione vulcanica laziale, caratterizzata dall'attività dei Distretti Vulsino, Sabatino, Cimino e Vicano.

La scelta dei bacini è legata all'impatto antropico esercitato, rappresentato dallo sfruttamento delle acque superficiali a scopi idroelettrici, industriali, civili ed agricoli, che li rende dei casi rappresentativi per tentare la stima della portata minima vitale. L'importanza di salvaguardare il corpo idrico attraverso una portata minima vitale rientra nella più ampia tematica della gestione sostenibile delle risorse idriche.

Sono stati scelti, tra i metodi presenti in letteratura per il calcolo del deflusso minimo vitale, quelli più adatti ai bacini studiati, considerando la realtà idrogeologica e i dati a disposizione.

Di conseguenza il lavoro è stato incentrato sulla raccolta dei dati di portata storica, completati da nuove campagne di misura della portata, l'elaborazione dei dati meteorologici al fine della definizione del bilancio idrologico, il censimento dei pozzi e delle sorgenti allo scopo di ricostruire lo schema di circolazione idrica sotterranea. Inoltre è stato definito, su base bibliografica, lo stato di qualità delle acque superficiali, attraverso l'uso di diversi indici specifici, relazionando la variabilità temporale e spaziale delle classi di qualità lungo i corsi d'acqua al regime della portata.

Per il fiume Marta è risultato che il deflusso superficiale è sostenuto, oltre che dagli efflussi dal Lago di Bolsena e dal ruscellamento, dalle acque sotterranee, essendo il corso d'acqua il recapito preferenziale della falda di base dell'acquifero vulcanico. La qualità ecologica delle acque superficiali si presenta compromessa nei tratti più antropizzati e migliora dove gli incrementi di portata in alveo sono più consistenti.

Lo schema di circolazione idrica del fiume Mignone è risultato influenzato fortemente dall'assetto geologico-strutturale, essendo le formazioni poco permeabili prevalenti nel bacino esaminato. Lo stato qualitativo delle acque superficiali risulta buono e gli unici tratti compromessi sono legati a problematiche locali.

La valutazione del deflusso minimo vitale, condotta con riferimento ad alcune sezioni d'alveo interessate da derivazioni, ha dato risultati differenti per la stessa sezione applicando più metodi basati sulla portata naturale del corso d'acqua e considerando le precedenti valutazioni. L'applicazione ha evidenziato che la determinazione del deflusso minimo vitale dovrebbe tener conto, non solo della dinamica dall'asta fluviale, ma anche dell'intero sistema al quale il fiume. In particolare non è da sottovalutare il ruolo essenziale delle acque sotterranee e, quindi, la necessità di definire i rapporti tra il fiume e la falda, ponendo l'attenzione non solo sul bacino idrografico ma anche su quello idrogeologico. In quest'ottica, lo sfruttamento della risorsa idrica andrebbe pianificato sulla base del bilancio idrologico "naturale" del bacino ed il quantitativo e l'ubicazione dei prelievi dall'acquifero.

PAROLE CHIAVE

Rapporti acque sotterranee-superficiali, deflusso minimo vitale, gestione sostenibile delle risorse idriche, acquiferi vulcanici, Fiume Marta, Fiume Mignone.

ABSTRACT

The research has been focused on the interactions between groundwater and surface water of two highly representative streams of the minor hydrographic net of Northern Lazio Region (Italy), with the aim to evaluate the main issues linked to the determination of the instream flow for fish life. The areas analysed are the drainage basins of the Marta River, outlet of the Bolsena Lake, and the Mignone River. Both of them are located in the Lazio volcanic region, characterised by the Vulsino, Sabatino, Cimino and Vico volcanic activities.

They have been chosen as representative cases for trying to estimate the instream flow due to human impacts, showed by the exploiting of surface water for hydroelectric, industrial, civil and agricultural uses. The safeguard of the rivers concerned resulted as a fundamental tool in the sustainable management of the water resources.

Taking into account both the main methods proposed by the previous literature, and the particular hydro-geological features and available data, the most suitable methods has been chosen.

As a consequence, the research implied: i) collection of historical instream flow data, completed by further updated measurements; ii) analyses of historical climatic data for the estimation of the water budget; iii) definition of the hydrogeological outline through data collection of wells and springs. Moreover, through several biological indices reported in literature, the quality status of the surface water has been addressed. Finally, it has been underlined the linkages between the streams flow and the temporal and spatial variability of the surface water quality.

Concerning the Marta River, the results highlight that the stream flow is heavily influenced by the Bolsena Lake level in the high river course and by groundwater recharge in the other parts of the hydrograph net. The ecological quality of the surface water emerges as compromised in the heavily human parts, while it improves where the stream is gaining.

Conversely, hydrogeological outline of the Mignone River resulted highly influenced by the structural-geological framework of the area, because of its low-permeable formations. As a consequence, the quality of the surface water can be considered quite good, except for few parts affected by local problems.

In conclusion, the evaluation of the instream flow has produced various results concerning the same river section by applying different methods. Consequently, the estimation of the instream flow should take into account not only the dynamic of the river, but also the entire processes of the hydrogeological basin. In particular, the essential role of the groundwaters and, thus, the necessity to define the relationships between the river and groundwater, considering both the hydrographic basin and hydrogeological basin, should not be underestimated. In these regards, the exploitation of the surface water resource should be planned considering the pre-development water budget and the quantity and the location of the withdrawals from the aquifer on the basis of the river hydrogeological framework.

KEY WORDS

Interactions between groundwater and surface water, minimum flow regimes, sustainable management of water resources, volcanic aquifer, Marta River, Mignone River.

INTRODUZIONE

La valutazione del deflusso minimo vitale dei corsi d'acqua nasce nella prospettiva di un razionale e sostenibile impiego della risorsa idrica, il cui utilizzo si pone spesso in conflitto con la conservazione della naturalità dell'ambiente fluviale. Si presenta dunque il problema di una chiara definizione dei deflussi da destinare alla salvaguardia degli ecosistemi acquatici, rispetto a quelli impiegati per i fabbisogni irrigui, idroelettrici, industriali e potabili (COLLINGS, 1974; HOPE, 1976; TENNANT, 1976; BINNS, 1979; WESCHE, 1980; PAVON & BRATH, 1994; GARCIA DE JALÓN, 2003).

Allo stato attuale, esistono diverse procedure operative per la determinazione delle portate minime necessarie alla conservazione degli ambienti fluviali. Ciò è dovuto, in parte, alla specificità locale caratteristica di ogni sistema fluviale e, in parte, alla complessità intrinseca nella determinazione di un *optimum* di condizioni ambientali. Infatti, il problema della valutazione della portata minima da garantire in alveo coinvolge l'ecosistema lotico nella sua interezza e, come tale, necessita una comprensione accurata della morfologia, dell'idrobiologia, dell'idraulica e dell'idrogeologia del sistema interessato (BAXTER, 1962; COCHNAUER, 1976; LACHAT 1994; COWX & WELCOMME, 1998).

I diversi metodi di valutazione per la definizione delle portate minime vitali dei corsi d'acqua, elaborati dagli enti istituzionalmente coinvolti in tale problematica e dai relativi settori della ricerca scientifica, si basano su approcci a complessità variabile, in cui l'attenzione è puntata, di volta in volta, sui differenti tipi di variabili che caratterizzano il sistema fluviale (CROSA *et alii*, 1988; LEONARD P.M. & ORTH D.J., 1990; VISMARA *et alii*, 1995; BOVEE, 1997; BUFFO, 1998; VISMARA *et alii*, 1999; EPRI, 1996).

In questo contesto rientrano gli obiettivi di questa ricerca, finalizzata a confrontare i risultati delle applicazioni di alcuni tra i metodi più diffusi per la determinazione delle portate minime vitali in due bacini campioni del Lazio, focalizzando l'attenzione in particolare sulle interazioni tra acque superficiali ed acque sotterranee. L'obiettivo delle applicazioni e della loro contestualizzazione idrogeologica è quello di ricavare elementi che possano contribuire ad una discussione critica dei metodi in uso e nello stesso tempo cercare nuovi criteri al problema della definizione delle portate minime vitali dei corsi d'acqua della rete idrografica minore.

I bacini considerati sono quelli dell'alto e medio corso del fiume Marta e del fiume Mignone, ubicati nel Lazio settentrionale ed a foce tirrenica (FIG. 1).

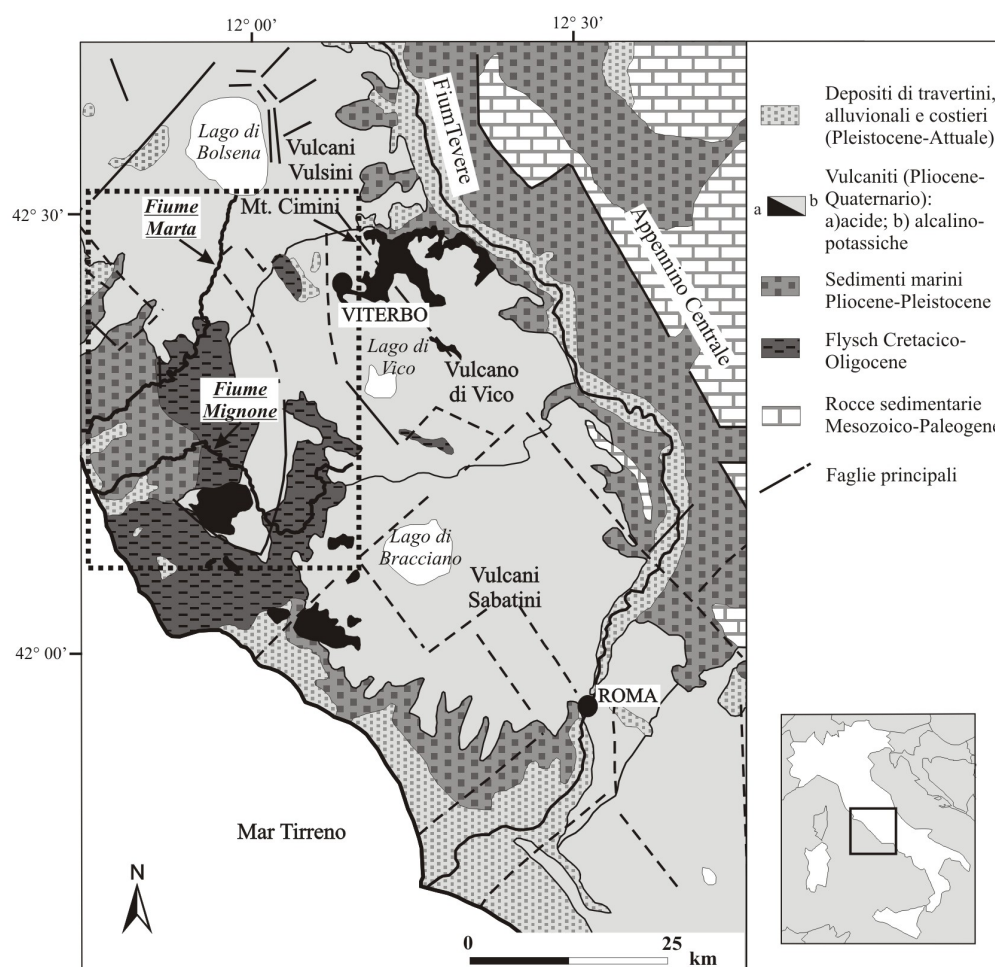


FIGURA 1 – Ubicazione dell' area di studio.

La scelta è ricaduta su di essi principalmente perché significativi di reti idrografiche minori, per le quali si ricorre generalmente ad approssimazioni ed a metodi indiretti per la stima delle portate minime vitali. Inoltre, per questi due bacini sono già disponibili in letteratura dati idraulici e idrobiologici, e i primi risultati del calcolo del deflusso minimo vitale.

I due bacini sono soggetti interessanti per applicazioni in tal senso per alcune particolari caratteristiche. Il fiume Marta è l'emissario del lago di Bolsena e la sua portata all'incile è regolata attraverso delle paratoie e quindi direttamente collegata alle dinamiche dello specchio lacustre. Entrambi i corsi d'acqua sono interessati da derivazioni a scopo irriguo, potabile e idroelettrico, che vanno ad alterare la continuità fluviale e le portate in alveo. Le aree perifluviali sono caratterizzate da zone ad elevata naturalità, contenendo Riserve Naturali, Siti di Interesse Comunitario (S.I.C.) e Zone di Protezione

Speciale (Z.P.S.). Pur essendo i due bacini confinanti presentano differenze significative dal punto di vista morfologico e idrogeologico.

I casi territoriali prescelti dunque sembrano essere un buon laboratorio dove confrontare i metodi in uso e ricavare indicazioni per nuovi approcci futuri per la definizione della portata minima vitale dei corsi d'acqua minori.

Per raggiungere gli obiettivi prefissati, il lavoro è stato organizzato in fasi successive e conseguenti. Innanzitutto sono state considerate le definizioni di deflusso minimo vitale e sono state sintetizzate le diverse procedure in uso in Italia e quelle principali adottate negli altri paesi, mediante l'esame della letteratura più recente (cfr. CAP. 1).

E' stato successivamente esaminato il contesto geologico di riferimento delle due aree (cfr. CAP. 2), caratterizzando dal punto di vista idrogeologico le diverse rocce presenti (cfr. CAP. 3). Questi elementi hanno contribuito alla definizione dei limiti dei bacini imbriferi ed alla loro caratterizzazione morfometrica (cfr. CAP. 4).

Definiti i sistemi di studio, i bacini del Marta e del Mignone, sono state calcolate la piovosità, la termometria e l'evapotraspirazione reale (cfr. CAP. 5), elementi fondamentali per la valutazione degli afflussi nelle aree di studio. L'analisi dei deflussi è stata condotta con riferimento alle misure storiche delle portate fluviali ed appositi rilievi effettuati nel corso dal 2004 al 2006 (cfr. CAP. 6).

I risultati di queste ultime indagini e di tutti gli altri elementi e dati idrogeologici raccolti, interpretati tenendo conto delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei due bacini, hanno permesso di definire gli schemi idrogeologici (cfr. CAP. 7), utili poi per l'impostazione dei bilanci idrologici.

La valutazione delle risorse idriche dei due bacini è stata condotta su base media annua, utilizzando tutte le precedenti fasi dello studio. E' stato possibile così eseguire una prima quantificazione degli afflussi e dei deflussi dalle aree in esame, oltre che dei prelievi idrici dalle due aree (cfr. CAP. 9).

E' stato inoltre sintetizzato il quadro delle conoscenze disponibili in letteratura sulla qualità delle acque superficiali, valutata principalmente attraverso l'applicazione dell'Indice Biotico Esteso (I.B.E) e l'Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.), integrati con analisi chimiche e microbiologiche (cfr. CAP. 8).

Infine, sulla base delle conoscenze acquisite sono state elaborate, attraverso un approccio idrogeologico al problema, le stime del deflusso minimo vitale per alcune sezioni fluviali significative, che integrate dalle precedenti applicazioni presenti in bibliografia, hanno permesso il confronto dei diversi risultati (cfr. CAP. 10).

DEFLUSSO MINIMO VITALE

L'ecosistema fluviale è il risultato dell'interazione tra diversi fattori biotici e abiotici, che partecipano alla creazioni di particolari habitat. L'equilibrio di tali fattori è in continua evoluzione, sia per cause naturali che per cause antropiche: questo determina la presenza di habitat particolarmente instabili e sensibili alle minime variazioni delle caratteristiche ambientali.

Il fattore più importante che condiziona e caratterizza il sistema fiume è la variazione delle portate in alveo, dovuta principalmente al regime pluviometrico che si riflette in una variazione delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque superficiali, ed in una diversità biologica delle comunità vegetali e animali fluviali.

Tra le varie cause che possono alterare il regime naturale di un corso d'acqua e quindi la diversità naturale degli ambienti fluviali, assumono particolare rilevanza le opere di derivazione e di ritenuta per scopi idroelettrici, irrigui e potabili, che regolano il naturale deflusso delle acque. La presenza di tali opere lungo l'asta di un corso d'acqua comporta delle modifiche evidenti dei parametri idrologici, morfologici, chimici e biologici, alterando le condizioni necessarie alla sopravvivenza dell'ecosistema fluviale. Questo tipo di attività antropica interessa ormai la maggior parte dei corsi fluviali nazionali con conseguenze talvolta disastrose sugli ecosistemi. Pertanto è stato necessario introdurre il concetto di deflusso minimo vitale, per cercare di minimizzare i danni e migliorare l'opera di pianificazione e di gestione della risorsa idrica.

Di seguito viene riportata la definizione di deflusso minimo vitale (cfr. PAR. 1.1), viene illustrata la normativa italiana ed europea (cfr. PAR. 1.2 e 1.3) e viene proposta una panoramica dei vari metodi maggiormente utilizzati per la sua determinazione (cfr. PAR. 1.4).

1.1 IL CONCETTO DI DEFLUSSO MINIMO VITALE

La crescente sensibilità verso la tutela dell'ambiente naturale ha portato negli ultimi decenni alla ricerca e alla necessità di una più chiara definizione dei deflussi da

destinare alla conservazione degli ecosistemi acquatici, rispetto a quelli da destinare ad altri usi.

La distinzione tra le portate per usi in alveo e quelle per usi esterni all'alveo può essere spiegata in modo conciso con la terminologia anglosassone: *instream flows* e *offstream flows*. Il primo termine indica le portate finalizzate alla conservazione dell'ambiente fluviale, per esigenze sia naturalistiche sia ricreative (*instream uses*). Il secondo termine riguarda gli impieghi della risorsa idrica per scopi irrigui, industriali, idroelettrici e potabili (*offstream uses*; UBERTINI, 1997).

Il conflitto tra i due impieghi della stessa risorsa idrica ha reso necessario l'intervento normativo quale strumento per armonizzare e razionalizzare l'utilizzo delle acque superficiali.

Il concetto di "deflusso minimo vitale" (DMV) dei corsi d'acqua superficiali è stato introdotto per la prima volta nel quadro giuridico italiano dalla Legge 183/89, riguardante le "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo", la quale, al punto 1, lettera i) dell'articolo 3 indica, tra gli obiettivi dell'attività di programmazione, pianificazione ed attuazione, "*...la razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali e profonde ...garantendo, comunque, che l'insieme delle derivazioni non pregiudichi il minimo deflusso costante vitale negli alvei sotesi...*".

L'obiettivo è chiaro anche se l'uso contemporaneo degli aggettivi "costante" e "minimo" non è tecnicamente felice e potrebbe generare incertezze interpretative, sottintendendo una portata fissa da mantenere in alveo. Il deflusso minimo vitale infatti deve tener conto delle naturali variazioni annuali dei regimi fluviali e pertanto nelle normative successive è stata eliminata la parola "costante".

Il concetto è stato poi ripreso dall'articolo 12 bis del D.L. 275 del 1993 riguardante il "Riordino in materia di concessioni di acque pubbliche" e in maniera molto più complessa dalla Legge n. 36 del 5 gennaio 1994 "Disposizioni in materia di risorse idriche", la quale all'articolo 3, punto 3, prevede "*nei bacini idrografici caratterizzati da consistenti prelievi o da trasferimenti, sia a valle che oltre la linea di displuvio, le derivazioni sono regolate in modo da garantire il livello di deflusso necessario alla vita negli alvei sotesi e tale da non danneggiare gli equilibri degli ecosistemi interessati*". Inoltre, l'articolo 1, punto 3, dispone che "*gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse per non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici*".

L'intento del legislatore è quindi quello di riuscire a ponderare l'entità del rilascio minimo vitale a valle di un'utilizzazione, in modo da non alterare gli equilibri delle comunità acquatiche naturali e di tener conto del problema tecnico relativo alla gestione della risorse idrica.

La normativa, pur introducendo elementi innovativi e chiarificatori, non suggerisce alcuna procedura operativa per la stima del DMV. Il motivo di tale mancanza è forse legata alla complessità e specificità locale del problema. Questo ha sollecitato gli enti istituzionalmente coinvolti da questa problematica e alcuni settori della ricerca scientifica a sviluppare specifiche procedure di calcolo del DMV, differenti oltre che per complessità anche per i criteri considerati.

Il successivo “Testo Unico sulle Acque”, Decreto Legislativo 152 del 1999, definisce il DMV come fattore essenziale da inserire nei piani di tutela, ma ancora nelle legislazioni nazionali non vengono specificati i metodi per la stima del DMV e i parametri da valutare. Il testo del D.L. 152/99 aggiornato a seguito delle disposizioni correttive e integrative di cui al D.L. del 18 agosto 2000, n. 258, all'articolo 22, comma 4, prevede che *“il Ministero dei lavori pubblici provvede entro sei mesi dall'entrata in vigore del presente decreto a definire, di concerto con gli altri Ministri competenti e previa intesa con la Conferenza permanente per i rapporti con lo Stato, le Regioni e le Province Autonome di Trento e Bolzano, le linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive di criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale”*.

Per ora esiste solo una bozza di queste linee guida preannunciate, pubblicata dal Ministero dell'Ambiente, in cui il DMV viene definito come *“la portata che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua, chimico-fisiche delle acque nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali”*. Da questa definizione si sottolinea l'importanza di mantenere una portata minima per garantire le naturali dinamiche morfologiche tipiche di un corso d'acqua, di salvaguardare la qualità delle acque superficiali e di conservare le comunità animali e vegetali. Il termine “locali” riportato nella definizione indica la singolarità e unicità degli ecosistemi fluviali da tener conto nel calcolo del DMV.

Di ultima emanazione è il decreto del 28 luglio 2004 “Linee guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del deflusso minimo vitale di cui all'art. 22, comma 4 del D.L. 152/99”, in cui il DMV è definito come *“...la portata istantanea*

da determinare in ogni tratto omogeneo del corso d'acqua, che deve garantire la salvaguardia delle caratteristiche fisiche del corpo idrico, chimico-fisiche delle acque, nonché il mantenimento delle biocenosi tipiche delle condizioni naturali locali". Per *"salvaguardia delle caratteristiche chimico-fisiche"* deve intendersi, con esplicito riferimento al D.L. 152/99, il mantenimento nel tempo dello stato di qualità delle acque ed il raggiungimento degli obiettivi di qualità previsti dalla suddetta normativa. Tale salvaguardia contempla anche la conservazione degli obiettivi di qualità naturale di autodepurazione del corso acqua. In definitiva, la determinazione del DMV viene così legata al mantenimento in alveo di condizioni di qualità delle acque, che garantiscono la conservazione dell'ecosistema fluviale.

In bibliografia esistono e vengono riportate varie definizioni di DMV, che cercano di evidenziare funzionalità e benefici del riuscire a mantenere una portata minima in un corso d'acqua e aggiungono così nuovi elementi alla comprensione del suo significato.

In uno studio per il Ministero dei Lavori Pubblici il DMV *"costituisce la minima quantità d'acqua che deve essere presente in un fiume, per garantire la sopravvivenza e la conservazione dell'ecosistema fluviale, assicurando le condizioni necessarie per un normale svolgimento dei processi biologici vitali degli organismi acquatici. Il DMV è quindi una portata che varia in funzione delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua (forma dell'alveo, larghezza, pendenza, ecc.) e delle caratteristiche biologiche dell'ecosistema interessati"* (VISMARA *et alii*, 1999). Quindi il DMV è una portata che varia in funzione delle caratteristiche fisiche e biologiche del corso d'acqua, da rispettare per la sopravvivenza dell'ecosistema fluviale, termine che associato al DMV ne sottolinea la complessità strutturale e funzionale.

Le normative italiane, quali ad esempio quelle delle Province Autonome di Trento (D.P.R. del 22 dicembre del 1986, "Piano generale per l'utilizzo delle acque pubbliche") e di Bolzano (D.P.R. del 11 aprile del 1986, "Piano generale per l'utilizzo delle acque pubbliche"), oltre che quella della Regione Piemonte, parlano di stima del DMV finalizzata soprattutto a mantenere l'equilibrio naturale nell'ecosistema e a garantire la qualità delle acque superficiali.

Nella relazione "Criteri per la definizione del Deflusso Minimo Vitale nel Bacino del Fiume Serchio" (Autorità di Bacino del Fiume Serchio, 2002) si dice che *"sebbene la definizione del DMV sia estremamente complessa in quanto richiede approfondite conoscenze idrologiche ed idrobiologiche, esso può essere sinteticamente definito come "la quantità minima di acqua che deve essere assicurata per la sopravvivenza delle*

biocenosi acquatiche , la salvaguardia del corpo idrico e, in generale, per gli usi plurimi a cui il fiume è destinato”. La portata minima necessaria per la sopravvivenza del sistema idrico viene associata ai diversi usi che si fanno del corso d’acqua, facendo riferimento sia agli usi dell’acqua per l’attività umana e produttiva, che ricreative o sportive. Questo aspetto va a condizionare l’esistenza stessa del sistema fluviale e non va certamente sottovalutato della definizione del DMV.

In seguito alle varie definizioni presenti sia nelle normative che in documenti specifici, gli elementi che influenzano il concetto di DMV e che ne determinano il significato potrebbero essere:

- qualità delle acque superficiali;
- dinamiche morfologiche fluviali;
- sopravvivenza delle biocenosi tipiche naturali;
- aspetto paesaggistico;
- usi agricoli, industriali e potabili della risorsa idrica;
- funzione ricreativa e sportiva.

In seguito a quanto detto il deflusso minimo vitale deve sottintendere la sopravvivenza e la minima funzionalità del sistema idrico e di tutti gli elementi che lo costituiscono.

1.1.1 PROBLEMI RELATIVI ALLA DETERMINAZIONE DEI DEFLUSSI MINIMI VITALI

Un primo aspetto da affrontare nella determinazione del deflusso minimo vitale è di individuare il giusto legame tra le portate minime vitali (Q_{MV}), rilasciate dai sistemi di regolazione, e le portate minime naturali (Q_{MN}), che per alcuni periodi dell’anno possono essere prossime allo zero (VISMARA *et alii*, 1995; VISMARA *et alii*, 1999).

Un primo elemento di riflessione è se Q_{MV} possono o devono risultare inferiori o uguali alle Q_{MN} .

Il primo passo è valutare esattamente cosa si intende per portata minima vitale, se va inteso come un valore istantaneo o mediato e, in questo ultimo caso, in quale campo di dimensione campionaria e temporale.

Nell’ipotesi della Q_{MV} minore o uguale alla Q_{MN} è importante determinare il valore di tolleranza, cioè entro quali limiti può essere inferiore e per quale durata temporale.

Le diverse soluzioni derivano da un’analisi approfondita dello scenario oggetto di studio, poiché cambiano le condizioni al contorno, fra cui le caratteristiche idrologiche,

pluviometriche e geomorfologiche e, quindi, le condizioni di deflusso naturale, ma anche i fabbisogni e le utilizzazioni della risorsa idrica e conseguentemente le leggi di regolazione dei deflussi. Non possono quindi essere fornite delle risposte a priori, ma queste semmai possono scaturire da un'analisi dettagliata e specifica delle variabili che rientrano nell'applicazione prescelta.

Di fatto il DMV non deve essere uguagliato solo ad un valore o ad un intervallo di valori di portata da mantenere in alveo, ma va anche visto come un regime idrico ottimale per il fiume, tenendo in considerazione sia la naturale variabilità stagionale dei deflussi che l'importanza di tale variabilità nei confronti della vita biologica del sistema fluviale.

Per tutte le considerazioni ora fatte è evidente che il problema della regolazione di un sistema di captazioni delle acque superficiali di un corso d'acqua, per garantire il deflusso minimo a valle, deve rispettare il valore limite, della distribuzione temporale dei deflussi e del rispetto della naturalità delle variazioni dei deflussi.

In riferimento a quest'ultima considerazione, occorre dare giusto peso agli effetti negativi che possono essere prodotti sul corso d'acqua da variazioni molto rapide e molto forti del valore della portata.

1.1.2 L'IMPATTO DELLE DERIVAZIONI SUL SISTEMA FLUVIALE

Gli impianti idroelettrici vanno ad influenzare, nel corso del tempo, le caratteristiche idrologiche, morfologiche e biologiche del sistema fluviale interessato, attraverso una riduzione di portata in alveo (FIG. 1.1).

Ovviamente una riduzione della portata in alveo, a valle della derivazione, può alterare il regime dei deflussi riducendo le portate medie annue, riducendo le variazioni stagionali dei deflussi, alterando il momento degli estremi idrologici annuali e riducendo l'entità delle piene laminandone i picchi (VISMARA *et alii*, 1995).

La riduzione della portata in alveo, e quindi della velocità della corrente, alterano la capacità del trasporto del particolato organico e inorganico nel fiume a valle dello sbarramento, causando una scomparsa della dinamicità morfologica dei fiumi; si perde la capacità del trasporto grossolano, favorendo il processo di sedimentazione del materiale fine in zone normalmente non interessate da questo fenomeno. Tale deposito può alterare le condizioni necessarie per la sopravvivenza delle comunità bentoniche,

riducendo il particolato organico in sospensione e modificando gli spazi fondamentali per il sostentamento (COPERTINO *et alii*, 1997; VIPARELLI, 2000).

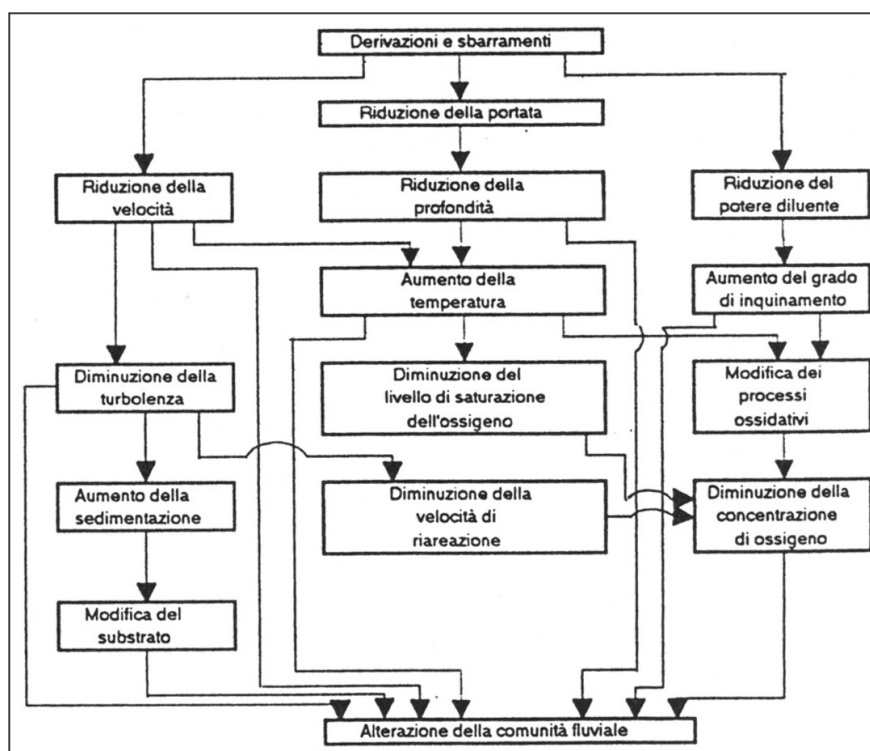


FIGURA 1.1 – Effetti negativi (abiotici e biotici) diretti e indiretti causati dalla riduzione di portata in periodo estivo (da CROSA *et alii*, 1988).

La capacità naturale autodepurante viene ridotta da una minore portata in alveo, influenzandone sia i processi fisico-chimici che i meccanismi biologici. L'effetto consiste in una minore diluizione degli inquinanti riversati nel sistema fluviale e nella riduzione dell'efficienza del processo depurante ad opera di microrganismi specifici, la cui presenza è influenzata dalla disponibilità di microhabitat colonizzabili (CROSA *et alii*, 1988; PARASTEWICZ & SCHMUTZ, 1997).

Le caratteristiche fisico-chimiche dell'acqua superficiale, come la temperatura o l'ossigeno disciolto, vengono notevolmente influenzati dalla riduzione della portata, che comportano l'alterazione delle condizioni necessarie alla sopravvivenza della vegetazione spondale e delle specie ittiche. Quest'ultime subiscono anche l'influenza della riduzione dell'area dell'alveo bagnato che comporta una riduzione del microhabitat ed una variazione dei cicli vitali. Le popolazioni ittiche sono costrette a vivere in condizioni di stress idrico, con maggiore competizione inter e intraspecifica dovuta principalmente alla riduzione di spazio vitale per individuo.

Le mutate condizioni di velocità e profondità dell'acqua possono modificare la composizione della comunità vegetale in alveo e lungo le sponde, creando i presupposti per la colonizzazione da parte di specie estranee a quel tratto di fiume e la scomparsa di specie autoctone, alterando quindi la biodiversità.

1.2 ANALISI DELLA NORMATIVA ITALIANA

Allo stato attuale, in Italia, non esiste un disegno organico a scala nazionale circa i criteri per la determinazione del deflusso minimo vitale. Da più parti, Amministrazioni locali e Autorità di Bacino si sono mosse autonomamente, proponendo diversi criteri per i quali non sempre viene indicato il fondamento scientifico.

La rassegna dei metodi di seguito riportata è tratta dallo “Schema di decreto recante linee guida per la predisposizione del bilancio idrico del bacino, comprendente criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la determinazione del minimo deflusso vitale (art. 22, comma 4, D.L. 152/99)”, in corso di elaborazione da parte del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio – Direzione Generale della Difesa del Suolo, anche se è varia la bibliografia che riporta tali metodi (per esempio, VISMARA *et alii*, 1995; VISMARA *et alii*, 1999; UMBERTINI, 1997; BUFFO, 1998; EPRI, 1996; CROSA *et alii*, 1988; MANCIOLA, 1996; SANTORO, 1994).

- **PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO**

Nel D.P.R. 22.12.1986 “Piano generale per l'utilizzazione delle acque pubbliche” viene stabilito che nei corsi d'acqua sottesi da opere di derivazioni sia garantita una portata minima residua pari ad almeno un terzo della portata minima continua del corso, per scopi igienico-sanitari ed antincendio, per la pesca, ai fini della tutela del paesaggio e per non alterare l'equilibrio naturale dei corsi d'acqua. La portata minima continua è intesa come la portata che nella curva di durata (cfr. PARR. 6.1.1.3 e 6.2.1.3) corrisponde al percentile di 355 giorni (Q_{355}).

Inoltre viene calcolato il DMV considerando $2 \text{ l/s} \times \text{km}^2$ di bacino sotteso, in caso di piccoli bacini, e 1.5 l/s per km^2 di bacino sotteso per bacini di grandi dimensioni.

Questa metodica, ripresa e utilizzata da altre province italiane e da alcuni stati europei, si basa sulla definizione di un contributo specifico, in cui la variabile indipendente è la

superficie del bacino. L'assunzione usata è che la portata e le caratteristiche idrauliche dei fiumi siano funzione principalmente dell'area del bacino.

Il vantaggio di questo approccio è nella semplicità della procedura di calcolo e nella oggettività delle determinazioni. Il limite riguarda l'impossibilità di rappresentare situazioni territoriali particolari.

- **PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**

Nel D.P.R. 11 aprile del 1986 "Piano generale per l'utilizzazione delle acque pubbliche" viene recepito il principio che a valle delle derivazioni idroelettriche dovranno essere mantenuti dei deflussi minimi tali da garantire l'utilizzo per scopi igienico - sanitari ed antincendio, la qualità delle acque, per la pesca, la tutela del paesaggio ed, in generale, da non alterare il naturale equilibrio dei corsi d'acqua stessi. Pertanto le portate minime dovranno essere non inferiori al valore corrispondente al contributo massimo unitario di $2 \text{ l/s} \times \text{km}^2$ di bacino sotteso, con particolari adattamenti ai singoli casi.

- **REGIONE PIEMONTE**

La Regione Piemonte possiede un approccio diverso per la determinazione del DMV, citato nella "Circolare dell'Assessorato alla Tutela dell'Ambiente" (1991).

Nell'analisi della metodologia del calcolo del DMV, un passo procedurale importante è la regionalizzazione della valutazione del DMV, che considerando le variazioni meteorologiche e geomorfologiche, permette di individuare nei siti interessati le cause di una modifica dei limiti vitale del deflusso per un generico corso d'acqua.

Il primo parametro su cui la regionalizzazione viene impostata è la portata specifica annua, e cioè un valore di portata media (Q_{MEDIA}) calcolata su base annua e riferita all'unità di superficie del bacino ($\text{l/s} \times \text{km}^2$).

Tale valore viene determinato utilizzando una semplice relazione funzionale della portata in esame riferita alle due variabili idrologiche principali e cioè l'altitudine media del bacino idrografico H (m s.l.m.), calcolata attraverso uno studio ipsografico del bacino oggetto di analisi, e l'afflusso meteorico medio annuo A (mm), ragguagliato al bacino idrografico e calcolato utilizzando le curve isoiete. La relazione è la seguente:

$$Q_{\text{MEDIA}} = 0.0086 \times H + 0.03416 - 24.5694 \quad [1.1]$$

Il passo successivo è rappresentato dalla valutazione della portata minima.

Risulta più significativo valutare valori di portata minori invece di un valore assoluto estremo, come ad esempio la Q_{355} , la portata che viene superata per 355 giorni all'anno. La differente conformazione del territorio ha suggerito di dividere la regione Piemonte in zone distinte soprattutto da un punto di vista geomorfologico. Sono state così individuate 3 zone:

- bacini comprendenti l'arco alpino;
- bacini comprendenti l'arco appenninico ed afferenti al Tanaro sulla destra orografica;
- asta del Po a valle della confluenza con il Torrente Pellice.

Per ognuna delle 3 zone è stata calcolata la Q_{355} utilizzando una relazione funzionale che lega tale variabile alla Q_{MEDIA} ($l/s \times km^2$) ed alla superficie S (km^2) del bacino di riferimento, del tipo:

$$Q_{355} = a \times S^b \times Q_{MEDIA} \quad [1.2]$$

dove a , b e c sono parametri caratteristici della zona in cui ricade il bacino di riferimento.

L'ultima fase della procedura di calcolo è rappresentata dalla determinazione del deflusso minimo vitale (DMV) da garantire a valle dello sbarramento (espresso in l/s).

Il calcolo del DMV si effettua con una relazione del tipo:

$$DMV = K_a \times K_b \times K_c \times Q_{355} \times S \quad [1.3]$$

con:

S = superficie del bacino preso in considerazione (km^2);

Q_{355} = portata specifica minima media ragguagliata di durata 355 giorni/anno ($l/s \times km^2$);

K_a = parametro che esprime le condizioni critiche rispetto a Q_{355} ;

K_b = parametro che dipende dal tipo di derivazione e dall'età della derivazione stessa;

K_c = parametro che esprime il livello di protezione ambientale che si intende assegnare al corso d'acqua.

I parametri K_a , K_b e K_c sono tabellati. In particolare K_a e K_b variano tra 0.25 e 1, mentre K_c può variare tra 1 e 1.5.

- **AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI TORINO**

La Normativa Provinciale del 1990 stabilisce che la portata minima defluente in alveo deve essere compresa tra 1 e 4 $l/s \times km^2$ in relazione alle caratteristiche idroclimatiche

del corso d'acqua; i valori minori sono previsti in caso di regimi nivoglaciali e maggiori ai corsi d'acqua di maggiore valenza ecologica.

- **LA FORMULA SPEDITIVA AMBIENTALE PROPOSTA DAL DIIR, POLITECNICO DI MILANO**

Dal Politecnico di Milano è stata proposta una nuova formula per il calcolo del DMV: tale formula propone nuovi coefficienti ambientali per modulare il minimo vitale idrologico (q_{DMV}) valutato attraverso formule regionalizzate (ad es. formula Valtellina dell'Autorità di bacino del fiume Po: 1.6 l/s per km²).

I coefficienti ambientali sono stati sintetizzati in un unico Fattore Ambientale (FA) che comprende aspetti naturalistici (N), caratteristiche di qualità dell'acqua (Q), aspetti morfologici (M) e livelli amministrativi di protezione e fruizione (Fr). Questo fattore varia da 1 a 2 e va moltiplicato al q_{DMV} secondo la formula:

$$DMV_{\text{pianificatorio}} = q_{DMV} \times FA \quad [1.4]$$

dove $FA = 1 + N + Q + M + Fr$.

I singoli elementi del Fattore Ambientale vengono di seguito descritti:

N = Coefficiente di naturalità

Per grado di naturalità di un ecosistema fluviale si intende il livello di integrità delle diverse componenti naturali dell'alveo e delle sponde del corso d'acqua. La valutazione avviene tramite la compilazione della scheda RCE-2 (Riparian, Channel and Environmental Inventory; SILIGARDI & MAIOLINI, 1993), che sintetizza il livello di integrità attraverso un punteggio numerico corrispondente a 5 diverse classi di giudizio: queste vengono relazionate con il coefficiente di naturalità N come indicato nella TABELLA 1.1 seguente.

CLASSE RCE	RANGE VALORI SCHEDA RCE-2	PUNTEGGI N
I	300 - 251	0.25
II	250 - 181	0.20
III	180 - 101	0.15
IV	100 - 51	0.10
V	50 - 14	0

TABELLA 1.1 – Punteggi del parametro naturalità (N) nel metodo del Politecnico di Torino.

Q = coefficiente di qualità dell'acqua

Questo coefficiente è finalizzato a diminuire gli impatti di una derivazione su un ambiente la cui qualità delle acque è ottima o comunque buona. La valutazione è basata sull'Indice Biotico Esteso (I.B.E.; GHETTI, 1995), alle cui classi corrispondono i punteggi riportati nella TABELLA 1.2 che segue.

CLASSE I.B.E.	PUNTEGGIO DI Q
I	0.25
II	0.20
III	0.15
IV	0.10
V	0

TABELLA 1.2 – Punteggi del parametro qualità dell'acqua (Q) nel metodo del Politecnico di Torino.

M = coefficiente morfologico

Un idoneo habitat fluviale è valutabile in base all'entità del deflusso e della morfologia del corso d'acqua, considerando i valori di profondità, velocità e larghezza dell'alveo importanti per le comunità ecologiche quanto la portata di per sé. La potenzialità ittica può essere anche stimata mediante un apposito protocollo di valutazione basato sulla percentuale degli ambienti di pozza (pool) rispetto all'area bagnata totale del tratto considerato: per ognuno di questi scenari viene proposto un punteggio (TAB. 1.3).

% POOL	PUNTEGGIO DI M
0 – 10	0.25
11 – 20	0.20
21 – 30	0.15
31 – 40	0.10
> 40	0

TABELLA 1.3 – Punteggi del parametro morfologia (M) nel metodo del Politecnico di Torino.

Fr = coefficiente di fruizione

Quest'ultima componente è di carattere di tipo gestionale – amministrativo in quanto valuta il livello di protezione amministrativa e l'entità della fruizione cui è soggetto. Il punteggio viene assegnato in base alla TABELLA 1.4 di seguito riportata.

CATEGORIE	PUNTEGGIO DI Fr
Zona di grande interesse turistico o estremamente	0.25

pescosa e frequentata da pescatori	
Zona di medio interesse naturalistico o turistico o mediamente rappresentativa per la pesca sportiva	0.10
Zona di scarso interesse (naturalistico, turismo o pesca sportiva) o di degrado o poco accessibile	0

TABELLA 1.4 – Punteggi del parametro fruizione (Fr) nel metodo del Politecnico di Torino.

Nel caso delle Aree Protette al fattore ambientale (FA) viene assegnato il valore massimo e quindi pari a 2.

- **COMMISSIONE DI STUDIO AUTORITÀ DI BACINO DEL PO PER LA VALTELLINA**

L'Autorità del Bacino del Po propone la seguente formula per il calcolo del DMV, da applicare ai casi della Valtellina:

$$DMV = Q_{355} \times P \times H \times K_A \times K_{NAT} \quad [1.5]$$

dove:

Q_{355} = portata che si uguaglia o che viene superata per 355 giorni all'anno con un tempo di ritorno di 5 anni;

P = precipitazione media annua;

K_A = coefficiente di maggiorazione in funzione del valore paesaggistico e turistico;

K_{NAT} = coefficiente di maggiorazione in funzione del valore naturalistico.

I valori di K_A e K_{NAT} sono tabellati.

- **AUTORITÀ DI BACINO INTERREGIONALE DEL FIUME MAGRA**

Il Piano Stralcio “Tutela dei corsi d'acqua interessati da derivazioni del Magra” riguarda la definizione di nuovi criteri e condizioni per il rilascio delle concessioni per derivazioni di acque dai corpi idrici superficiali e quantifica i rilasci necessari a garantire il DMV.

L'Autorità di Bacino del Fiume Magra ha scelto di interpretare il DMV nel senso più ampio, ponendosi l'obiettivo di tutelare non solo la semplice sopravvivenza a lungo termine di una data specie, ma quella delle intere comunità di organismi acquatici e, soprattutto, la funzionalità globale e la naturalità degli ecosistemi fluviali.

Il metodo considerato si basa su una metodologia di valutazione generale, non fondato quindi su valutazioni di tipo idrologico-idraulico o biologiche, ma sulla definizione articolata e speditiva di parametri caratteristici del bacino.

Si parte dalla formula del DMV proposta dell'Autorità di Bacini del Po per i corsi d'acqua della Valtellina, essendo questa di facile applicazione e abbastanza flessibile ad adattarsi alle specifiche situazioni locali. Si inseriscono alla formula considerata dei fattori aggiuntivi che tengono conto della geomorfologia, del regime naturale della portata, di alcune caratteristiche dell'impianto e dell'ambiente nel quale si inserisce. A ogni fattore viene assegnato un peso, calibrato sulla base di una serie di simulazioni che permettono di valutarne l'applicabilità nella realtà del bacino.

La formula di calcolo del DMV alla quale si fa riferimento nel presente piano stralcio diviene pertanto:

$$DMV = S \times R_{Spec} \times P \times A \times Q_B \times Q_R \times N \times G \times L_x \times M_x \quad [1.6]$$

Il DMV viene valutato in due situazioni differenti in relazione all'uso irriguo o non e ciò implica modifiche alla formula considerata.

Il primo caso riguarda la stima del DMV per derivazioni ad uso non irriguo.

Al fine di individuare i valori dei parametri che meglio interpretano la natura del bacino idrografico in esame, la formula di base sopra indicata è stata sperimentata effettuando numerose simulazioni su diversi casi reali di domande di derivazione.

A conclusione delle varie simulazioni effettuate, è stata scelta, per le derivazioni ad uso idroelettrico, industriale o altri usi ad eccezione di quello potabile o irriguo, la seguente formula di calcolo:

$$DMV = S \times R_{Spec} \times P \times A \times Q_B \times Q_R \times N \times G \times L_{7.5} \times M_{10} \quad [1.7]$$

Con i valori per ciascun fattore riportati di seguito.

S = Superficie del bacino sotteso dalla derivazione

R_{Spec} = Rilascio specifico pari a 1.6 l/s per km² di bacino

P = Precipitazione media annua nel bacino sotteso dalla derivazione

Le classi da utilizzare per le precipitazioni sono (TAB. 1.5):

PRECIPITAZIONE MEDIA NEL BACINO (mm)	FATTORE P
< 1200	1
1200 – 1400	1.2
1400 – 1600	1.4
1600 – 1800	1.6
> 1800	1.8

TABELLA 1.5 – Punteggi del parametro precipitazione media annua (P) nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

A = Altitudine media del bacino

Le classi da considerare per l'altitudine sono riportate nella TABELLA 1.6.

Il fattore A assume i valori più elevati ad entrambi gli estremi poiché tiene conto dei deflussi conseguenti alla precipitazioni nevose alle quote più alte e dei fenomeni di riduzione della portata che si verificano alle quote più basse (per incremento dell'evapotraspirazione e dell'infiltrazione).

ALTITUDINE MEDIA DEL BACINO (m. s.l.m.)	FATTORE A
0 – 400	1.2
400 – 600	1
600 – 800	1.1
> 800	1.2
> 1800	1.8

TABELLA 1.6 – Punteggi del parametro altitudine media (A). nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

Q_B = Qualità biologica del corso d'acqua

Vengono proposte delle classi di qualità biologica individuate con l'Indice Biotico Esteso (GHETTI, 1995; TAB. 1.7):

CLASSI DI QUALITÀ BIOLOGICA (METODO I.B.E.)	FATTORE Q_B
I (non inquinato)	1
II (leggermente inquinato)	1.1
III (inquinato)	1.2
IV (nettamente inquinato)	1.3
V (fortemente inquinato)	1.4

TABELLA 1.7 – Punteggi del parametro qualità biologica del corso d'acqua (Q_B). nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

La scala proposta “premia” le derivazioni di acque di buona qualità e impone rilasci maggiori alle derivazioni di acque inquinate per garantire sufficienti condizioni di diluizione degli inquinanti presenti.

Q_R = Qualità biologica delle acque restituite

Per la valutazione di tale fattore si fa riferimento alla tabella. 7 (Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori) dell'All. 1 al D.L. n. 152/99. I valori sono (TAB. 1.8):

PEGGIORAMENTO REGISTRATO (N° DEI LIVELLI DI INQUINAMENTO)	FATTORE Q_R
0	1

1	1.2
2	1.4
3	1.6
4	1.8

TABELLA 1.8 – Punteggi del parametro qualità biologica delle acque restituite (Q_R) nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

Per la valutazione dello stato chimico vengono presi in considerazione uno o più microinquinanti inorganici od organici. Sulla base dei risultati viene espresso un giudizio di stato chimico buono, scadente o pessimo. Il valore di Q_R ricavato dai macrodescrittori va moltiplicato per 1.5 nel caso di giudizio scadente e per 2 nel caso di giudizio pessimo.

$N = \text{Naturalità}$

Il fattore N è finalizzato a garantire una maggiore protezione per gli ambienti caratterizzati da elevata naturalità e impone quindi rilasci più elevati alle derivazioni che interessano aree di maggior pregio ambientale. Gli indici di naturalità vengono calcolati applicando tre metodi.

1) *Indice di naturalità per l'ambiente fluviale*

L'area da considerare è rappresentata dal tratto di corso d'acqua compreso tra il punto di derivazione e quello di restituzione. La valutazione viene effettuata applicando l'Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F., SILIGARDI, 2000; cfr. PAR. 8.1.2) secondo la TABELLA 1.9.

I.F.F.	LIVELLO DI FUNZIONALITÀ	GIUDIZIO	INDICE DI NATURALITÀ
261 – 300	I	Ottimo	5
251 – 260	I – II	Ottimo / buono	4
201 – 250	II	Buono	4
181 – 200	II – III	Buono / mediocre	3
121 – 180	III	mediocre	3
101 – 120	III – IV	Mediocre / scadente	2
61 – 100	IV	Scadente	2
51 – 60	IV – V	Scadente / pessimo	1
14 – 50	V	pessimo	1

TABELLA 1.9 – Punteggi del parametro naturalità (N) per l'ambiente fluviale nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

Ai fini delle definizioni del fattore N da applicare si considera l'indice di naturalità più elevato rilevato nel tratto in esame.

2) *Indice di naturalità per i sistemi ambientali che caratterizzano il territorio circostante*

L'area da considerare è rappresentata dai versanti che insistono sul tratto di corso d'acqua compreso tra il punto di derivazione e quello di restituzione. La valutazione viene effettuata sulla base del rapporto tra vegetazione reale e vegetazione potenziale secondo uno dei metodi con scale di 5 classi di gradimento riportata in TABELLA 1.10.

VALORE	CLASSE	CARATTERISTICHE AMBIENTALI	INDICE DI NATURALITÀ
55	I	Ambienti a naturalità ottima	5
20	II	Ambienti a naturalità forte	4
8	III	Ambienti seminaturali	3
2	IV	Ambienti a naturalità debole	2
1	V	Ambienti artificiali con coperture vegetali	1
0	-	Ambienti estremamente artificiali con coperture vegetali assente	1

TABELLA 1.10 – Punteggi del parametro naturalità (N) per i sistemi ambientali nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

Ai fini della valutazione del fattore N si considera il valore complessivo di naturalità risultante dalla media ponderale ottenuta moltiplicando i valori rilevati per le singole tipologie di vegetazione per la percentuale di superficie occupata da ciascuna di esse.

3) *Fattore N*

Il fattore N si ricava dalla TABELLA 1.11 utilizzando l'indice di naturalità più elevato fra quelli ottenuti con i metodi sopra esposti.

INDICE DI NATURALITÀ	FATTORE N
1 aree antropizzate fortemente compromesse	1
2 aree antropizzate, ma con possibilità di naturalizzazione	1.15
3 aree naturali / seminaturali con evidenti interventi antropici	1.3
4 aree naturali / seminaturali	1.45
5 aree naturali di grande pregio	1.6

TABELLA 1.11 – Punteggi del parametro naturalità (N) nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

G = Geomorfologia

La geomorfologia di un bacino va ad influenzare la riduzione delle portate naturali conseguente ad una derivazione idrica. Pertanto è stato introdotto un fattore che

attraverso un parametro numerico o mediante categorie descrittive delle varie tipologie di alveo, consente di adeguare l'entità dei rilasci alla morfologia dell'alveo. Per il momento non esiste una scala di valori per il fattore G, che assume solo il valore 1. Il fattore G risulta, all'attuale livello di approfondimento delle conoscenze sulle caratteristiche del bacino, influente per il calcolo del DMV, ma viene mantenuto nella formula per agevolare le modifiche conseguenti a futuri affinamenti. Il punteggio assegnato è pari a 1.

$L_{7.5}$ = Lunghezza

Questo fattore tiene conto della distanza tra l'opera di presa e il punto di restituzione delle acque, cioè della lunghezza del tratto di corso d'acqua che risente della sottrazione di portata. L'algoritmo prescelto per il calcolo del fattore L comporta un aumento del 7.5 % della portata da rilasciare in alveo per ogni km di distanza (D) tra presa e rilascio (misurata lungo l'asta principale) (TAB. 1.12).

LUNGHEZZA PRESA RESTITUZIONE	FATTORE $L_{7.5}$
Aumento dei rilasci del 7.5 % per ogni km di distanza (D) tra presa e restituzione all'alveo delle acque derivate	$1 + (D \times 0.075)$

TABELLA 1.12 – Punteggi del parametro lunghezza ($L_{7.5}$) nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino Regionale del fiume Magra.

M_{10} = Modulazione di portata

L'introduzione di questo fattore risponde all'esigenza ecologica di garantire all'alveo almeno una modesta percentuale delle variazioni di portata che caratterizzano il regime naturale e influenzano i cicli biologici degli organismi acquatici e della vegetazione spondale (TAB. 1.13).

MODULAZIONE DI PORTATA	FATTORE M_{10}
10 % della differenza tra la portata naturale e il DMV senza modulazione	$M_{10} = 0.1 \times (Q_{\text{Naturale}} - \text{DMV}_{\text{Non modulato}})$

TABELLA 1.13 – Punteggi del parametro M_{10} .

Il secondo caso riguarda il calcolo del DMV per derivazioni ad uso irriguo.

In questo caso devono essere rispettati i seguenti tre requisiti:

- $Q_{\text{MaxDer}} \leq 1/3$ portata "abituale" estiva;

- b) $Q_{RilMin} \geq 1/3$ portata “abituale” estiva;
- c) $Q_{MaxDer} \leq 0.46$ l/s della superficie irrigua;

in cui la superficie irrigua viene espressa in ettari e per portata “abituale” estiva si intende la media delle mediane delle serie storiche delle portate medie mensili di luglio, agosto e settembre.

- **AUTORITÀ DI BACINO DEL BACINO PILOTA DEL FIUME SERCHIO**

L'Autorità di Bacino del fiume Serchio ha adottato una formula analoga a quella del fiume Magra, apportando alcune modifiche ed integrazioni. I due bacini presentano affinità climatiche, idrologiche, morfologiche, idrologiche ed idrauliche che hanno consentito di effettuare correlazioni attendibili.

La formula proposta per il calcolo del DMV è la seguente:

$$DMV = S \times R_{Spec} \times P \times A \times E \times Q \times N \times L \times M \quad [1.8]$$

I valori riferiti a ciascun dei fattori presenti nella formula si differenziano da quelli del fiume Magra per la realtà geografica del fiume Serchio. Quelli proposti sono riportati di seguito.

S = Superficie del bacino sotteso dalla derivazione

R_{Spec} = Rilascio specifico pari a 1.6 l/s per km² di bacino

P = Precipitazione media annua nel bacino sotteso dalla derivazione

Per le precipitazioni le classi da utilizzare sono riportate in TABELLA 1.14.

PRECIPITAZIONE MEDIA NEL BACINO (mm)	FATTORE P
< 1200	1
< 1400	1.2
< 1600	1.4
< 1800	1.6
≤ 1800	1.8

TABELLA 1.14 – Punteggi del parametro precipitazione media annua (P) nel metodo proposto dall'Autorità di Bacino del fiume Serchio.

A = Altitudine media del bacino

Le classi da considerare sono (TAB. 1.15):

ALTITUDINE MEDIA DEL BACINO (m s.l.m.)	FATTORE A
< 400	1
< 600	1.1
< 800	1.2
≤ 800	1.3

TABELLA 1.15 – Punteggi del parametro altitudine media annua (A) nel metodo proposto dall’Autorità di Bacino del fiume Serchio.

E = *Permeabilità*

Questo fattore aggiuntivo per il fiume Serchio viene determinato attraverso la realizzazione della carta della permeabilità dei terreni (TAB. 1.16).

PERMEABILITÀ MEDIA DEL BACINO	FATTORE E
bassa	1
media	1.1
alta	1.2
elevata	1.4

TABELLA 1.16 – Punteggi del parametro permeabilità (E) nel metodo proposto dall’Autorità di Bacino del fiume Serchio.

Q = *Qualità biologica delle acque restituite*

Vengono proposte delle classi di qualità biologica individuata con l’Indice Biotico Esteso (TAB. 1.17).

CLASSI DI QUALITÀ BIOLOGICA (METODO I.B.E.)	FATTORE Q_B
I (non inquinato)	1
II (leggermente inquinato)	1.1
III (inquinato)	1.2
IV (nettamente inquinato)	1.3
V (fortemente inquinato)	1.4

TABELLA 1.17 – Punteggi del parametro qualità biologica delle acque restituite (Q) nel metodo proposto dall’Autorità di Bacino del fiume Serchio.

N = *Naturalità*

Il fattore N è valutato in relazione alle vocazioni naturali del territorio ed alla distribuzione delle aree protette (TAB. 1.18).

CLASSI DI NATURALITÀ	FATTORE N
1 aree di grande pregio (Parchi, Riserve Naturali, Statali e Provinciali, SIC, SIR, SIN, ANPIL, AIL, ZPS)	1.8
2 aree protette (zone BCD), a prevalente naturalità di crinale, contigue a parchi e riserve naturali	1.6
3 aree di naturalità diffusa, ambiti di paesaggio della montagna	1.4
4 aree di interesse agricolo primario	1.2
5 aree di interesse agricolo e urbanizzate	1

TABELLA 1.18 – Punteggi del parametro naturalità (N) nel metodo proposto dall’Autorità di Bacino del fiume Serchio.

L = Distanza

Il fattore L è determinato secondo la procedura riportata in TABELLA 1.19.

DISTANZA PRESA RESTITUZIONE	FATTORE L
Aumento dei rilasci del 5 % per ogni km di distanza (D) tra presa e restituzione all’alveo delle acque derivate	$1 + (D \times 0.05)$

TABELLA 1.19 – Punteggi del parametro distanza (L) nel metodo proposto dall’Autorità di Bacino del fiume Serchio.

M = Modulazione di portata

Il fattore M è calcolato attraverso la formula in TABELLA 1.20.

MODULAZIONE DI PORTATA	FATTORE M_{10}
10 % della differenza tra la portata naturale e il DMV senza modulazione	$M_{10} = 0.1 \times (Q_{\text{Naturale}} - DMV_{\text{Non modulato}})$

TABELLA 1.20 – Punteggi del parametro modulazione di portata (M) nel metodo proposto dall’Autorità di Bacino del fiume Serchio.

ALTRE NORMATIVE ITALIANE

I metodi adottate da altre regione italiane sono schematizzati nella TABELLA 1.21.

AUTORITÀ DI BACINO	$DMV = S R_{\text{spec}} P A Q N$
--------------------	-----------------------------------

DEL PO	S = superficie del bacino; $R_{\text{spec}} = 1.6 \text{ l/s}$; P = precipitazione nel bacino; A = altitudine media del bacino; Q = qualità biologica delle acque nel tratto tra la derivazione e la restituzione in alveo; N = naturalità nel tratto tra la derivazione e la restituzione in alveo.
AUTORITÀ DI BACINO DELL'ADIGE	$Q_{\text{dv}} = c S \frac{1}{1000}$ $c = 17 K_s \text{ hdv} \frac{5}{3} \frac{i}{S} \frac{1}{2}$ Q_{dv} = portata corrispondente al deflusso minimo vitale; c = contributo in $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ che consente il Q_{dv}; K_s = coefficiente di scabrezza; S = superficie del bacino in km^2; hdv = altezza liquida minima vitale in m; i = pendenza longitudinale dell'alveo.
AUTORITÀ DI BACINO DEL RENO	Il DMV è pari a $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$.
AUTORITÀ DI BACINO DEI FIUMI ISONZO, TAGLIAMENTO, LIVENZA, PIAVE, BRENTA - BACCHIGLIONE	$Q_{\text{DMV}} = (K_{\text{BIOL}} + K_{\text{NAT}}) \rho \Pi \mu Q_{\text{media}}$ K_{BIOL} = coefficiente di criticità biologica formato da tre subindici: - K_{BENT} = indice di criticità bentonica; - K_{ITT} = indice di criticità ittiologica; - K_{MORF} = indice di criticità morfologica; K_{NAT} = indice di naturalità naturalistica; ρ = coefficiente di riduzione della portata di magra; Π = indice di perennità pari al rapporto tra la Q_{355} e la Q media; μ = coefficiente di moderazione che modula il DMV rispetto alla superficie del bacino: $\mu = 1.9 S^{1/5}$
REGIONE LOMBARDIA	$Q_{\text{DMV}} = 1.6 P A Q N S$ P = precipitazione variabile tra 1 ($P < 1000 \text{ mm}$), 1,4 ($1000 \text{ mm} < P < 1400 \text{ mm}$) e 1.8 ($P > 1400 \text{ mm}$); S = superficie del bacino in km^2; i fattori A (altitudine), Q (qualità biologica) e N (naturalità) sono 1
PROVINCIA DI SONDRIO	$Q_{\text{DMV}} = 1.6 P A Q N S$ P = precipitazione variabile tra 1 ($P < 1200 \text{ mm}$) e 1.8 ($P > 1800 \text{ mm}$); A = altitudine variabile tra 1.2 (0- 400 m di quota), 1 (400 – 600 m), 1.1 (600 – 800 m) 2 1.2 ($A > 800 \text{ m}$); Q = qualità biologica variabile tra 1 (non inquinato) e 1.4 (fortemente inquinato) secondo l'IBE; N = naturalità variabile tra 1 (aree antropizzate) e 2 (aree naturali di gran pregio); S = superficie del bacino in km^2.

TABELLA 1.21 – Quadro riassuntivo dei metodi per il calcolo del DMV utilizzati da alcuni enti provinciali.

1.4 ANALISI DELLA NORMATIVA INTERNAZIONALE

AUSTRIA

La legislazione austriaca non fissa un parametro minimo o una metodologia standard per la determinazione dei rilasci minimi, ma rimanda la loro determinazione a studi specifici per ogni opera. Da alcuni rapporti tecnici su varie opere di captazione, in cui vengono comparate alcune metodologie, si evince che, in prima approssimazione, dovrebbe essere applicato il metodo della legge federale Svizzera della Q_{347} , rimandando l'esatta determinazione del DMV attraverso la metodica del I.F.I.M. (cfr. PAR. 1.5.3).

- **SVIZZERA**

La Confederazione Elvetica, nella legge sulla Protezione delle Acque (1987), riporta una metodologia per il calcolo del deflusso minimo vitale che si basa sulla struttura della formula di Matthey, di cui cambia però i parametri rendendo i risultati più cautelativi. In questo caso la portata minima è determinata sulla base della portata ragguagliata o superata per 347 giorni all'anno (Q_{347}) e il deflusso residuale in alveo viene ricavato dalla TABELLA 1.22.

Q_{347} (l/s)	DEFLUSSO MINIMO (l/s)	% DEFLUSSI
< 60	50	83
160	130	81
500	280	56
2500	900	36
10000	2500	25
> 60000	10000	-

TABELLA 1.22 – Deflusso residuale secondo la normativa Svizzera.

Le percentuali di deflusso minimo sono determinati con la formula di Matthey (cfr. PAR. 1.5.1), mentre per i valori intermedi di Q_{347} è prevista l'interpolazione lineare.

- **FRANCIA**

Nella Legislazione sulla Pesca (20.7.1984, Art. 410) viene recepito il concetto che tutte le opere costruite su un corso d'acqua devono contenere dei dispositivi che garantiscano

un deflusso minimo vitale per il normale svolgimento del ciclo biologico delle specie ittiche. Questo deflusso non potrà essere inferiore al decimo del modulo del corso d'acqua corrispondente alla portata media interannuale valutata su un minimo di anni o alla portata immediatamente a monte dell'opera se questa fosse inferiore. Per corsi d'acqua con modulo superiore a 80 m³/s, decreti del Consiglio di Stato possono attribuire portate minime inferiori che non potranno comunque essere minori a 1/20 del modulo.

- **U.S.A.**

Il criterio utilizzato dalle Agenzie U.S.A per la Protezione dell'Ambiente per determinare gli standards di portata ai fini della qualità dei corsi d'acqua, è basato sulla condizione di magra $Q_{7/10}$, definita come la più bassa portata media su un intervallo di tempo di 7 giorni consecutivi che capita, in media, una volta ogni 10 anni. Tra le altre metodologie maggiormente utilizzate per il calcolo del DMV emerge la metodica dell'Indice di Funzionalità Fluviale (SILIGARDI *et alii*, 2000; cfr. PAR. 8.1.2).

ALTRE NORMATIVE NAZIONALI

Le metodologie adottate da altri stati europei sono riportate nella seguente TABELLA 1.23.

GERMANIA	- portata minima di 7 giorni con un tempo di ritorno di 10 anni - portata minima di 7 giorni con un Tr di 5 anni - da 1/3 a 1/2 della Q_{355} del corso d'acqua
GRECIA	- 1/3 della portata estiva
IRLANDA	- > di 1/10 della portata media del corso d'acqua - tra 1% e 5% della portata media.
NORVEGIA	- uguale alla portata di magra Q_{350}
PORTOGALLO	- > di 1/10 della portata media del corso d'acqua
SCOZIA	- 45% della portata media
SPAGNA	- > di 1/10 della portata media del corso d'acqua
REGNO UNITO	$DMV = 0.125 \div 0.25 Q_{\text{media mensile}}$

TABELLA 1.23 – Quadro riassuntivo dei metodi per il calcolo del DMV utilizzati in alcuni stati europei.

1.4.1 OBIETTIVI DI TUTELA

Dalla rassegna della normativa nazionale e internazionale emerge che non sempre si presentano gli stessi obiettivi di tutela ambientale.

Tra gli obiettivi più frequenti e dichiarati (TAB. 1.24) si trova spesso come fine unico o prioritario la “tutela della vita dei pesci”. Un obiettivo simile ma non equivalente, è la “tutela della pesca”: nella normativa non è chiaro se le specie ittiche da tutelare debbano essere quelle autoctone e/o le specie immesse a scopo sportivo. Altri obiettivi di tutela (Province di Trento e Bolzano) vengono indicati nella “tutela del paesaggio, degli usi potabili e agricoli, qualità delle acque”. Un obiettivo di tutela sicuramente più complicato, a volte ambizioso, è la “tutela dell’ecosistema”, poiché la normativa non sempre è accompagnata da un’esatta definizione di cosa si intende per ecosistema.

	ECOSISTEMA	QUALITÀ ACQUE	PESCA	PAESAGGIO	USI POTABILI E AGRICOLI	SPECIE ITTICHE
Trento	X	X	X	X	X	
Bolzano	X	X	X	X	X	
Piemonte	X					
Svizzera	X	X			X	X
Francia						X
U.S.A.						X

TABELLA 1.24 – Obiettivi di tutela delle diverse normative citate (da VISMARA *et alii*, 1995).

In realtà si potrebbe pensare che a differenti obiettivi di tutela debbano corrispondere differenti procedure di valutazione del deflusso minimo vitale, tarate proprio per il raggiungimento dell’obiettivo minimo di qualità richiesto. Il fatto è che raramente gli obiettivi di tutela vengono evidenziati e ciò comporta che le procedure per il calcolo del deflusso minimo vitale siano ancorate a criteri idrologici.

Pertanto si ritiene utile che i diversi criteri nazionali e internazionali esplicitassero in maniera molto chiara gli obiettivi di tutela, con una definizione più precisa possibile, che non lasci spazio a interpretazioni vaghe e generiche. Inoltre sarebbe importante che gli obiettivi di tutela non si limitassero solo alla vita dei pesci o alla pesca, ma che andassero allargati a tutta una serie di obiettivi per riassumere la qualità ambientale in senso globale come specificato nelle recenti direttive CEE relative alla qualità ecologica delle acque (G.U. n. C222 del 10 agosto 1994). Infatti la qualità ecologica delle acque secondo le direttive CEE va intesa come: *“un’espressione generale della struttura e della funzione della comunità biologica, tenuto conto dei fattori naturali, geomorfologico, geografici e climatici, nonché delle condizioni fisiche e chimiche, in particolare quelle risultanti da attività umane. Devono essere prese in considerazione anche le caratteristiche estetiche dell’area”*.

1.5 APPROCCIO METODOLOGICO AL CALCOLO DEL DMV

Come si evince da una prima panoramica dei metodi e della normativa, l'enfasi iniziale era posta sulla determinazione del DMV per la protezione di alcune specie ittiche. È stato necessario quindi proporre altri approcci metodologici, che non tenessero conto solo di esigenze specifiche e che potessero avere una validità e applicabilità generale, tenendo conto delle diverse realtà geografiche e della vasta gamma di regimi che contraddistinguono i corsi d'acqua.

La tipologia di indagine richiesta per la definizione del DMV può essere distinta in:

- *indagine di tipo teorico*: la portata viene ricavata per via indiretta, calcolando parametri correlabili alla portata stessa, come quelli che descrivono le caratteristiche del bacino e dell'alveo;
- *indagine di tipo sperimentale*: la priorità viene data ad obiettivi specifici come la protezione di una specie di riferimento e le portate si ricavano da una relazione tra una variabile idraulica o strutturale del corso d'acqua e l'esigenze ecologiche della specie considerata.

In seguito a casi specifici ed alle esperienze condotte, nell'indagine di tipo teorico sono state introdotte delle variabili correttive che fanno riferimento ad aspetti non considerati precedentemente, passando così da metodi teorici a metodi ibridi, cioè una combinazione di elementi teorici legati alle caratteristiche del bacino.

Le varie metodologie che rientrano nell'indagine di tipo teorico possono essere schematizzate in categorie sulla base dell'approccio utilizzato:

- *L'approccio idrologico* impiega unicamente dati idrologici e fornisce come risultato un valore di portata minima, rappresentato quasi sempre da una portata di magra o da una sua frazione. L'applicazione è relativamente semplice e rapida, a condizione di possedere i dati storici necessari; i risultati sono difficilmente stimabili e non tengono conto di tutto il complesso insieme di variabili ambientali che interagiscono e che concorrono a determinare l'habitat fluviale ed il suo ecosistema (per esempio la legislazione Francese,).
- *l'approccio idrologico-morfologico* si basa sulla correlazione tra la portata minima di rilascio e l'area del bacino sottesa dalla derivazione o con altre variabili di tipo geografico o morfologico (per esempio Provincia di Bolzano, Provincia di Torino, Metodo Montana).

- l'*approccio statistico* che richiede la costruzione di curve di durata delle portate naturali, sulla quale si individua la portata di DMV fissando un numero di giorni di riferimento (per esempio Q_{347} , Q_{355} ..., il caso della Svizzera).

I vari approcci di tipo teorico sono schematizzati in FIGURA 1.2, dove si nota che all'aumentare dell'area del bacino, la portata minima raccomandata aumenta (a); lo stesso accade nel caso in cui la portata raccomandata sia una percentuale fissa della portata media (b). Nel caso in cui la variabile considerata sia un particolare valore della durata del deflusso, la portata minima decresce all'aumentare di questa variabile (c).

I metodi sperimentali si basano principalmente sull'*approccio biologico* (cfr. FIG. 1.2). Questo fa riferimento alle esigenze ambientali di una o più specie indicatrici della comunità biologica fluviale e fornisce come risultato un valore di biomassa o un indice di qualità dell'habitat in funzione della portata del corso d'acqua. La relazione deriva da misure sperimentali o da modelli di simulazione idraulica. Si ottiene infine una curva in cui il punto di cambiamento di pendenza (punto di rottura) definisce il valore ottimale di portata minima.

I limiti sono la complessità e l'elevato sforzo sperimentale richiesto e il fatto che i risultati devono essere ulteriormente elaborati per arrivare alla definizione di una portata di DMV. Il vantaggio è quello di fornire risultati che si riferiscono direttamente allo stato della comunità biologica acquatica, la cui attendibilità può essere verificata tramite sperimentazione in campo (per esempio il metodo del perimetro bagnato (d; cfr. PAR. 1.5.3), PHABSIM (e; cfr. PAR. 1.5.3), HQI (f; cfr. PAR. 1.5.2).

I metodi ibridi non sono associabili ad uno dei gruppi descritti precedentemente: possono prendere spunto dall'approccio teorico inserendo però delle componenti biologiche. Sono tra le metodiche più utilizzate perché descrivono bene l'eterogeneità del sistema fluviale ed esprimono la specificità di ogni caso di studio.

Probabilmente nella stima del DMV, finalizzato alla tutela dell'ecosistema, gli approcci biologici sono i più idonei, mentre quelli idrologici sono lo strumento idoneo per esportare ed applicare i risultati ottenuti sperimentalmente al di fuori dell'ambito di studio.

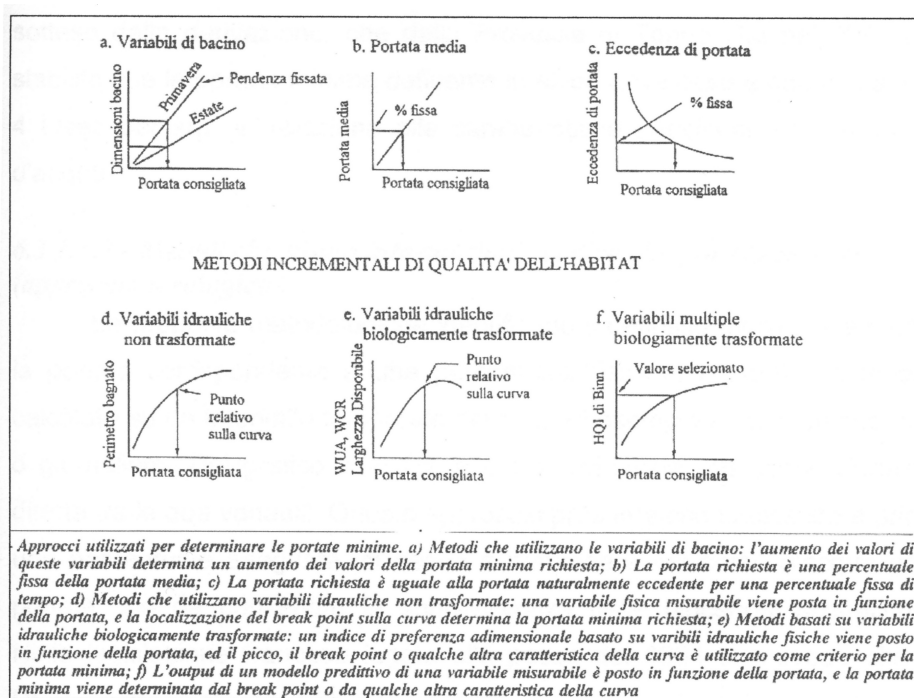


FIGURA 1.2 – Metodi teorici per il calcolo del deflusso minimo vitale (da RENOLDI *et alii*, 1995).

In particolare i metodi sviluppati per la stima del DMV possono essere classificati secondo 3 categorie di complessità, dipendenti dai dati e dalle attività di campagna richiesti per la loro applicazione:

- I categoria: comprende quei metodi basati su variabili idrologiche e morfologiche semplici, come la portata media annua o il contributo specifico o la superficie del bacino;
- II categoria: ricadono tutti i metodi che coinvolgono l'analisi di poche variabili rappresentative dell'habitat della specie di riferimento in una sola sezione di controllo;
- III categoria: coinvolge l'analisi delle caratteristiche ambientali per una molteplicità di specie di riferimento in più sezioni del tratto d'alveo indagato, in modo da descriverne le caratteristiche morfologiche e idrauliche.

Se si considerano le variabili in ingresso (TAB. 1.25) si può parlare di metodi con risposta differente in relazioni ai dati in input (FIG. 1.3). Se le variabili di input sono di tipo idrologico, la risposta fornita è anch'essa un parametro idrologico e il modello viene definito idrologico-idrologico. Se la risposta fornita è invece di tipo biologico, il modello viene classificato idrologico-biologico. Se tra le variabili di input c'è anche solo una variabile biologica, il criterio viene definito biologico-biologico.

PARAMETRI	TIPO	CRITERI IDROLOGICI	CRITERI IDROLOGICI-BIOLOGICI	CRITERI BIOLOGICI
Portata	P	X	X	X
Larghezza fiume	I	X	X	X
Substrato	F	X	X	X
Area vegetazione	S	X	X	X
Tipo di copertura	S		X	X
Gradiente	I	X	X	X
Profondità	I	X	X	X
Velocità corrente	I	X	X	X
Temperatura	F	X	X	X
Erosione sponde	S	X		X
Rifugio ittiofauna	S	X	X	X
Area bacino	B	X		
Altitudine bacino	B	X		
Pendenza fiume	I	X		
Raggio idraulico	I	X		
Perimetro bagnato	I	X	X	
Torbidità	C		X	X
Temperatura	F		X	X
O ₂ disciolto	C		X	X
PH	C		X	X
Densità specie ittica	B			X
NO ₃	C		X	X
% pools e/o riffles	S		X	X
Salinità	C		X	X
Stagione di crescita	B		X	
Precipitazione				X
Durezza	C		X	X
Biomassa	B			X
Solfati	C		X	
Fosfati	C		X	X
Conducibilità	C		X	X
Alcalinità	C		X	X
Carbonio totale	C		X	X
BOD ₅	C			X
Colore Pt	C			X
N° specie ittiche	B			X
Solidi disciolti	C		X	X
N° celle			X	
Densità zooplancton	B			X
% cibo per pesci	B			X
N° giorni senza gelo	B			X

TABELLA 1.25 – Lista delle variabili utilizzate nei diversi criteri di stima del minimo vitale (P = portata; B = biologiche; C = chimiche; F = fisiche; I = idrauliche; S = strutturali; da EPRI, 1986).

Di seguito sono descritti più in dettaglio i metodi con risposte idrologiche (cfr. PAR. 1.5.1), con risposta biologica (cfr. PAR. 1.5.2) e la metodologia dei microhabitat (cfr. PAR. 1.5.3).

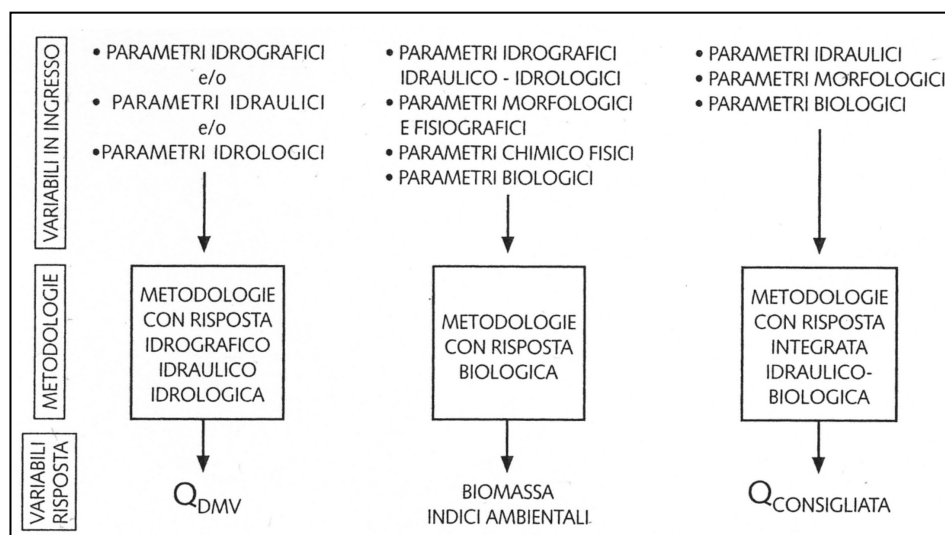


FIGURA 1.3 – Aspetto ecologico. Schematizzazione delle principali metodologie di approccio con variabili in ingresso e/o risposta riconducibili a portate (da RENOLDI *et alii*, 1995).

1.5.1 METODOLOGIE CON RISPOSTA IDROLOGICA

Le metodologie basate su parametri idrologici forniscono stime puramente indicative del DMV, in quanto la vita acquatica è condizionata non solo dal parametro “portata minima”, ma anche da un insieme molto ampio di variabili spesso mutuamente dipendenti, la cui influenza è spesso legata allo stadio di sviluppo delle specie da tutelare.

Le metodiche idrologiche prevedono il calcolo del deflusso minimo vitale a partire da parametri sintetici, quali la portata media, annuale o mensile del corso d’acqua studiato o un particolare valore di “magra” o della durata dei deflussi. Sono pochi i casi in cui questi metodi si sviluppano su osservazioni sperimentali integrate idraulico – idrologiche e ambientali.

Le componenti che fanno parte di un’analisi idrologica delle minime portate sono sostanzialmente tre.

Il primo elemento è connesso con lo studio probabilistico delle minime portate in genere annuali. A questa analisi segue la rappresentazione probabilistica delle magre che tiene conto dell’influenza esercitata sull’evento dalla stagione. Infine sono necessarie le

elaborazioni effettuate sulle magre, intese come periodi in cui la portata del corso fluviale si mantiene inferiore ad un determinato valore soglia di riferimento.

L'ipotesi principale che sta alla base della maggior parte delle procedure di questo tipo è quella relativa alla quantità del deflusso idrico come variabile fondamentale nella definizione della qualità dell'habitat fluviale. Ciò implica che, indipendentemente dalle condizioni di temperatura, di qualità dell'acqua e della geomorfologia dell'alveo fluviale, la sopravvivenza delle specie fluviali dipende essenzialmente dalla quantità di acqua che scorre nel fiume. Questa assunzione potrebbe essere sufficientemente corretta per qualche specie ed in ambiti territoriali e ambientali ristretti e naturali, risulta difficilmente generalizzabile, soprattutto nel contesto dei corsi d'acqua italiani, molto differenti per regimi idrologici, per scenari ambientali, per condizioni idrogeologiche, per pressioni antropiche, ecc.

Le difficoltà principali e le incertezze nell'applicazione dei metodi idrologici riguardano i seguenti aspetti:

- scarsa disponibilità di dati di portata;
- i deflussi di magra misurati e/o misurabili non sono quasi mai quelli naturali, e sono soggetti a notevole variabilità lungo l'asta del corso d'acqua;
- forte incertezza nella stima dei deflussi di magra, anche se sono presenti stazioni idrometrografiche dotate di scale di portata aggiornate;
- può non esserci correlazione tra conservazione dell'habitat per una data specie e portata di magra assolute;
- gli effetti ambientali dipendono molto, a parità di portata, anche dalla forma e struttura dell'alveo;
- la validità dei risultati ottenuti dall'applicazione di tali metodi non è facilmente verificabile.

L'impiego delle metodologie idrologiche offre aspetti vantaggiosi quali:

- i metodi sono generalmente di semplice applicazione e risultano indicativi, quando non si hanno altre informazioni ambientali o quando si deve condurre un'indagine rapida e poco onerosa;
- i risultati sono di facile lettura e quindi non sorgono problemi di interpretazione soggettiva, infatti tali metodi forniscono un valore di portata che andrebbe inteso come un ordine di grandezza;
- possono essere impiegati senza troppe modifiche alla maggior parte dei corsi d'acqua.

- **FORMULA DI MATTHEY**

Tra i metodi idrologici proposti in letteratura la formula di Matthey (da EPRI, 1996) è largamente utilizzata dalla Confederazione svizzera ed è stata ripresa e modificata per la realtà dei bacini alpini italiani.

La formula empirica di Matthey è stata sviluppata negli anni '70 in base alle osservazioni raccolte su differenti fiumi del Cantone Vaud al fine di determinare il deflusso residuale necessario per l'acqua vescicola.

Ha il vantaggio di tener conto dell'effetto di "concentrazione" delle portate all'aumentare del bacino idrografico e lo svantaggio di utilizzare le percentuali della curva di durata; questo implica la disponibilità di serie storiche di portate giornaliere sufficientemente ampie e valide.

La formula si basa su una funzione di tipo logaritmico:

$$DM = 15 \times \frac{Q_{300}}{(\ln Q_{300})^2} \quad [1.9]$$

in cui DM esprime il deflusso minimo e la Q_{300} la portata raggiunta o superata in media durante 300 giorni all'anno.

Essendo a volte i valori richiesti per l'applicazione della formula non disponibili, soprattutto in Italia, la formula di Matthey è stata modificata, introducendo la portata media annua $\bar{Q}$ di più facile determinazione, unita ad un coefficiente α che viene assunto prossimo o pari al coefficiente di perennità (rapporto tra la portata di magra e la portata media, solitamente variabile tra 0.05 e 0.3):

$$DMV = k_1 \times 10 \times \frac{\alpha \cdot \bar{Q} \cdot k_2}{[\ln(\alpha \cdot \bar{Q} \cdot k_2)]^2} \quad [1.10]$$

Il DMV e la $\bar{Q}$ sono espressi in l/s, k_1 è un fattore relativo allo specifico tratto mentre k_2 dipende dall'area; entrambi possono essere maggiori o pari a 1.

- **METODO MONTANA**

Il metodo Montana (TENNANT, 1976) è uno dei metodi più diffusi basato su variabili idrologiche semplici che viene impiegato in U.S.A.

Sulla base di numerose osservazioni di campo su circa 100 tratti d'alveo condotte negli stati del Montana, Wyoming e Nebraska, TENNANT (1976) ha riconosciuto che la qualità ambientale di molti corsi d'acqua è sensibilmente costante quando le portate defluenti in alveo sono pari ad un'assegnata percentuale della portata media annua. È stato creato così un metodo per la stima del DMV in cui la qualità ambientale del corpo idrico è funzione di una percentuale della portata media annua (TAB. 1.26).

PORTATA	OTTOBRE-MARZO	APRILE-SETTEMBRE
Massima	200	200
Ottima	60÷100	60÷100
Più che eccellente	40	60
Eccellente	30	50
Buona	20	40
Scarsa	10	30
Insufficiente	10	10
Molto insufficiente	10÷0	10÷0

TABELLA 1.26 – Percentuali della portata naturale secondo il Metodo Montana (da TENNANT, 1976).

Il metodo citato fissa nel 10 % della portata media annua il minimo deflusso capace di assicurare un habitat appena accettabile per brevi intervalli di tempo; il 30 % assicura un ambiente eccellente; nell'intervallo 60÷100 % si verificano le migliori condizioni ambientali; viene infine fissato al 200 % il valore della massima portata fluente. Vengono proposti diversi valori percentuali relativi a due diversi periodi di analisi, tenendo conto delle naturali variazioni stagionali; per la stagione umida si considerano i mesi tra ottobre e marzo, mentre per la stagione secca il periodo tra aprile e settembre.

Il metodo essendo molto semplice e facile da applicare permette di valutare con continuità l'influenza dell'alterazione dei deflussi sulla vita acquatica.

Il metodo Montana è nato per rispondere all'esigenza di sopravvivenza delle popolazioni dei salmonidi sui corsi fluviali che presentano un regime sicuramente diverso da quello dei corsi d'acqua italiani. L'applicazione di tale metodo a casi italiani può portare a valori di DMV impropri, che vanno calibrati caso per caso.

Infine il metodo Montana fornisce una regola di regionalizzazione, in quanto è basato sul calcolo della portata per diversi livelli di qualità ambientale, in funzione della portata media del corso d'acqua. Quest'ultimo parametro, in un'area climaticamente omogenea, può essere correlato a parametri di tipo idro-geo-morfologici di facile acquisizione, quali la pluviometria media, la superficie di drenaggio e l'indice di deflusso di base (CASA DEI & MANCIOLA, 1990).

- **IL METODO DEL $Q_{7/10}$**

Il metodo del $Q_{7/10}$ è stato impiegato negli U.S.A. come indicatore dello standard di qualità dell'habitat acquatico (SINGH, 1974). Alcuni studi più recenti hanno suggerito di assegnare al $Q_{7/10}$ anche un significato di minima portata per la conservazione della vita dei pesci (CALENDA & UBERTINI, 1993), in quanto si ritiene che tale portata, sebbene dedotta da serie storiche di portate, possa rappresentare il valore di soglia delle minime portate di magra che consentono la permanenza della biocenosi acquatica del tratto d'alveo di interesse. Tale assunzione trova parziale conferma nei risultati legati alla regionalizzazione delle portate ottimali per il microhabitat fluviale (ORTH & LEONARD, 1990; FIG. 1.4).

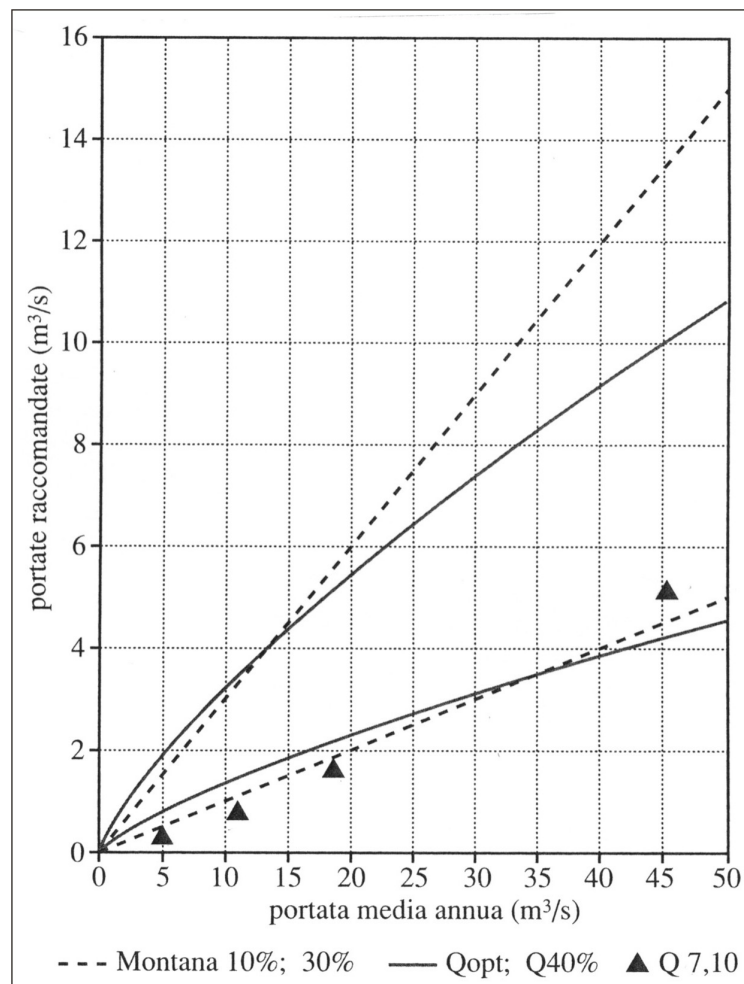


FIGURA 1.4 – Portata media annua e portate raccomandate (metodo Montana, metodo dei microhabitat ottimizzato, $Q_{7/10}$; da ORTH & LEONARD, 1990).

Una tecnica di regionalizzazione del metodo del $Q_{7/10}$ è basata sull'indice di deflusso di base (BFI; CALENDA & UBERTINI, 1993) l'indice di deflusso di base di un bacino

idrografico esprime, in termini percentuali, l'entità dei deflussi rilasciati in tempi differiti dalle formazioni acquifere. Il BFI può essere stimato attraverso il metodo di LVOVITCH (1972) che si basa sulla scomposizione dell'idrogramma delle portate giornaliere esteso su un periodo sufficientemente lungo. Il metodo fornisce un criterio per ricavare dall'idrogramma la componente imputabile ai deflussi di base. L'indice BFI si calcola quindi come rapporto tra il volume annuo dei deflussi di base (V_b) ed il corrispondente volume dei deflussi totali (V_a) registrati nella stazione di interesse:

$$BFI = 100 \times \frac{V_b}{V_a} \quad [1.11]$$

Il BFI calcolato secondo la procedura di LVOVITCH può essere interpretato come un indicatore di magra, e in quanto tale, correlabile al $Q_{7/10}$ (MANCIOLA, 1991).

METODO DURATA DEL DEFLUSSO

Un'altra tecnica comunemente impiegata per il calcolo del deflusso minimo vitale si basa sull'analisi della durata del deflusso e principalmente sulla curva deflusso-durata (BOVEE, 1997), che esprime la frequenza cumulativa delle probabilità che un deflusso venga eguagliato o superato (FIG. 1.5). In particolare viene considerato maggiormente il livello di superamento del 95 %, che indica che nel 95 % dell'arco di tempo considerato ci sarebbe almeno questa quantità d'acqua disponibile. Questo concetto in U.S.A. viene chiamato "*firm yield*" (portata stabile) ed è considerato un modo possibile per accertare un deflusso minimo.

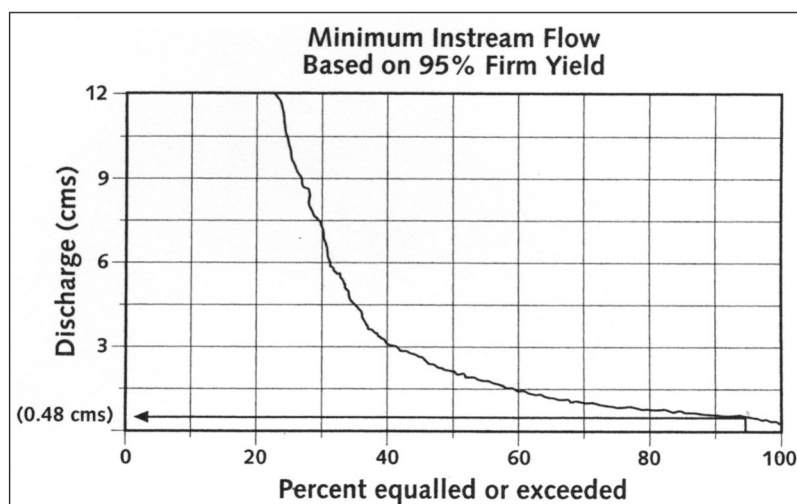


FIGURA 1.5 – Curva deflusso durata (da BOVEE, 1997).

- **METODO DI BAXTER**

La metodologia proposta da BAXTER (1961) è finalizzata alla salvaguardia della specie del Salmone Atlantico ed è stata tarata con studi condotti su 15 corsi d'acqua piccoli e grandi della Scozia e dell'Inghilterra. BAXTER ha rilevato il rapporto tra la portata dei corsi d'acqua e la larghezza ottimale della sezione idrica, deducendo, mese per mese, la percentuale della portata media giornaliera necessaria per il ciclo vitale dei salmoni. Queste percentuali sono riportate in TABELLA 1.27.

MESI	PERCENTUALE DELLA PORTATA MEDIA GIORNALIERA	
	PICCOLI CORSI D'ACQUA	GRANDI CORSI D'ACQUA
Ottobre	15 – 12.5	15 – 12.5
Novembre	25	15
Dicembre	25 – 12.5	15 – 10
Gennaio	12.5	10
Febbraio	12.5	10
Marzo	20	15
Aprile	25	20
Maggio	25	20
Giugno	25 – 20	20 – 15
Luglio	20 – 15	15 – 12.5
Agosto	15	15 – 12.5
Settembre	15 – 12.5	15 – 12.5

TABELLA 1.27 – Portate minime proposte da BAXTER (1961).

1.5.2 METODOLOGIE CON RISPOSTA BIOLOGICA

Le metodologie biologiche hanno lo scopo principale di valutare il grado di idoneità di un corso d'acqua ad ospitare alcune specie ittiche di particolare valore biologico ed economico. Lo scopo prefissato è quello di determinare la qualità ambientale di un fiume avendo come punto di riferimento una ben determinata specie, nella maggior parte dei casi i salmonidi.

Tali metodologie hanno una struttura di tipo empirico perché la risposta è una grandezza biologica direttamente misurabile in campo. Molte di queste metodiche si basano su modelli di regressione multipla tra un insieme di variabili ambientali che caratterizzano il corso d'acqua e la risposta. I metodi biologici sono quindi subordinati alla disponibilità di informazioni sperimentali, sia riguardo la risposta sia riguardo le variabili che si intendono correlare alla variabile risposta.

È difficile selezionare e stimare tutte le variabili che influenzano la stabilità di una popolazione in un corso d'acqua; oltre alla complessità di fenomeni presenti nelle popolazioni ittiche, si aggiungono fattori non dipendenti dalle caratteristiche ambientali, quali la pesca sportiva e tutte le operazioni commerciali ad essa legate. Tali pressioni sono spesso non quantificabili e poco controllabili.

Inoltre i parametri delle relazioni funzionali, ottenute applicando il modello scelto, sono in generale sito-specifici e poco generalizzabili a realtà differenti. Da ciò consegue che i modelli di questo tipo sono validi esclusivamente in zone analoghe a quelle in cui sono stati sviluppati e quindi la loro applicazione è subordinata ad una verifica della loro validità.

- ***HQI (HABITAT QUALITY INDEX)***

L' HQI (BINNS & EISERMAN, 1979; BINNS, 1979; BINNS, 1982) è un modello che è stato inizialmente sviluppato come strumento di valutazione dell'habitat fluviale dei salmonidi. Successivamente è stato utilizzato anche per predire la capacità portante di un corso d'acqua per i salmonidi e per valutare gli effetti su di essa di alterazioni ambientali. Il metodo implementato nel modello HQI può essere utilizzato come criterio di definizione delle portate minime vitali di un fiume, in quanto permette di quantificare i cambiamenti nella capacità portante dei salmonidi che si verificano per differenti portate. In particolare è basato su una regressione multipla tra la biomassa di trote e dieci parametri ambientali di tipo fisico, chimico e biologico relativi al corso d'acqua studiato (TAB. 1.28).

Determinando i valori dei dieci parametri, sulla base degli intervalli in cui ricadono è possibile assegnare loro un punteggio da 0, riferita alla situazione peggiore, a 4, relativa alla situazione migliore. Attraverso l'applicazione dell'equazione del modello è possibile stimare la capacità portante teorica del corso d'acqua in termini di biomassa di trote per ettaro di corso d'acqua.

Variabile	Simbolo	Punteggio				
		0	1	2	3	4
Portata media di agosto rispetto alla portata media annua (%)	X1	10	10-15	16-25	25-55	>55
Variazioni annuali di portata	X2	>500	100 - 499	40 - 99	16 - 39	0-15
Temperatura massima estiva (°C)	X3	<6; >26.4	6-8; 24.2-26.3	8.1-10.3; 21.5-24.1	10.4-12.5; 18.7-21.4	12.6-18.6
N-NO3 (mg/l)	X4	<0.01; >2.0	0.01-0.04; 0.91-2.0	0.05-0.09; 0.51-0.90	0.10-0.14; 0.26-0.50	0.15-0.25
Abbondanza macrobenthos (N°/0,1mq)	X5	<25	25-99	100-249	250-500	>500
Diversità macrobenthos	X6	<0.80	0.80-1.19	1.20-1.89	1.90-3.99	>4.0
Rifugi (%)	X7	<10	10-25	26-40	41-55	>55
Lunghezza delle sponde in erosione (%)	X8	75-100	50 - 74	25 - 49	10-24	0-9
Substrato	X9	Vegetazione sommersa assente	Vegetazione sommersa scarsa	Macchie occasionali di vegetazione sommersa	Macchie frequenti di vegetazione sommersa	Vegetazione sommersa ben sviluppata e abbondante
Velocità (cm/s)	X10	<8; >122	8-15.4; 106.6-122	15.5-30.3; 91.4-106.5	30.4-45.5; 76.1-91.3	45.6-76
Larghezza alveo (m)	X11	<0.6; >46	0.6-2; 23-46	2.1-3.5; 15.1-22.9	3.6-5.3; 6.7-15	5.4-6.6

TABELLA 1.28 – Elenco delle variabili per l'applicazione del modello HQI (da BOVEE, 1997).

L'equazione da applicare è la seguente:

$$\text{Modello I: } (-1.18257) + (0.97329) \times \log_{10} (x_1 + 1) + (1.65824) \times \log_{10} (x_2 + 1) + (1.44821) \times \log_{10} (x_3 + 1) + (0.30762) \times \log_{10} (P) = \log_{10} (Y + 1)$$

$$\text{Modello II: } (-0.903) + (0.807) \times \log_{10} (x_1 + 1) + (0.877) \times \log_{10} (x_2 + 1) + (1.233) \times \log_{10} (x_3 + 1) + (0.631) \times \log_{10} (F + 1) + (0.182) \times \log_{10} (S) = \log_{10} (Y + 1)$$

dove:

$$Y = \text{HQI} = \text{kg di trota ha}^{-1};$$

$$P = x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_{10} + x_{11} + 1;$$

$$F = x_3 + x_4 + x_9 + x_{10} + 1;$$

$$S = x_7 + x_8 + x_{11} + 1;$$

con:

x_1 = portata della tarda estate (% della portata media giornaliera);

x_2 = variazione annua della portata del fiume (picco annuo di portata/minimo annuo di portata);

x_3 = massima temperatura estiva dell'acqua (°C);

x_4 = azoto nitrico (mg/l);

x_5 = abbondanza dei macrovertebrati;

x_6 = diversità dei macrovertebrati;
 x_7 = % dei rifugi (% dell'area superficiale);
 x_8 = % delle sponde erose dal fiume (% della lunghezza totale);
 x_9 = quantità relativa della vegetazione sommersa;
 x_{10} = velocità dell'acqua;
 x_{11} = larghezza del fiume (media da bordo a bordo a portate basse).

Dal momento che il risultato dell'HQI è una biomassa, per definire il DMV tramite questa metodologia, è necessario stabilire una relazione tra biomassa e portata. A tal fine vengono stimati i parametri che variano con la portata per differenti valori della stessa e attraverso il modello viene calcolata la biomassa corrispondente.

Il risultato consiste in una curva che mostra come varia la biomassa delle trote al variare della portata e tramite questa è possibile individuare i valori critici di portata per i quali si hanno importanti variazioni della biomassa. Il DMV potrà quindi essere scelto in modo da minimizzare la perdita di biomassa. Il modello viene successivamente calibrato attraverso opportuni campionamenti di fauna ittica.

1.5.3 METODOLOGIE DEI MICROHABITAT

La metodologia dei microhabitat si basa sulla procedura implementata dal programma PHABSIM ed è considerata una delle metodiche più complete nell'analisi dei deflussi minimi vitali.

Il metodo prevede una correlazione tra la popolazione ittica o biologica di riferimento e l'Area Disponibile Ponderale (ADP; cfr. FIG. 1.7) necessaria alla sopravvivenza di tale specie; per questa relazione non è stata ancora messa a punto una correlazione statisticamente significativa. I punti critici riguardano:

- la rappresentatività del tratto modellato rispetto all'intero corso d'acqua;
- l'ipotizzare il tratto dell'alveo e la composizione del substrato stabili nel tempo;
- il non tener conto delle altre variabili importanti, come ad esempio la quantità di nutrimento e la qualità dell'acqua, e considerare le variabili tiranti, velocità e substrato tra loro indipendenti;
- la scelta delle specie biologiche rappresentative per il tratto fluviale in esame;

- le rilevanti incertezze sulle reali preferenze nell’habitat dei pesci legate alla temperatura, alla stagione, al ciclo del giorno, ecc;
- l’impiego di curve di preferenza presenti in letteratura e ottenute in altri contesti ambientali e/o specie diverse da quelle locali;
- il significato ed il peso da attribuire ai singoli stadi vitali di sviluppo;
- la metodologia di calcolo dell’indice sintetico finale dell’ADP;
- l’interpretazione e l’impiego delle curve ADP - portata ed in particolare il passaggio dal valore ottimale del DMV.

Nonostante le problematiche evidenziate la metodologia dei microhabitat è in continua evoluzione e negli ultimi anni sono stati approfonditi molti aspetti ed eliminate molte incertezze sull’applicabilità del metodo. Il risultato ottenuto, se adeguatamente interpretato, costituisce una quantificazione oggettiva degli effetti di una variazione di portata sulle specie ittiche e biologiche, rappresentando quindi uno strumento decisionale di notevole importanza.

• ***METODO INSTREAM FLOW INCREMENTAL METHODOLOGY (IFIM o METODOLOGIA INCREMENTALE PER IL DEFLUSSO VITALE)***

Questa metodologia (BOVEE, 1982), è stata messa a punto da *Instream Flow Group (IFG)*, sotto la responsabilità della *United States Fish and Wildlife Service* e nasce come risposta alle problematiche ambientali legate alla gestione ed allo sfruttamento della risorsa idrica.

IFIM è una complessa struttura analitica e concettuale, creata allo scopo di comprendere e gestire problemi legati alla variazione dei regimi fluviali dovuta all’azione antropica, con particolare riferimento alle portate dei corsi d’acqua (STALNAKER *et alii*, 1995).

Il risultato che si ottiene è una relazione funzionale tra portata e dimensione dell’habitat disponibile specificatamente per una specie di pesci o di invertebrati acquatici (FIG. 1.6).

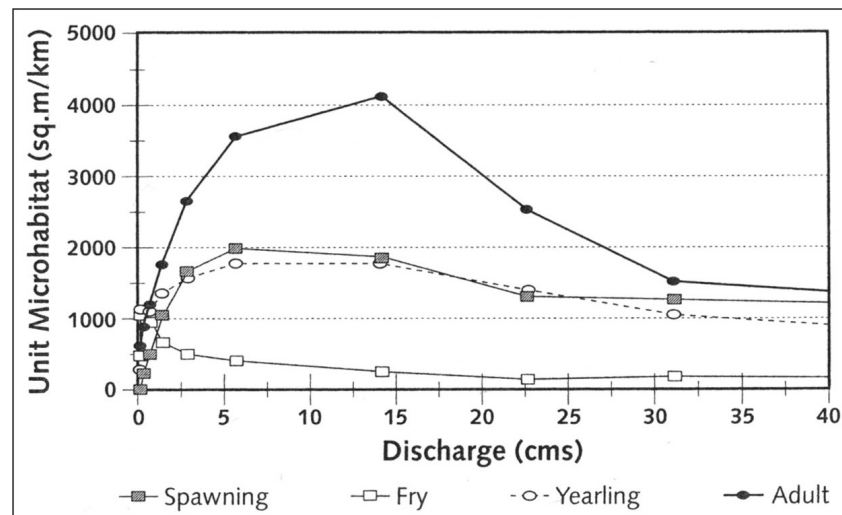


FIGURA 1.6 – Relazione tra unità di microhabitat e portata (da BOVEE, 1997).

La scelta dell'habitat come variabile decisionale dello stato di sopravvivenza degli organismi acquatici è dovuta al fatto che l'IFIM è stato appositamente creato per quantificare gli impatti sull'ambiente e che le modifiche dell'habitat sono le più evidenti manifestazioni di variazioni di portata (STALNAKER *et alii*, 1995).

Attraverso l'analisi combinata di più variabili ambientali, come la struttura fisica dell'habitat, la qualità chimica delle acque e il regime di portata, IFIM consente di predire la modificazione subita da un habitat al variare delle condizioni idrauliche di un corso d'acqua. Per una corretta applicazione del IFIM è stato necessario creare una classificazione gerarchica dell'intero habitat fluviale: si possono distinguere tre principali livelli: macro, meso e microhabitat.

Si parla di macrohabitat in relazioni a porzioni longitudinali del corso d'acqua all'interno delle quali le condizioni chimiche e fisiche influenzano l'idoneità dell'intero segmento di fiume per tutti gli organismi acquatici. Per macrohabitat si intende una porzione di fiume definita dalla geometria del letto fluviale con caratteristiche simili, quali la pendenza, la larghezza, la profondità e il substrato. Tali unità geomorfologiche del corso d'acqua sono comunemente definite dai termini *pool*, *run* e *riffle*. Il microhabitat, infine, si riferisce a piccole e localizzate aree all'interno del mesohabitat, utilizzate dagli organismi acquatici durante le varie fasi della loro esistenza, come periodo riproduttivo. Il microhabitat è identificato come l'area del corso d'acqua dove si riscontrano condizioni omogenee di profondità, velocità, substrato e copertura di fondo (questi ultimi definiti come *Channel Index*). Tali aree con caratteristiche omogenee, definite celle, devono essere considerate come unità di base nell'ambito del calcolo del deflusso minimo vitale su base biologica.

Nell'applicazione del metodo viene considerata una schematizzazione del letto fluviale in segmenti omogenei per ognuno dei quali è possibile definire una serie di variabili idrauliche e geometriche in ingresso al modello e, di conseguenza, un indice sintetico dello stato del sistema relativo al segmento.

La schematizzazione in tratti omogenei conduce ad un'ulteriore discretizzazione da cui risulta una mappa di caratteristiche porzioni di fiume rappresentate come un mosaico di celle tridimensionali (FIG. 1.7). Per ogni portata simulata ciascuna cella presenta una combinazione unica di profondità, velocità, substrato e copertura del fondo (*Channel Index*). Ad ogni cella viene quindi applicata l'informazione relativa alle caratteristiche della specie ittica, rappresentata dai valori di idoneità ambientale (S_i) riportati sulle curve di idoneità, che moltiplicati per la superficie della cella (A_i) forniscono un valore che, sommati ai valori ottenuti per le altre celle del tratto omogeneo, determina l'Area Disponibile Ponderata (ADP) riferita ad un prefisso valore di portata in alveo.

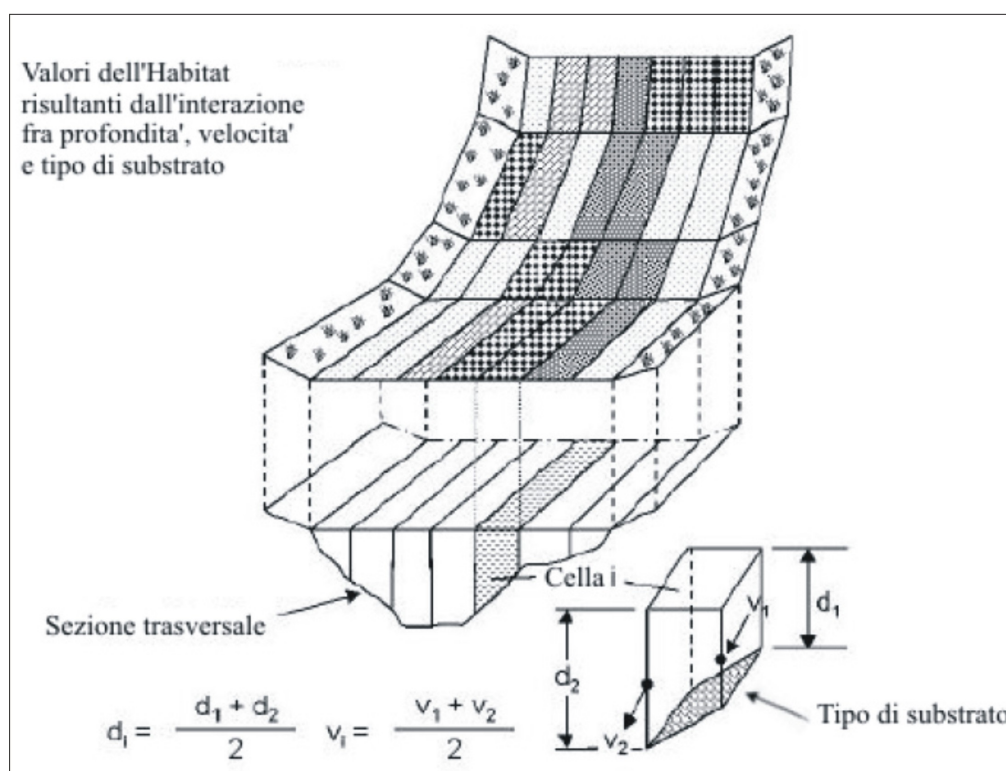


FIGURA 1.7 – Suddivisione di un tratto del corso d'acqua in celle (da STALNAKER *et alii*, 1995).

Quindi divisa ciascuna sezione di larghezza w in n intervalli Δw , vengono rilevati i valori locali di velocità media sulla superficie (v_i), di altezza (d_i) e di caratteristiche di substrato (s_i) e copertura (c_i), essendo questi i parametri che influenzano il microhabitat dei pesci. Parallelamente vengono effettuate dei campionamenti ittici per analizzare le

preferenze ambientali di ciascuna specie, considerando i vari stadi vitali. I risultati vengono riassunti in curve di idoneità che esprimono il grado di preferenza S_i verso il microhabitat, variabile in funzione dell'altezza (S_d), della velocità (S_v), del substrato (S_s) e della copertura dell'alveo (S_c). Indicata A_i l'area orizzontale di ciascuna cella di larghezza Δw , l'Area Disponibile Ponderata (ADP), può essere data dalla seguente relazione:

$$ADP = \sum_{i=1}^n A_i \times (S_d \times S_v \times S_s \times S_c)_i \quad [1.12]$$

Il calcolo dell' ADP viene ripetuto per diversi valori di portata e rappresenta una misura che utilizza la combinazione di qualità e quantità dei microhabitat per esprimere le unità di area disponibile.

I valori di ADP totale relativi ad ogni portata consentono la determinazione delle curve ADP – portata, che costituiscono il risultato primario dell'applicazione del modello. Le curve ADP – portata esprimono quindi, la variazione con la portata della quantità di habitat disponibile per la specie ittica e per lo stadio vitale di riferimento. Il massimo valore di ADP indica le condizioni idrauliche ottimali per le esigenze biologiche ed ecologiche della fauna ittica (FIG. 1.8).

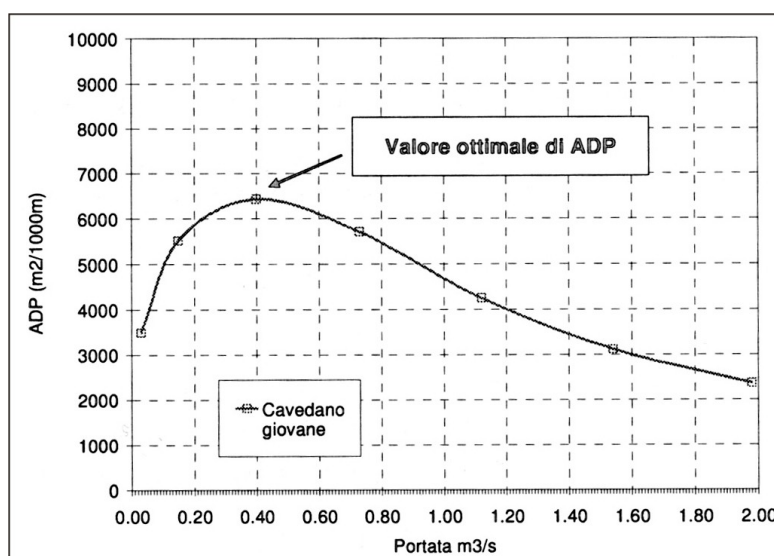


FIGURA 1.8 – Esempio di curva ADP . In ascissa sono riportati i valori di portata (m^3/s) in relazione ai valori (in ordinata) di Area Disponibile Ponderata ($m^2/1000\ m$) per la specie, in questo caso il Cavedano nello stadio giovanile (da MILHOUS *et alii*, 1989).

La curva di ADP consente di procedere all'individuazione di un valore di deflusso minimo vitale applicando uno tra i criteri più utilizzati in letteratura:

- individuazione del *break-point* (MILHOUS *et alii*, 1989) che rappresenta il punto di evidente cambiamento di pendenza della curva ADP – portata. Tale punto di rottura individua il valore di portata per il quale potrebbe essere raggiunto il miglior compromesso tra le esigenze di tutela ambientale e quelle di natura economica;
- nel caso in cui le curve di ADP subiscano un incremento graduale, fino ad un punto massimo, oltre il quale l'habitat disponibile decresce, in genere a causa delle velocità troppo sostenute, il deflusso minimo vitale può essere scelto in corrispondenza del massimo di ADP (portata ottimale) o di sue percentuali variabili fra il 40 % e l'80 % del valore massimo (ORTH & LEONARD, 1990; GARCIA DE JALÓN, 2003).

Essendo tale metodo basato sulle caratteristiche idrauliche di una sezione singola, con caratteristiche morfologiche tipo *riffle*, è maggiormente adatto a rappresentare condizioni ambientali di specie ittiche che vivono in acqua correnti con bassi tiranti e velocità non trascurabili. Pertanto è considerato tra i più efficaci strumenti per individuare il valore di DMV per la tutela dell'ambiente acquatico, questo perché è estremamente versatile nel collegare i parametri idraulici della corrente con le esigenze biologiche di una qualunque specie ittica di riferimento.

- ***TECNICA DEL PERIMETRO BAGNATO (WETTED PERIMETER TECHNIQUE)***

La tecnica del perimetro bagnato è uno dei metodi idraulici maggiormente utilizzati negli U.S.A (COLLINGS, 1974; COCHNAUER T., 1976).

Il perimetro bagnato rappresenta l'estensione, entro il letto del corso d'acqua, della zona di contrasto tra acqua ed alveo (FIG. 1.9). Dal grafico in FIGURA 1.9 si nota che il perimetro bagnato diminuisce con il ridursi del deflusso, mentre aumenta con l'accrescersi del deflusso, fino ad arrivare ai bordi dell'alveo dove il perimetro bagnato aumenta molto lentamente.

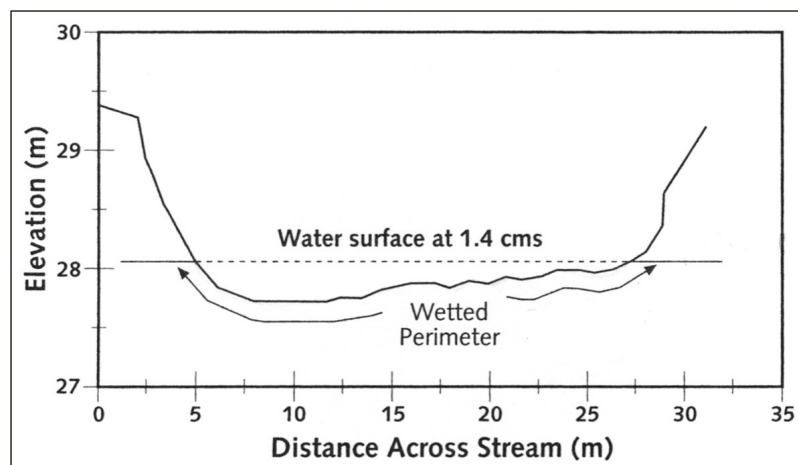


FIGURA 1.9 – Definizione del perimetro bagnato (da BOVEE, 1997).

Se il perimetro bagnato viene messo in correlazione con la portata in un sistema di coordinate, si potrebbe giungere ad un grafico come quello riportato in FIGURA 1.10.

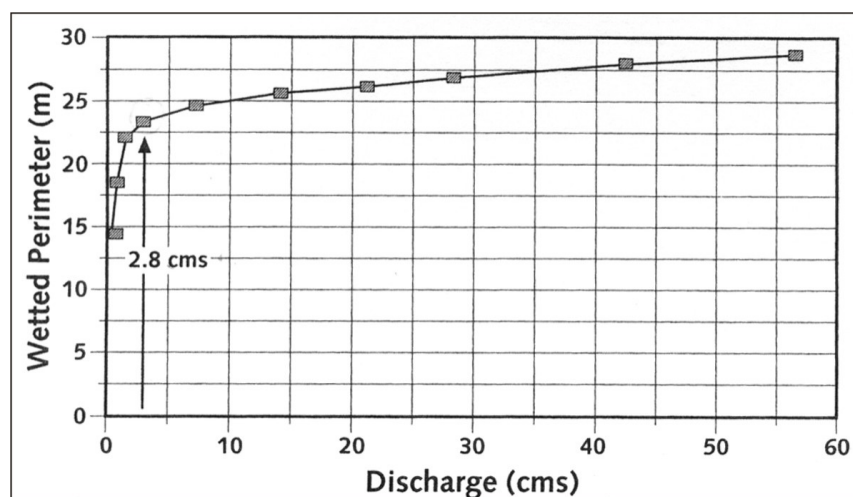


FIGURA 1.10 – Relazione perimetro bagnato – portata (da BOVEE, 1997).

Dal grafico si osserva un rapido incremento del perimetro bagnato con la portata fino ad un punto di flessione oltre il quale, ad un incremento di portata corrisponde un incremento minore del perimetro bagnato. Infatti il valore che viene associato al deflusso minimo per il corso d'acqua coincide con il punto di flesso della curva perimetro bagnato – portata.

Questa metodica risulta essere molto utilizzata in alcuni stati degli U.S.A., essendo di semplice applicazione e richiedendo dati di input di facile acquisizione. Una delle difficoltà sta nel fatto che considera solo il comportamento idraulico dell'alveo nella

sezione di riferimento, senza tener conto dell'apporto idrico, dell'aspetto qualitativo dell'acqua o di altre caratteristiche potenzialmente importanti.

- ***PHYSICAL HABITAT SIMULATION SYSTEM (PHABSIM)***

Il programma Physical Habitat SIMulation System (BOVEE, 1982; MILHOUS *et alii*, 1989; STALNAKER *et alii*, 1995; BOVEE, 1996) permette di stimare la qualità del microhabitat fisico (velocità, profondità e substrato), al variare dei valori di portata in relazione ad un organismo da tutelare, opportunamente scelto come target (cfr. PAR. 1.5.3).

A tal fine la superficie dell'alveo bagnato del tratto da studiare viene suddivisa in celle omogenee, per ciascuna delle quali vengono determinati i dati relativi ai parametri che dipendono dal variare della portata, quali il livello della superficie dell'acqua, la velocità della corrente, la profondità, la superficie bagnata, etc. I dati misurati riferiti a questi parametri sono utilizzati dai programmi di simulazione idraulica contenuti nel PHABSIM per predire le variazioni dei parametri stessi al variare della portata. Oltre a questi dati vengono raccolti informazioni relative alle caratteristiche dell'alveo che non cambiano al variare della portata, quali la configurazione dell'alveo, le caratteristiche del substrato di fondo, la forma e l'abbondanza dei rifugi per la specie di riferimento studiata. Utilizzando i dati della struttura dell'alveo ed i dati della simulazione idraulica è possibile visualizzare il fiume studiato come un mosaico formato dalle singole celle, una affiancata all'altra, in cui per ogni portata simulata è possibile ottenere i dati idraulici specifici.

Dopo la raccolta e l'inserimento nel programma dei dati, viene calcolato l'habitat disponibile tramite gli appositi moduli di simulazione. Ciò avviene utilizzando le apposite curve di preferenza, ricavate in sito sperimentalmente o adattate da curve di letteratura, che consentono di "pesare" ogni parametro idraulico rilevato, in relazione ai diversi livelli di gradimento della specie di riferimento. La combinazione dei dati simulati al variare della portata dei parametri del microhabitat con le curve di preferenza, permettono di stabilire il grado di idoneità di ciascuna cella ad ospitare la specie scelta. Tutti i risultati combinati di ogni cella verranno sommati con i risultati di tutte le celle bagnate così da ottenere la ADP (Area Disponibile Ponderata) o WUA (*Weighted Usable Area*). Si tratta di un valore di superficie, ottenuto sommando le ADP di ogni cella, che a sua volta è calcolata moltiplicando la superficie di ogni cella con

l'indice, compreso tra 0 e 1, ottenuto dalla combinazione dei valori ottenuti dalle curve di preferenza in rapporto ai dato idraulici-morfologici.

Il risultato del PHABSIM consiste quindi in un grafico che pone in relazione la portata con l'ADP per la specie indicatrice, successivamente il DMV è stabilito individuando i valori di portata per cui la riduzione di ADP è minore.

1.6 CONSIDERAZIONI SUI METODI IN USO

La panoramica dei metodi in uso per valutare il deflusso minimo vitale ha messo in evidenza i diversi parametri che vengono considerati, dipendenti soprattutto dalle informazioni disponibili, dall'area oggetto di studio e dagli obiettivi di tutela prefissati. Ogni metodologia viene scelta in base alle variabili analizzate (TAB. 1.29), all'applicabilità, all'aspetto economico e a quello temporale, che variano da caso a caso. I metodi teorici possono risultare sicuramente i più semplici e sbrigativi, in quanto le variabili richieste sono un numero limitato. In molti casi le risorse necessarie sono piuttosto limitate: per sviluppare una buona pianificazione coerente a livello di bacino bisogna avere buone conoscenze morfologiche del territorio in esame e una sufficiente serie storica di dati di portata.

Tali dati di portata possono risultare essere un fattore limitante perché, soprattutto a livello italiano, non vi è un'adeguata rete di misura delle portate, specialmente nei corsi d'acqua minori. Inoltre molti corsi d'acqua sono regolati, per cui i dati non fanno riferimento a situazioni naturali che corrispondono a parametri essenziali per determinare il deflusso minimo vitale. Per questo si considera a volte un approccio modellistico-statistico, attraverso le analisi delle precipitazioni e della copertura di suolo, che però richiederebbero un ulteriore impiego di risorse che non sempre sono disponibili.

Dall'analisi dei metodi teorici emerge che quelli basati su considerazioni morfologiche non hanno un fondamento scientifico preciso e sono privi di un approccio interdisciplinare che comprenda altri aspetti fondamentali oltre quello idrologico. Sicuramente il risultato ottenuto attraverso l'applicazione dei metodi teorici può essere considerata una misura minima quanto meno per fissare un target, a cui ci si possa adeguare.

VARIABILI DI BACINO	VARIABILI DI PORTATA
Rilievo del bacino	Variazione annua
Giorno della stagione	Picco annuo/minimo annuo
Area del bacino	Precipitazione media annua
Densità del bacino	Portata media annua
Chilometri dall'oceano	Portata media giornaliera
Altitudine media del bacino	Portata media mensile
Lunghezza media del bacino	Portate giornaliere
Pendenza media del bacino	Portata istantanea
Lunghezza totale del fiume	Portata media di ottobre
VARIABILI IDRAULICHE	Portata media di settembre
Percentuale dell'area più profonda di 1.5 piede	Portata minima di sette giorni in due anni
Gradiente	Picco di piena biennale
Numero di Manning	VARIABILI DI STRUTTURA DELL'HABITAT
Larghezza massima	Vegetazione sovrastante dell'area
Profondità media della colonna	Vegetazione sovrastante < 1 metro
Velocità media della colonna	Vegetazione sovrastante con sterpaglia
Profondità media dei pools in estate	Tratto di sponda con alberi
Media della velocità di corrente nei pools	Area di foresta
Profondità media di Thalweg	Presenza e frequenza di rifugi
Larghezza media	Frequenza di ammassi di radici entro 50 cm
Larghezza minima	Frequenza di sponde rientranti entro 50 cm
Velocità vicino al fondo	Lunghezza della copertura aerea della sponda
Pendenza percentuale	Numero di rocce/tratto
Larghezza del pool/larghezza del fiume	Percentuale della copertura in macigni e ceppi
Pendenza della superficie dell'acqua	Percentuale della copertura in sterpaglia
Larghezza	Percentuale della copertura
Area bagnata	Percentuale delle sponde erose
Perimetro bagnato	Percentuale dei pools di prima classe
VARIABILI BIOLOGICHE	Percentuale della copertura nel fiume
Località di sponda con sterpaglia	Percentuale della vegetazione di sponda nel fiume
Località di sponda con alberi	Percentuale della copertura aerea
Densità del cibo (numero/area)	Percentuale dei pools
Diversità del cibo	Percentuale delle sponde stabili
Direzione della densità degli invertebrati	Percentuale di volta vegetativa
Numero di specie ittiche nel bacino	Percentuale di ghiaia da 1 ÷ 3 pollici
Percentuale di ombra, 1000 ÷ 1400 ore	Totale dell'area di copertura
Percentuale della vegetazione sulla sponda	VARIABILI CHIMICHE
Densità della vegetazione sommersa	Alcalinità
Percentuale degli alberi e arbusti	Intervallo annuo di ossigeno disciolto (DO)
ALTRE VARIABILI FISICHE	Domanda biochimica di ossigeno (BOD)
Numero annuo di giorni senza gelo	Colore
Temperatura massima, durante la risalita dei salmoni	Torbidità massima in estate
Temperatura massima, sviluppo degli embrioni	pH massimo o minimo
Temperatura massima, migrazione a valle dei salmoni	Media annua del minimo di DO
Temperatura media annua dell'aria	Media annua del pH
Temperatura media annua	Media annua della torbidità
Media delle temperature massime estive	TDS media, maggio - ottobre
Temperatura media estiva	Minimo dell'ossigeno durante lo sviluppo degli embrioni
Temperatura media, sviluppo degli embrioni dei salmoni	Minimo dell'ossigeno durante la bassa portata
Temperatura media invernale	Minimo dell'ossigeno durante il passaggio a monte
Dimensione del substrato	Minimo dell'ossigeno durante il passaggio a valle
Distribuzione della dimensione del substrato	Minimo dell'ossigeno durante lo svezzamento
Percentuale con diametro < 3 mm	Azoto nitrico
Percentuale con diametro < 6 mm	Conducibilità specifica
Percentuale con diametro 10 ÷ 250 mm	Durezza totale
Percentuale con diametro 10 ÷ 40 mm	Carbonio organico totale
Percentuale di substrato fine	Fosforo totale

TABELLA 1.29 – Elenco delle possibili variabili su cui si basano i vari approcci per il calcolo del deflusso minimo vitale.

Infatti i risultati sono valori di portata minima rappresentati quasi sempre da una portata di magra o da una sua frazione ma i risultati sono difficilmente stimabili a priori e, non tengono conto di tutto il complesso insieme di variabili ambientali che interagiscono e che concorrono a determinare l'ecosistema fluviale.

I metodi sperimentali, a differenza di quelli teorici, fissano un obiettivo di priorità e di protezione: la portata minima vitale valutata viene correlata con le possibili conseguenze sull'ecosistema fluviale.

Nei metodi sperimentali vengono introdotte le variabili di tipo biologico e chimico, riportate in formule direttamente relazionate con la portata. Attraverso simulazioni della variazioni di portata in alveo è possibile testare scenari differenti e prevedere possibili impatti dovuti a nuovi interventi di natura antropica.

I limiti sono la complessità e l'elevato lavoro richiesto, la tendenza alla sito - specificità ed il fatto che i risultati devono essere ancora ulteriormente elaborati per arrivare alla definizione di una portata di deflusso minimo vitale. Infatti l'aspetto limitante dei metodi sperimentali è che nascono principalmente nel mondo anglosassone per proteggere la fauna ittica, e per questo sono stati sviluppati con fini precisi. La loro applicabilità in un ambito territoriale diverso è in dubbio e complicato, se si pensa alla variabilità morfologica dei fiumi italiani. Inoltre il numero delle variabili necessarie può essere molto consistente, molto laboriosa e non sufficiente per una corretta applicazione. Qualora i dati non sono disponibili bisogna ricorrere a misure in campo, che richiedono tempo, impegno economico e personale specializzato.

I metodi ibridi non sono recentemente molto utilizzati, poichè i coefficienti correttivi sono poco chiari e di difficile interpretazione e mancano di una base scientifica precisa.

Nella **TABELLA 1.30** sono messi a confronto vantaggi e svantaggi dei tre approcci metodologici esistenti per la valutazione del deflusso minimo vitale. Nella **TABELLA 1.31** i vari metodi descritti nei paragrafi precedenti sono classificati secondo le variabili richieste.

	VANTAGGI	SVANTAGGI
METODI TEORICI	- semplici - pochi dati - applicabile in qualsiasi situazione - risposta univoca	- non c'è fondamento scientifico - richiedono verifica - dati di portata riferito al corso d'acqua naturale - non c'è collegamento con le esigenze ecologiche del fiume - non hanno variazioni temporali
METODI SPERIMENTALI	- fissano obiettivi di protezione e qualità - valutazione specifica delle esigenze ecologiche di ogni fiume - considera parametri di tipo biologico - hanno significato previsionale e di pianificazione	- richiedono campagne sperimentali talvolta onerose - non danno risposte univoche - competenze specifiche - tempi di applicazione lunghi - legati alle specie
METODI IBRIDI	- non eccessivamente complicati - includono variabili biologiche	- non hanno obiettivi chiari - possono richiedere raccolta dati in campo - non c'è fondamento scientifico - variabili talvolta non ben definite

TABELLA 1.30 – Vantaggi e svantaggi dei vari metodi in uso per il calcolo del deflusso minimo vitale.

METODO	TIPO DI VARIABILE
Provincia di Bolzano	morfologiche
Provincia di Trento	morfologiche
Provincia di Torino	morfologiche
Caso della Valtellina	morfologiche*
Metodo di Baxter	idrologiche semplici
Regione Piemonte	idrologiche semplici
Normativa francese	idrologiche semplici
Metodo Montana	idrologiche semplici
Metodo di Rantz	idrologiche e morfologiche
Normativa Svizzera	statistiche
U.S.A.	statistiche
Tutti con la Q_{347} o $Q_{7/10}$	statistiche
Perimetro Bagnato	perimetro bagnato
PHABSIM	strutturali e idrauliche
HQI	strutturali e idrauliche
IFIM	strutturali e idrauliche

TABELLA 1.31 – Metodi maggiormente utilizzati e principali variabili considerate. (* aggiunta di valori correttivi come la precipitazione, altitudine, qualità ambientale e fattore naturalistico).

CAPITOLO 2

ASPETTI GEOLOGICI

La varietà morfologica che caratterizza la regione vulcanica dell'Alto Lazio è il risultato delle vicende geologiche che hanno coinvolto l'area a partire dal Mesozoico (FIG. 2.1). In particolare le aree interessate dal seguente studio presentano morfotipi caratteristici legate all'attività pleistocenica dei distretti vulcanici che ricadono nella provincia vulcanica laziale e che comprendono i bacini idrografici del fiume Marta e Mignone.

Gli aspetti geologici generali delle due aree analizzate sono stati desunti dall'esame della bibliografia consultata e della cartografia tematica ufficiale (Carta Geologica d'Italia, Fogli 136, 137, 142, 143). La zonazione geologica e idrogeologica dei bacini in esame è stata effettuata attraverso il G.I.S. Autocad Map® ed ArcMap®.

Nel presente capitolo viene descritta, in sintesi, la geologia delle rocce affioranti nei bacini, rappresentate dalle formazioni vulcaniche dei distretti Vulsino, Vicano e Cimino, affioranti in entrambi i bacini idrografici, e l'attività dei distretti vulcanici Sabatino e Cerite-Tolfetano che interessano solo il bacino del Mignone. In entrambi i bacini sono presenti formazioni sedimentarie plioceniche e cretacico-mioceniche.

Di seguito, dopo un breve accenno ai lineamenti generali dei processi vulcanici che hanno interessato l'Alto Lazio (cfr. PAR. 2.1), vengono descritti i terreni vulcanici e vulcanoclastici riconducibili ai distretti Cerite-Tolfetano (cfr. PAR. 2.1.1), Sabatino (cfr. PAR. 2.1.2), Vulsino (cfr. PAR. 2.1.3), Cimino (cfr. PAR. 2.1.4) e Vicano (cfr. PAR. 2.1.5) ed infine le unità sedimentarie rientranti nei bacini oggetto di studio (cfr. PAR. 2.2).

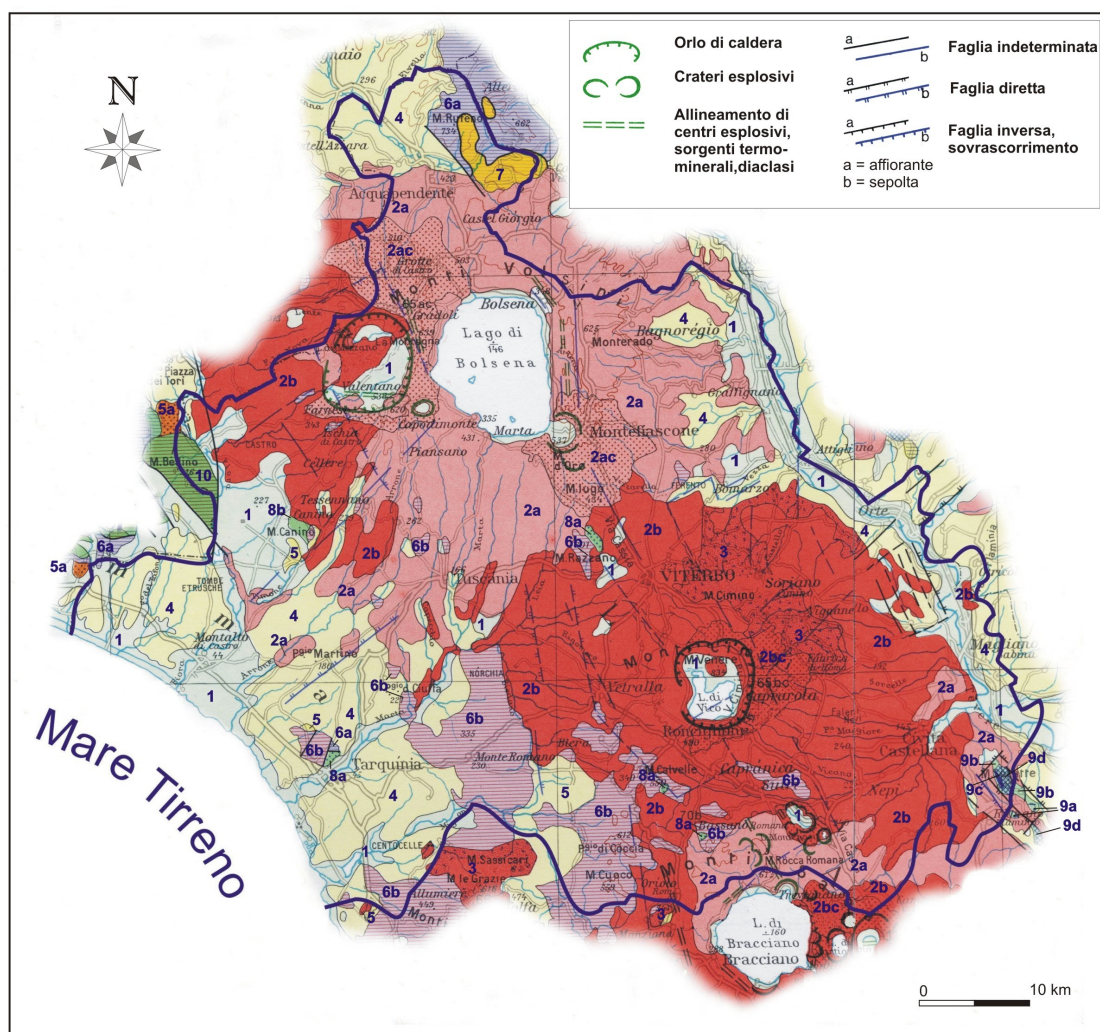


FIGURA 2.1 – Carta geologica della provincia di Viterbo. 1: depositi continentali e marini indifferenziati, Quaternario. Unità vulcaniche - 2a: vulcaniti sottosature; 2ac: in facies idromagmatica, Pleistocene medio – superiore; 2b: vulcaniti intermedie; 2bc: in facies idromagmatica, Pleistocene medio – superiore; 3: vulcaniti acide, Pleistocene inferiore. Unità postorogene - 4: unità terrigene marine, Pliocene – Pleistocene inferiore; 5: Unità di Poggio Terzolo, Messiniano; 5a: “Gruppo di Bismantova”, Miocene inferiore – Miocene medio. Unità Liguridi e Australoalpine interne - 6a: Formazione di S. Fiora, Cretaceo superiore – Eocene; 6b: Flysch della Tolfa, Cretaceo superiore – Eocene; 7: Formazione delle argille con calcari palombini e ofioliti, Cretaceo inferiore. Unità Toscane - 8a: Macigno Auct., Oligocene superiore – Miocene; 8b: calcari selciferi e marne con radiolari, Liassico – Miocene. Unità della Copertura Toscana non metamorfica - 9: calcare massiccio, rosso ammonitico, calcari selciferi, diaspri, scisti policromi, Giurassico – Eocene. Unità umbro-marchigiane - 9a: bisciario, scaglia, marne a fucoidi Auct., Cretaceo inferiore – Miocene inferiore; 9b: calcari selciferi e marne, Cretaceo inferiore – Liassico medio; 9c: calcari pelagici, Giurassico medio-superiore; 9d: calcari di piattaforma e dolomie, Triassico. Unità del basamento metamorfico - 10: Unità di Boccheggiano, Permiano (da CHIOCCHINI & MADONNA, 2003).

2.1 IL VULCANISMO DEL LAZIO

La storia geologica-deformativa della regione vulcanica laziale deve essere inquadrata nell’ambito dell’evoluzione tettono-dinamica dell’Italia centrale (ALBERTI *et alii*, 1970; BERTINI *et alii*, 1971 (a); BERTINI *et alii*, 1971 (b)).

L'evoluzione geologica degli apparati vulcanici è il risultato di processi geodinamici e della tettonica distensiva della fascia allungata compresa tra la catena appenninica e la costa tirrenica (FIG. 2.2), verificatesi a partire dal Pliocene superiore, e successiva all'orogenesi appenninica, fino a poco meno di 50.000 anni fa.

Geodinamicamente il vulcanismo laziale è collegato alla tettonica distensiva che è responsabile della formazione del bacino tirrenico nel periodo successivo al Miocene. Infatti a partire dal Pliocene inizia un'intensa attività magmatica che coinvolge, lungo la direttrice appenninica, un vasto areale dal Monte Amiata alla Campania (cfr. FIG. 2.2).

Questo segmento della Penisola presenta una profonda struttura, con un notevole ispessimento crostale in corrispondenza del bordo occidentale dove si è manifestato il vulcanismo laziale. Il bacino tirrenico invece corrisponde al minimo spessore crostale (circa 10 km), mentre quello massimo è in corrispondenza dell'asse della catena appenninica.

L'assetto strutturale si presenta definito da una serie di faglie dirette più o meno profonde che, dislocando le strutture compressive di sovrascorrimento tardo-mioceniche, hanno dato luogo ad assottigliamenti litosferici e bassi strutturali frequentemente associati ad una serie di graben (Graben del Tevere e Siena-Radicofani; FIG. 2.3).

Il territorio vulcanico dell'Alto Lazio è limitato da depositi quaternari e da terreni sedimentari neogenici, che formano nel margine occidentale le pianure costiere e la valle del Tevere, nel margine orientale.

I vulcani laziali appartengono a due serie magmatiche chiaramente distinte (cfr. FIGG. 2.1 e 2.2). La prima serie include il vulcanismo acido, riolitico e riodacitico dei Monti Cimini, dei Monti della Tolfa e dei Monti Ceriti ed ha un'età più antica (tra circa 2 ed 1 Ma) rispetto alla seconda serie. Quest'ultima comprende i gruppi Vulsino, Vico, Sabatino e dei Colli Albani, mostra un carattere spiccatamente alcalino-potassico ed è stata attiva tra 0.8 Ma e l'attuale. La prima serie ha strette analogie con il magmatismo della bassa Provincia Toscana (dall'Isola d'Elba al Monte Amiata), mentre la seconda serie si congiunge ai vulcani alcalini della Campania (da Roccamonfina fino ai Campi Fregei e Vesuvio). Il Lazio rappresenta quindi l'area di congiunzione di questi diversi sistemi (LOCARDI *et alii*, 1976).

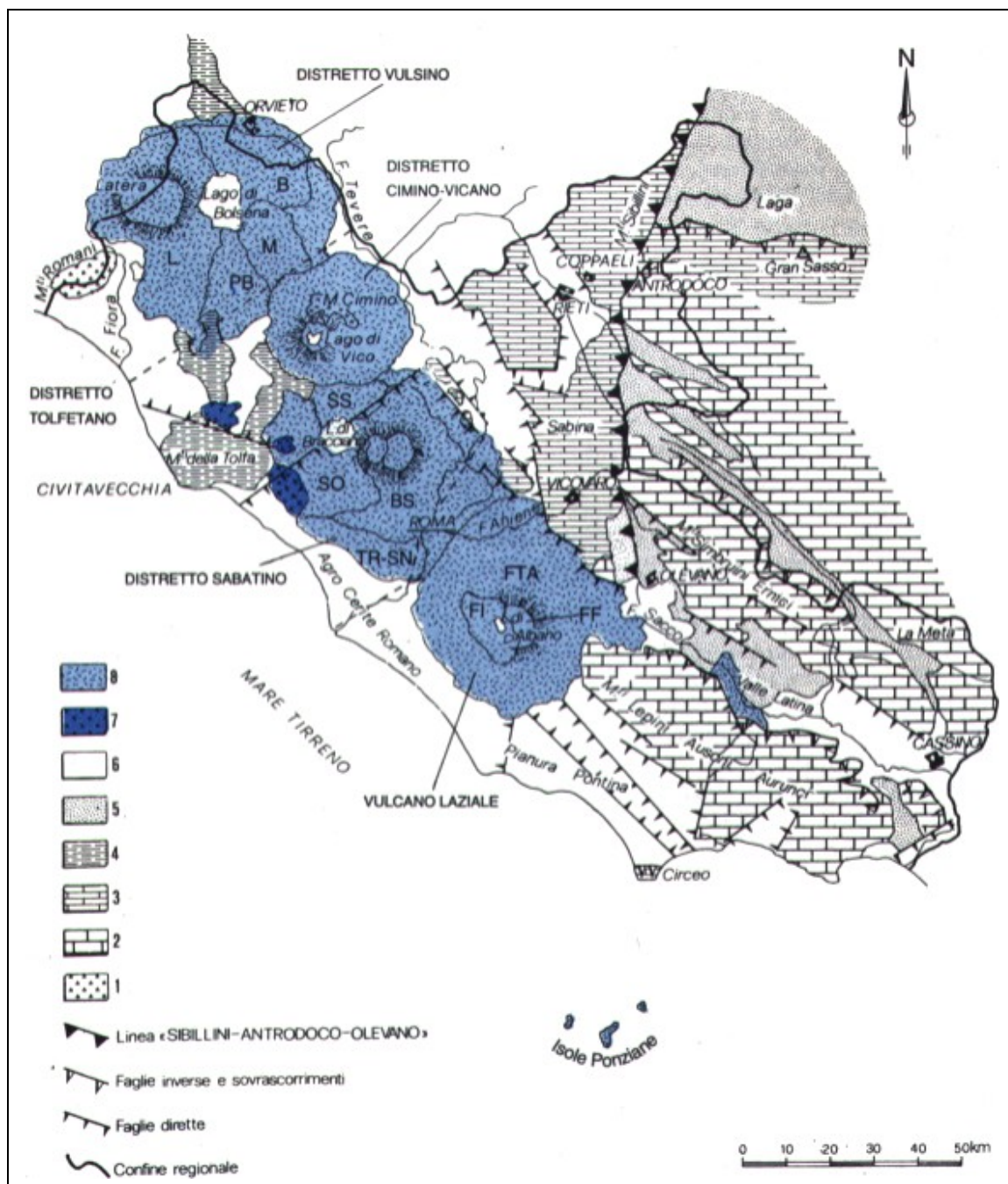
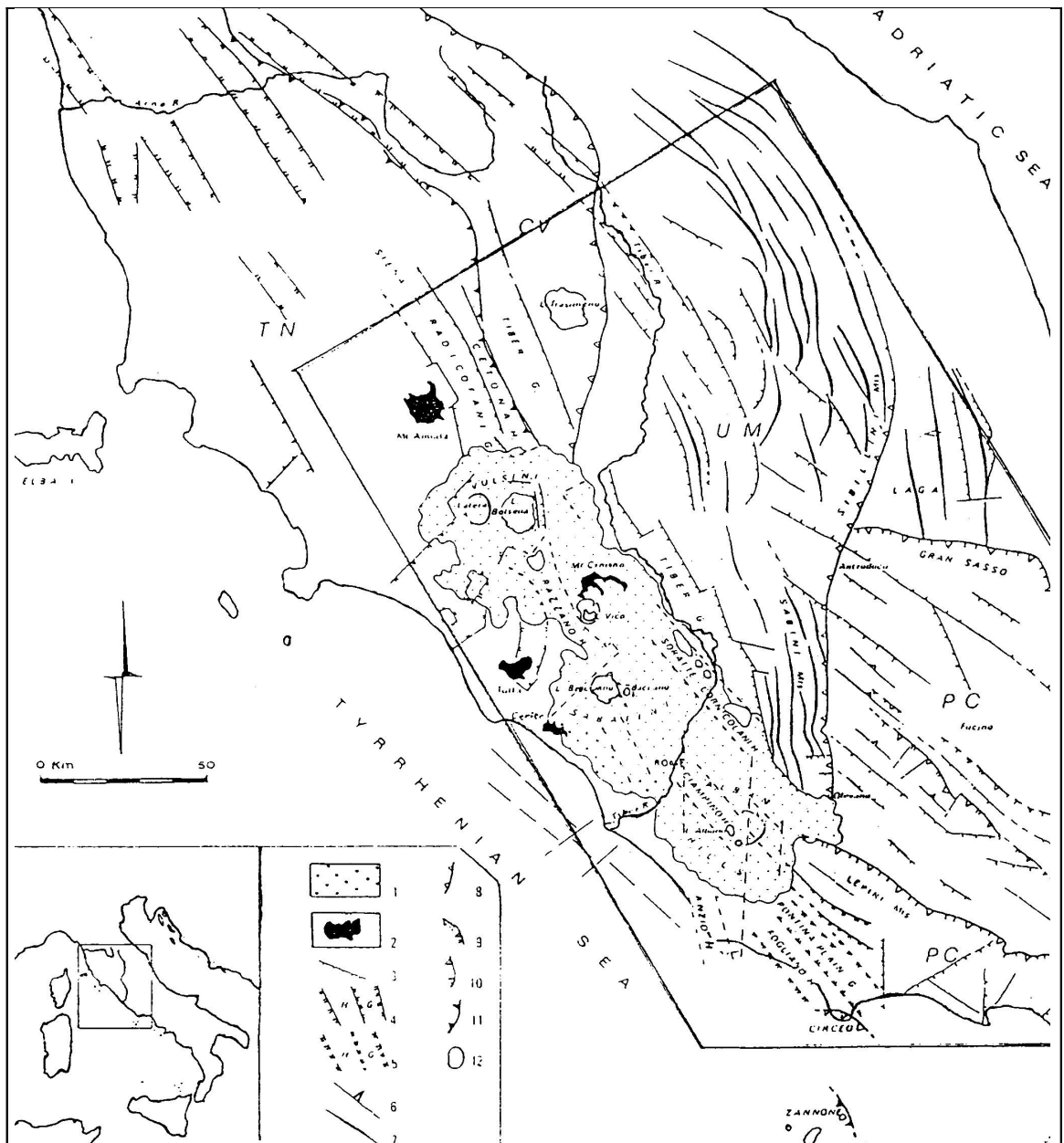


FIGURA 2.2 – Distribuzione dei principali distretti e complessi vulcanici del Lazio. 1: rocce del basamento metamorfosato; 2: sedimenti della piattaforma laziale-abruzzese; 3: sedimenti del bacino pelagico umbro-marchigiano; 4: sedimenti alloctoni del complesso liguride; 5: sedimenti alloctoni flyschoidi; 6: sedimenti sabbioso-argilloso-gliaiosi neoautoctoni; 7: distretti vulcanici a chimismo da acido a intermedio; 8: distretti vulcanici a carattere da potassico ad altamente potassico; PB: complesso vulcanico del Paleobolsena; B: complesso vulcanico di Bolsena; M: complesso vulcanico di Montefiascone; L: complesso vulcanico di Latera (da AA. VV., 1990).



2.1.1 IL DISTRETTO CERITE – TOLFETANO

Il vulcanismo cerite-tolfetano rappresenta una delle più antiche manifestazioni che hanno interessato l'Italia centrale, di età compresa tra 4.2 e 2.3 Ma (FAZZINI *et alii*, 1972; DE RITA *et alii*, 1992 (a); DE RITA *et alii*, 1992 (b); cfr. FIG. 2.2).

Il chimismo è acido ed è connesso alla risalita di magmi analettici in concomitanza con la fase di sollevamento che interessò nel Pliocene medio superiore il tratto costiero settentrionale del Lazio. La risalita dei magmi nella zona cerite è avvenuta lungo fratture di interesse regionale, con orientamento NE-SO, con prevalenza assoluta dell'attività effusiva rispetto a quella esplosiva (NEGRETTO & MORBIDELLI, 1965; NEGRETTO *et alii*, 1966; DE RITA *et alii*, 1992 (b)).

L'attività di questi complessi vulcanici ha dato luogo a colate laviche che hanno costituito i tipici rilievi cupoliformi dai pendii ripidi e gli espandimenti ignimbritici; entrambi i termini poggiano prevalentemente sul complesso del flysch o sulle formazioni argillose del Pliocene inferiore (cfr. FIG. 2.4). Le cupole laviche hanno pianta subcircolare o ellittica e spesso sono allineate secondo determinate direzioni e nella zona cerite sono costituite in prevalenza da lipariti e quarzolitici (FAZZINI *et alii*, 1972).

In generale nell'apparato cerite-tolfetano gli eventi vulcanici si sono succeduti secondo la sequenza: a) attività di nubi ardenti (ignimbritici), b) attività effusiva lenta (lave), c) attività esalativa lineare e areale (DE RITA *et alii*, 1992 (a)).

2.1.2 IL DISTRETTO SABATINO

Il distretto vulcanico Sabatino (FIG. 2.4) inizia la sua attività più di 0.6 Ma, contemporaneamente agli altri distretti alcalino-potassico del Lazio. Si estende da est ad ovest, dalla piana costiera fino al tratto terminale del corso del Tevere, presentando un'ampia distribuzione areale dei prodotti e dei centri eruttivi; a nord confina con l'area vulcanica vicana.

Il panorama su cui si edificano i vari centri esplosivi del distretto è quello di una vasta area pianeggiante largamente occupata dai sedimenti argilloso-sabbiosi del Plio-Pleistocene, limitati ad occidente dai rilievi sedimentari dei Monti della Tolfa e dai duomi acidi dei distretti Tolfa-Ceriti-Manziana, la cui attività termina poco prima di quella sabatina.

I prodotti dei Vulcani Sabatini si estendono su un'area di circa 1400 km².

L'attività vulcanica si sviluppa all'interno del graben situato tra il Tevere ed il Mar Tirreno ed è guidata da una tettonica distensiva controllata da faglie dirette NE-SO e NO-SE. La natura esplosiva che si è manifestata fin dalle prime fasi dell'attività vulcanica, inizia nel settore orientale, a ridosso dei rilievi del M. Soratte, dove si sviluppa un apparato centrale con conseguente collasso calderico, detto di Morlupo-Castelnuovo di Porto. La forma di tale centro non è più riconoscibile perché sepolto dai prodotti più recenti (MATTIAS, 1968).

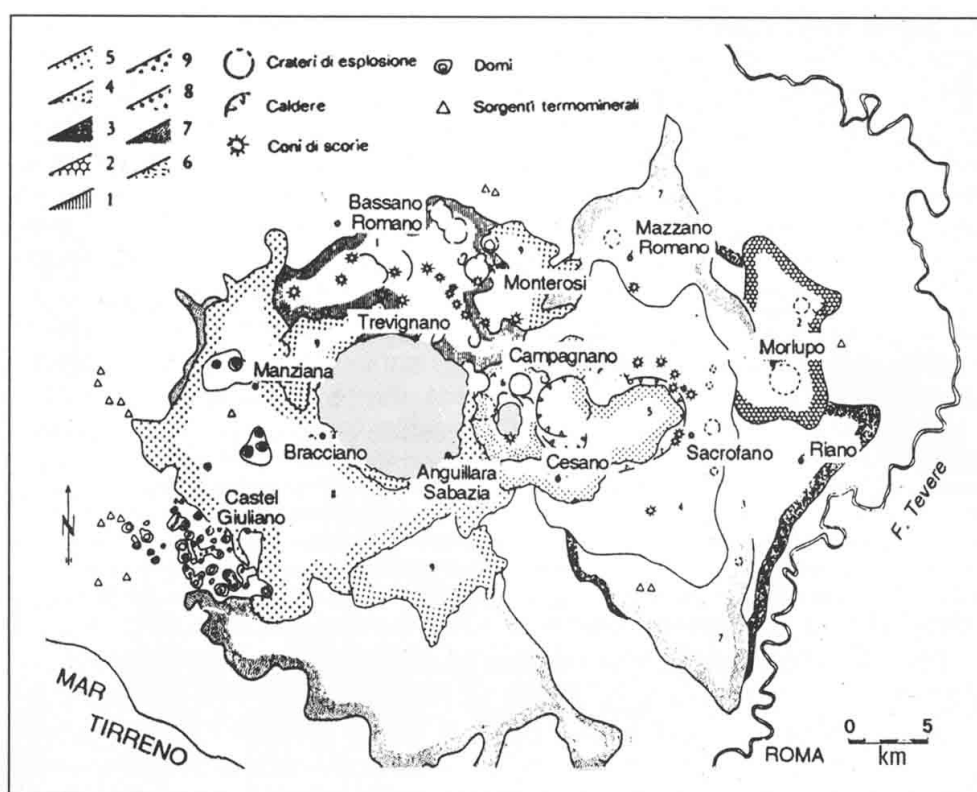


FIGURA 2.4 – Schema geologico del distretto vulcanico Sabatino. 1: limite dell'attività esplosiva del settore settentrionale; 2: limite dei prodotti del centro di Morlupo-Castelnuovo di Porto; 3: limite di estensione della I colata piroclastica di Sacrofano (*Tufo giallo della Via Tiberina*); 4: limite di estensione della II colata piroclastica di Sacrofano (*Tufo giallo di Sacrofano*); limite di estensione dei prodotti di Baccano; 6: limite dei prodotti del centro di Martignano; 7: limite di estensione del *Tufo rosso a scorie nere*; 8: limite di estensione della colata piroclastica di Bracciano e delle unità del settore meridionale; 9: lave leucitiche. I duomi rappresentati nel settore occidentale appartengono al vulcanismo del distretto Tolfetano – Cerite – Manziato (da DE RITA *et alii*, 1982).

I prodotti emessi, a composizione da trachitica a fonolitica, hanno carattere esplosivo, determinato dall'interazione del magma in risalita con gli acquiferi regionali profondi.

L'attività è continuata più ad occidente dove sorge l'edificio di Sacrofano: questo forse rappresenta l'edificio più importante del distretto Sabatino, sia perché fu attivo per un periodo compreso tra 600.000 e 370.000 anni fa, e sia per il volume di materiale

eruttato. Le colate piroclastiche emesse da Sacrofano si sono estese fino a 30-40 km dal punto di emissione interessando gran parte dell'attuale area a nord della città di Roma. Intorno ai 400.000 anni fa il centro di Sacrofano ebbe una fase di attività parossistica, con emissione di ingenti volumi di prodotti di ricaduta ed effusioni laviche secondarie. Tutti i prodotti eruttati durante questa fase, sia esplosivi che effusivi, hanno un chimismo sottosaturo a forte composizione potassica. Contemporaneamente a nord e a sud dell'attuale lago di Bracciano furono emesse cospicue colate di lava da tefritico-fonolitiche a fonolitico-tefritiche, emesse in gran parte da fratture a carattere regionale e in parte da conici di scorie allineati lungo le stesse fratture. Circa 370.000 anni fa il centro di Sacrofano entra nel suo stadio finale di attività (CUNDARI & VENTRIGLIA, 1963).

Il lago di Bracciano nasce dall'apertura di una grande depressione vulcano-tettonica e presenta una forma quasi circolare e si trova nel settore occidentale del distretto. La profondità massima si riscontra al centro del bacino, il fondo è piatto e la morfologia esclude attività vulcanica intrabacinale posteriore alla genesi del lago. In particolare la morfologia del bacino di Bracciano non sembra risentire di collassi calderici settoriali ma piuttosto di una subsidenza sin-eruttiva guidata in prevalenza dalla tettonica regionale.

2.1.3 IL DISTRETTO VULSINO

Il distretto vulcanico Vulsino è il più settentrionale dei distretti vulcanici del Lazio (cfr. FIG. 2.1) e occupa una superficie di circa 2200 km² tra il fiume Fiora e il fiume Tevere, a cavallo delle province di Viterbo, Grosseto e Terni. Il distretto in questione è caratterizzato da attività subaerea a carattere areale, principalmente di natura esplosiva, ed è senza dubbio il più complesso fra gli apparati vulcanici tosco-laziali. Esso è situato in corrispondenza dell'intersezione di un complesso sistema di faglie a direzione appenninica e antiappenninica (cfr. FIG. 2.3). Nella zona in questione si riconoscono due strutture distinte: il graben di Siena - Radicofani a ovest e il graben del Tevere ad est, tagliati da un sistema di faglie a direzione antiappenninica che si sviluppa in direzione di Orbetello.

Questo apparato è stato protagonista delle più imponenti ed estese manifestazioni vulcaniche della regione: durante la sua attività si è avuta l'emissione di una grande varietà di prodotti vulcanici (ignimbriti, lave, piroclastiti di varia natura) attestanti

un'attività che, iniziata nel Pleistocene, è durata fino a tempi molto recenti ed è tuttora in atto sotto forma idrotermale e solfatarica.

Il substrato sedimentario è costituito da depositi neo-autoctoni post-orogenetici del Miocene superiore e Pleistocene, che ricoprono le formazioni flyschoidi delle Unità Liguridi e le successioni carbonatiche mesozoiche della Serie Toscana e del Dominio Umbro-Marchigiano (NAPPI *et alii*, 1995).

I centri di emissione, quasi sempre disposti lungo linee di frattura, sono per la maggior parte localizzabili attorno alle due depressioni di Latera e del lago di Bolsena. La prima, secondo SCHNEIDER (1965), deve essere considerata come la caldera terminale di uno strato-vulcano complesso; la seconda deve essere interpretata come un ampio bacino di collasso identificatosi in più fasi successive ed il cui sprofondamento è stato controllato da sistemi di faglie tangenziali e anulari a carattere regionale. Queste fratture hanno costituito la via di risalita di magmi che hanno dato luogo ad una serie di eruzioni con prodotti prevalentemente lavici e ignimbrici, caratteristici delle zone di Bolsena e Bagnoregio.

L'attività finale, lungo tali fratture, si è estrinsecata attraverso modeste eruzioni puntiformi, testimoniate da una serie di conetti allineati, con emissioni di tufi, scorie e modeste colate laviche.

Nella zona di Montefiascone si riconoscono più centri di emissione, in corrispondenza dell'intersezione di più fratture tangenziali e radiali, caratterizzati da un'attività esplosiva con emissione di prodotti di lancio. Molteplici sono anche le manifestazioni periferiche ed eccentriche (coni di M. Iugo, M. Varcchia, ecc...) connesse con fratture laterali e caratterizzate da emissione locali miste: esse sono da attribuire alle ultime fasi del vulcanismo vulsino, successive allo sprofondamento calderico.

In seguito alle ricerche geotermiche condotte nell'area, si è potuto rilevare che la potenza delle vulcaniti è massima nei settori centrali del distretto, dove notevoli spessori si sono depositati in corrispondenza di paleodepressioni tettoniche. Nel settore occidentale, al di sotto della caldera di Latera, la potenza degli accumuli raggiunge il massimo spessore di 1500 metri (NAPPI *et alii*, 1991).

La natura comagmatica delle vulcaniti vulsine è decisamente alcalino-potassica, con una notevole escursione da trachiti a leuciti.

La storia eruttiva si identifica attraverso quattro cicli fondamentali, accomunati da attività evolutive simili e caratterizzate da fasi iniziali effusive e/o stromboliane a larga distribuzione areale, seguite da manifestazioni parossistiche a volte di tipo pliniano,

quindi da stadi di attività finali contrassegnate da collassi calderici e attività stromboliana e/o idromagmatica circum-calderica.

I quattro cicli (Paleobolsena, Bolsena, Montefiascone, Latera) abbracciano un arco temporale di circa 0.5 Ma ed hanno come epilogo manifestazioni surtseyane impostatesi all'interno del bacino del lago di Bolsena, datate 0.127 Ma. Tali attività pare abbiano formato strutture intracalderiche posteriori al complesso di Latera, che invocano l'individuazione di un ulteriore ciclo vulcanico recente, definito come "Neo-Bolsena", i cui unici apparati emersi sono costituiti dalle isole Bisentina e Martana (NAPPI *et alii*, 1995).

Lo schema geologico e vulcanologico del distretto Vulsino è illustrato in FIGURA 2.5.

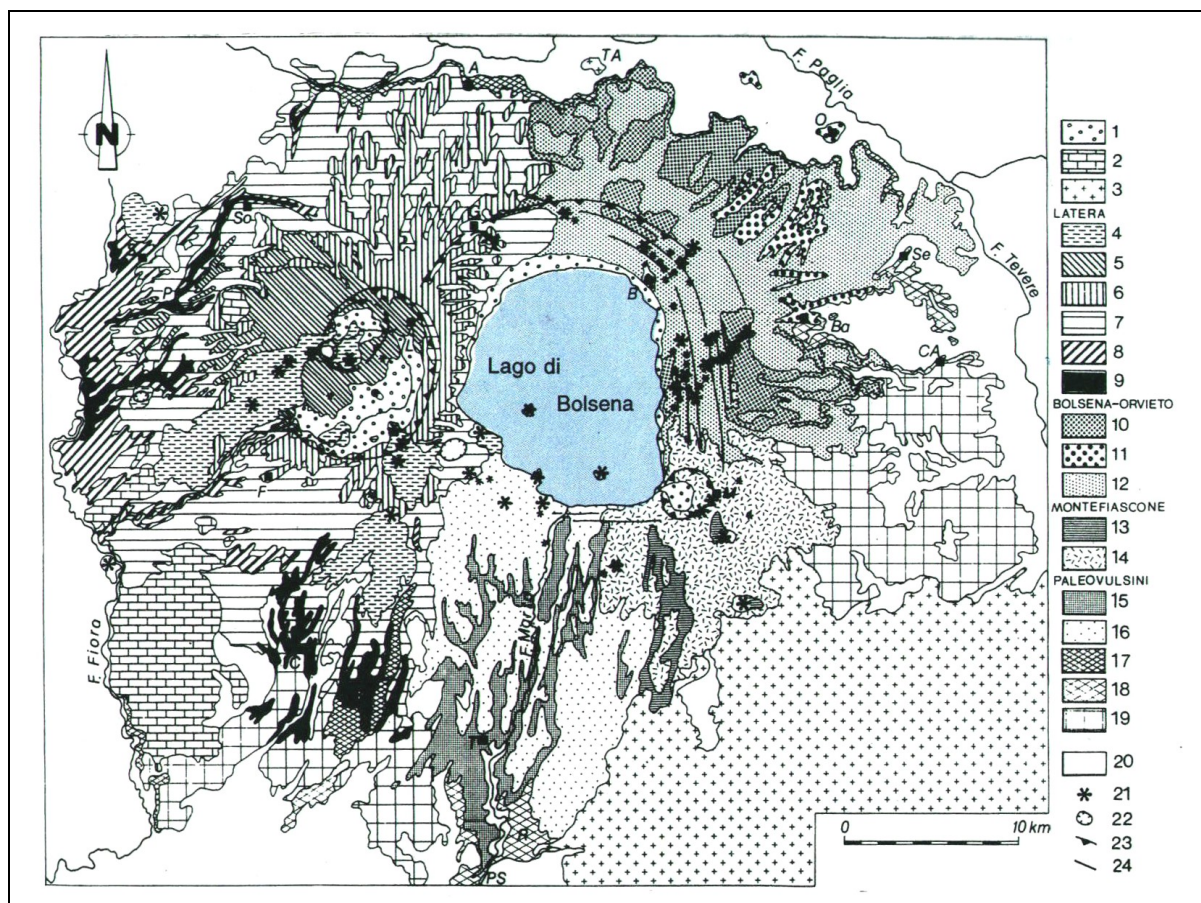


FIGURA 2.5 – Schema geologico del distretto Vulsino. 1: sedimenti quaternari; 2: travertini; 3: prodotti di Torre Alfina e del distretto Vicano; - Complesso di Latera – 4: prodotti lavici e stromboliani dell'attività finale; 5: Formazione di Pitigliano; 6: Formazione di Onano, membro di Poggio Pinzo; 7: Formazione di Onano, di Grotte di Castro e di Sorano; 8: Formazione di Sovana; 9: Formazione di Canino e di Farnese; - Complesso di Bolsena – 10: colate di lava; 11: Ignimbrite di Orvieto-Bagnoregio; 12: successione piroclastica; - Complesso di Montefiascone – 13: colate di lava; 14: successione piroclastica; - Complesso del Paleobolsena – 15: colate di lava; 16: successione piroclastica; 17: colate di lava antiche; 18: ignimbriti basali; 19: successione piroclastica e vulcano-sedimentaria; 20: substrato sedimentario; 21: coni di scorie; 22: crateri; 23: orli calderici; 24: faglie e fratture. (da TRIGILA, 1985).

Di seguito sono descritti brevemente i caratteri e i prodotti principali dei quattro cicli dell'attività vulcanica del Vulsino.

- **COMPLESSO VULCANICO DEL PALEOBOLSENA**

Circa 0.6 Ma l'attività del distretto Vulsino si concentra in corrispondenza del centro denominato Paleobolsena, poichè riferibile ad un'area di risalita dei fusi localizzabile nell'attuale lago ad occidente dell'abitato di Bolsena (cfr. FIG. 2.5). A questa attività si riconducono i prodotti vulcanici più antichi, affioranti sia ad est che a sud del lago (AA.VV., 1990). In particolare, nell'area meridionale, questi stessi prodotti si rinvenivano al di sotto dei prodotti di Latera (BARBERI *et alii*, 1984).

Le eruzioni vulcaniche del complesso del Paleobolsena hanno determinato la messa in posto di tre livelli di pomici trachitiche di caduta pliniana (*F1, F2, F3*; NAPPI *et alii*, 1995), che poggiano direttamente sul substrato neoautoctono plio-pleistocenico, e di una estesa coltre ignimbratica, conosciuta come “*Formazione di Civitella d'Agliano*” (NAPPI, 1985), ma localmente denominate *Nenfro A* e *Nenfro B* (NAPPI & MARINI, 1986).

La formazione di Civitella d'Agliano è costituita da un'ignimbrite trachi-fonolitica alla base e fonolitica al tetto (AURISICCHIO *et alii*, 1992) e affiora nell'area di analisi del fiume Marta a sud della città di Tuscania e di Canino.

- **COMPLESSO VULCANICO DI BOLSENA**

Il complesso vulcanico di Bolsena (cfr. FIG. 2.5) è caratterizzato da un'attività che può considerarsi costituita da due cicli eruttivi (NAPPI & MARINI, 1986).

Il primo ciclo è caratterizzato da una fase iniziale effusiva con vasta distribuzione areale e di lunga durata, seguita da fasi esplosive finali molto limitate nel tempo e nello spazio. Il secondo ciclo, invece, è costituito da una fase iniziale molto ridotta e da una finale parossistica.

Le lave più antiche riferibili al complesso del Bolsena, affiorano nei settori nord-occidentale e nord-orientale, a sud di Orvieto. Queste colate formano dei plateaux immergenti verso nord e nord-est in corrispondenza del recinto calderico nord-orientale di Bolsena. L'attività effusiva di queste lave può ritenersi compresa tra 0.419 Ma e 0.360 Ma (SANTI, 1990). Il chimismo di dette lave è variabile: nei settori più periferici è riferibile a magmi sottosaturi in silice che danno origine a lave di composizione tefritica e leucitica, mentre le lave che bordano il recinto calderico sono prevalentemente latitiche e trachitiche.

Sovrapposta alle lave si osserva una colata piroclastica (“*Ignimbrite tefritico-fonolitica*”; NAPPI & MARINI, 1986) e subito dopo e durante la messa in posto di tale

ignimbrite e delle piroclastiti, l'area subisce una serie di sprofondamenti con la formazione di un bacino lacustre situato a nord-est dell'abitato di Bolsena.

Questi collassi si verificano in corrispondenza di un incrocio di faglie dirette NS e EO, che in questo settore intersecano una linea di debolezza tettonica regionale diretta NE-SO. A questa struttura distensiva si accompagnano eruzioni idromagmatiche. Successivamente la risalita di fusi sottosaturi in silice, lungo tali linee di debolezza, determina l'inizio del secondo ciclo del complesso di Bolsena (NAPPI & MARINI, 1986).

L'attività del secondo ciclo riprende con la messa in posto di una serie di coni di scorie e dicchi lavici, allungati N-S, tra Bolsena e Montefiascone (NAPPI *et alii*, 1995). Le lave che caratterizzano questa fase eruttiva sono di composizione leucititica e tefritica. L'attività eruttiva raggiunge il culmine parossistico con la messa in posto dell'"*Ignimbrite di Orvieto - Bagnoregio*" (NAPPI, 1991; NAPPI *et alii*, 1994).

- **COMPLESSO VULCANICO DI MONTEFIASCONI**

Il complesso vulcanico di Montefiascone è localizzato nel settore sud-orientale del distretto Vulsino (cfr. FIG. 2.5).

L'attività iniziale è di tipo effusivo ed avviene lungo una fessura di alimentazione orientata ONO-ESE, lungo la quale si impostano i coni di scorie di Monte Varcchia e Monte Rosso; la lava, leucititica, poggia a nord sull'"*Ignimbrite di Orvieto - Bagnoregio*". Dopo questa fase effusiva, a larga distribuzione areale, la più importante manifestazione di tipo centrale determina la messa in posto dell'"*Ignimbrite basale di Montefiascone*" (NAPPI & MARINI, 1986). Quest'ultima si estende attorno all'abitato di Montefiascone secondo due principali direzioni di espansione: una verso sud sino all'abitato di Commenda, l'altra verso est, ove l'ignimbrite raggiunge le massime distanze dal centro eruttivo (20 km), sino ai margini della vallata del Tevere. Il centro eruttivo è stato riconosciuto nella caldera di Montefiascone, una depressione subcircolare situata nei pressi del margine sud-orientale del lago di Bolsena. L'eruzione di detta ignimbrite rappresenta l'inizio del ciclo finale di attività del settore vulsino orientale, che vede nell'area di Montefiascone il suo principale centro eruttivo (NAPPI & MARINI, 1986).

In seguito, una seconda eruzione esplosiva centrale determina la formazione dell'"*Ignimbrite a Gocce di Lava*". Segue un ulteriore collasso di una parte del settore settentrionale della caldera stessa, mentre una ripresa dell'attività, con fasi idromagmatiche, dà luogo al collasso caotico del settore orientale (NAPPI & MARINI, 1986).

Tra i prodotti lavici del complesso di Montefiascone c'è una prevalenza di leucititi, tefriti e basaniti (COLTORTI *et alii*, 1991).

- **COMPLESSO VULCANICO DI LATERA**

L'attività del complesso vulcanico di Latera (cfr. FIG. 2.5) inizia dopo che la caldera di Bolsena ha assunto una morfologia simile all'attuale (NAPPI, 1991).

Gli apparati iniziali, totalmente o parzialmente sepolti, hanno avuto attività sia stromboliana che effusiva, la quale si concluse circa 0.3 Ma; successivamente iniziò il periodo delle fasi parossistiche (che portarono alla formazione della caldera) con la messa in posto dell'“*Ignimbrite Trachitica Inferiore*” (NAPPI, 1969). A questa prima ignimbrite ne seguirono altre, tutte depositatesi fra 0.278 Ma e 0.166 Ma (METZELTIN & VEZZOLI, 1983), sette maggiori e sette minori descritte da SPARKS (1975). L'ultima delle ignimbriti maggiori è la “*Vulcanite Complessa di Pitigliano*”, di composizione trachitica e tefritico-fonolitica (NAPPI, 1969).

Nella fase finale del complesso di Latera (tra 0.16 Ma e 0.145 Ma), l'attività torna ad essere di tipo prevalentemente effusivo ed è localizzata all'interno e sui bordi della depressione calderica.

2.1.4 IL DISTRETTO CIMINO

L'attività del distretto Cimino è collocabile nel periodo pleistocenico ed in particolare tra 1.35 e 0.8 Ma fa, intervallo in cui la risalita di magmi viscosi acidi da fratture regionali ha comportato la formazione di oltre 50 duomi e cupole di ristagno (FIG. 2.6) di composizione acida, da riolitica a trachidacitica. Probabilmente il numero dei duomi era notevolmente superiore ma molti di essi sono stati distrutti da fasi esplosive di notevole violenza avvenute nella regione. Il risultato di tale attività è stata la messa in posto di un vasto *plateau* ignimbrico, mentre si può attribuire la terminazione dell'attività vulcanica cimina alla successiva emissione di lave latitiche ed olivinlatitiche.

Il duomo principale (Monte Cimino) raggiunge i 1053 metri s.l.m. ed è impiantato su un substrato di flysch pliocenici-miocenici e di argille, sabbie e conglomerati marini pliocenici. Il Monte Cimino, insieme agli altri duomi, si colloca lungo una frattura di alimentazione avente direzione NO-SE.

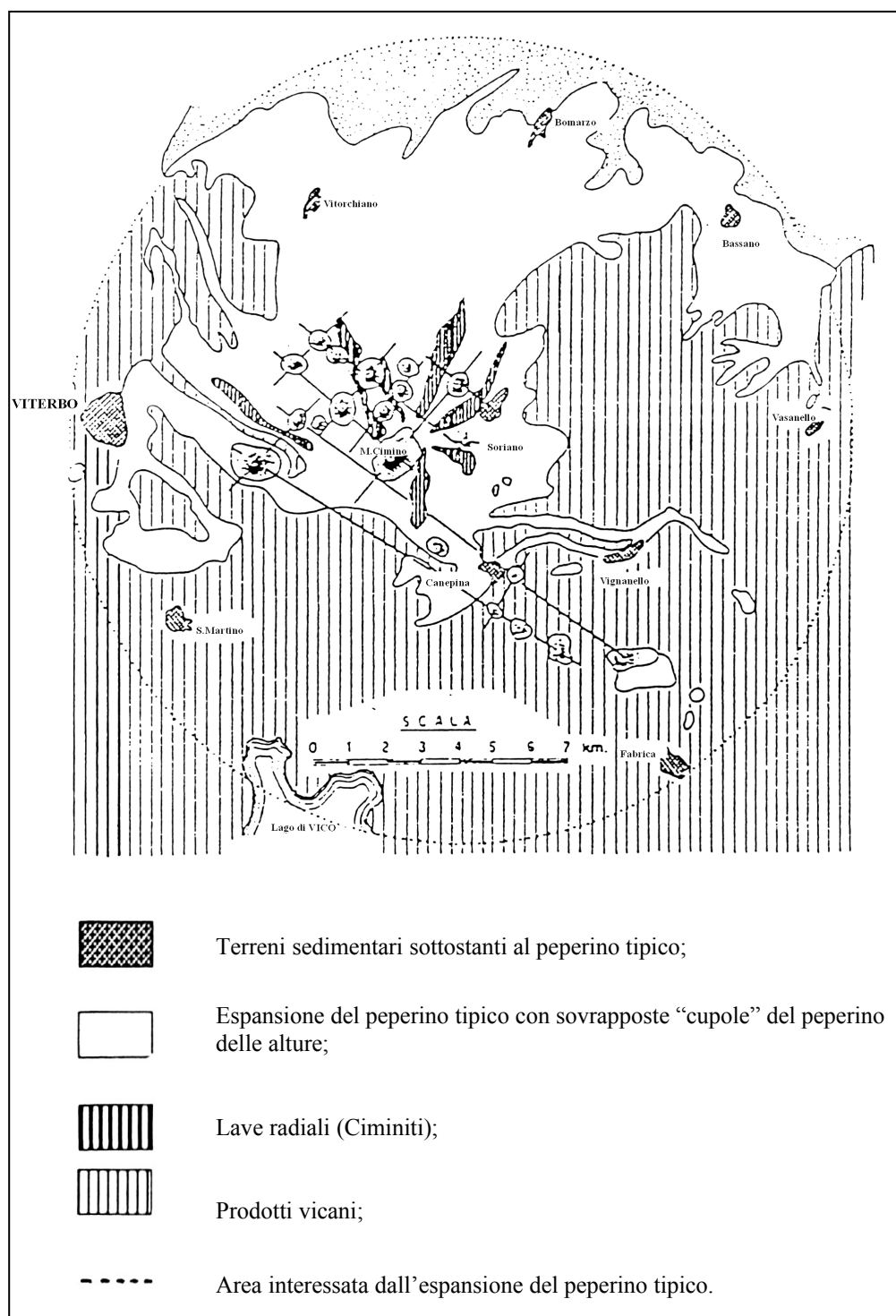


FIGURA 2.6 – Apparato vulcanico Cimino (da VENTRIGLIA, 1963).

I prodotti vulcanici cimini sono costituiti da emissioni ignimbriche quarzolatitiche (*Peperino Tipico del viterbese*), lave quarzolatitiche in duomi (*Peperino delle Altare*) e nell'ultima fase da colate di lava latitica e olivinlatitica (*Ciminite*), uscite da fratture laterali del Monte Cimino.

Il distretto Cimino interessa solo la porzione più occidentale del bacino idrografico del fiume Marta e in particolare l'intorno dell'alto morfologico del duomo lavico della Palanzana.

2.1.5 IL DISTRETTO VICANO

L'attività del distretto Vicano, compresa tra 0.8 Ma e 0.09 Ma, si sviluppa principalmente da un edificio centrale, il vulcano di Vico. Si tratta di un tipico strato-vulcano con la parte terminale troncata da una caldera eccentrica verso sud, sprofondata a formare il lago omonimo. Dal fondo della caldera si innalza un edificio secondario, il vulcano di Monte Venere. L'attuale morfologia non è tuttavia determinata dalla semplice esistenza di un originario cratere, ma dallo sprofondamento calderico della parte centrale dell'antico edificio.

Il complesso Vicano con i suoi prodotti ricopre buona parte degli edifici Cimini. I legami esistenti tra i vulcani Cimino e Vico sono, oltre che geografici e spaziali, anche temporali: l'attività eruttiva del Cimino si è esaurita poco dopo l'accendersi di quella di Vico (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970).

I prodotti generati sono caratterizzati da un chimismo alcalino-potassico e fuoriescono in maniera esplosiva. Infatti la natura comagmatica delle vulcaniti vicane è decisamente alcalina, con minore escursione rispetto alle vulcaniti vulsine: si ritrovano principalmente prodotti di natura da trachitico-latitica a fonolitico-tefritica ed in minore misura leucititi.

La paleogeografia su cui si edifica il distretto Vicano è quello di una vasta area pianeggiante, costituita dai depositi argillosi del Plio-Pleistocene, interrotta dalla dorsale flyschoidale di M. Razzano (Unità Liguridi dell'Oligocene) a nord-ovest dell'edificio centrale. Queste formazioni pertanto costituiscono, insieme ai prodotti cimini, il substrato delle vulcaniti vicane.

Lo schema geologico e vulcanologico del distretto Vicano e dei Monti Cimini è mostrato in FIGURA 2.7.

Il vulcano di Vico ha un'unitarietà strutturale che consente di ricostruirne la storia generale con sufficiente precisione attraverso quattro fasi (LOCARDI, 1965; BERTAGNINI & SBRANA, 1965):

- I FASE (0.8 – 0.4 Ma)

Durante questa prima fase si sono deposte spesse coltri di piroclastiti di ricaduta di composizione varia da leucite a trachite, separate da paleosuoli, e da emissioni di colate di lava, di composizione da leucitico-fonolitica a fonolitico-tefritica. L'insieme delle formazioni generate viene denominato “*Complesso Tufaceo Composito*” (Carta Geologica d'Italia, Fogli 137 e 143) o anche “*Tufi Stratificati Varicolori*” (MATTIAS & VENTRIGLIA, 1970).

- II FASE (0.35 – 0.2 Ma)

E' una fase di natura essenzialmente effusiva caratterizzata dall'emissione di ingenti colate di lava a composizione variabile da trachitiche a tefritico-fonolitiche (circa 50 km²). I prodotti lavici di questa fase sono i più caratteristici del vulcano di Vico, essendo i più diffusi e i più abbondanti poichè si estendono fino a 20 km dal centro di emissione.

- III FASE (0.2 – 0.15 Ma)

Ha carattere esplosivo e porta alla messa in posto delle principali colate piroclastiche note con il nome di *Ignimbriti A, B, C e D* a composizione variabile, da tefritico-fonolitica a fonolitica e trachitica. Alla fine di questa fase si verifica il collasso della parte terminale dell'edificio vulcanico.

- IV FASE (0.14 – 0.095 Ma)

In questa fase si verifica un drastico cambiamento delle modalità eruttive, che risultano fortemente condizionate dalla presenza di un bacino lacustre all'interno della cinta calderica. Caratteristiche di questa fase sono violente esplosioni idromagmatiche e la messa in posto dei “*Tufi finali*” a chimismo tefritico-fonolitico. Altri prodotti tipici di questa fase sono l'*Ignimbrite D*, il *Tufo Cineritico* con inclusi lavici di colore biancastro e i *Tufi Finali*.

L'attività del vulcano si chiude 90 mila anni fa con l'edificazione nel settore nord est della caldera del cono lavico di Monte Venere, a composizione fonolitica-tefritica e fonolitica (SOLLEVANTI, 1983).

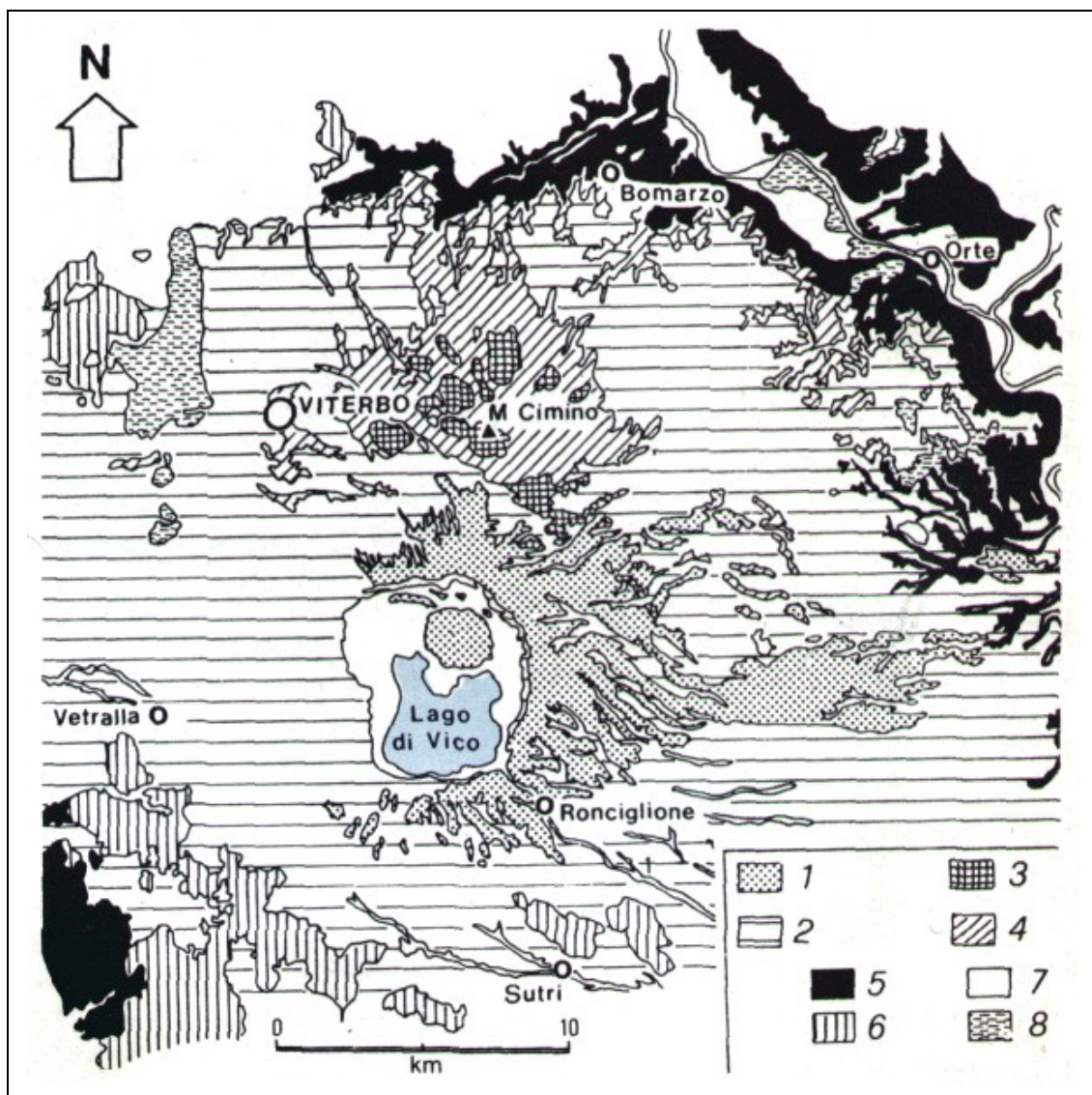


FIGURA 2.7 – Schema geologico dei distretti di Vico e dei Monti Cimini. 1: prodotti post – calderici; 2: tufi e lave dell’attività precalderica; 3: duomi cimini; 4: ignimbriti; 5: sedimenti del Plio-Pleistocene; 6: unità flyschoidi; 7: alluvioni e detriti; 8: travertini. (da SOLLEVANTI, 1983).

2.2 FORMAZIONI SEDIMENTARIE

La coltre delle rocce vulcaniche pleistoceniche ricopre quasi completamente i vari gruppi di formazioni sedimentarie che si trovano alla loro base.

Nel bacino del fiume Marta queste affiorano sporadicamente all’interno delle vulcaniti, generalmente in corrispondenza di culminazioni tettoniche ed incisioni fluviali. Affioramenti più estesi sono invece visibili soprattutto lungo il bordo delle rocce vulcaniche, al margine meridionale dell’area oggetto di studio.

Nel bacino del fiume Mignone le formazioni sedimentarie occupano gran parte della sua superficie, affiorando dal tratto terminale del fiume fino al settore orientale.

La ricostruzione geologica e morfologica del substrato è stata effettuata sulla base dei rilievi di superficie, dai dati ottenuti da sondaggi profondi e pozzi geotermici (BALDI *et alii*, 1974; SOLLEVANTI, 1983; LA TORRE, 1981) e da prospezioni geoelettriche (MARUFFI, 1972).

Le unità sedimentarie in affioramento nelle aree oggetto di studio possono essere così suddivise (FIGG. 2.8 e 2.9; BALDI *et alii*, 1974):

- **SUCCESSIONE CARBONATICA BASALE O UNITÀ DELLA FALDA TOSCANA**

Comprende i terreni Meso-Cenozoici ascrivibili alla facies Toscana e Umbra. In località La Guardiola (poco ad ovest di Viterbo), affiora il Macigno oligocenico, unità formazionale che chiude la Successione Toscana.

- **COMPLESSO ALLOCTONO (COMPLESSI IN FACIES LIGURE)**

Sono costituiti da marne, argilliti, calcari marnosi ed arenarie di età compresa tra il Cretacico superiore e l'Oligocene e indicati come “*Sicilidi*”. Questi terreni originano una dorsale che si estende con direzione NNO-SSE per circa 80 km, dalla zona di Castell’Azzara fino al Lago di Bracciano (dorsale Castell’Azzara-M. Razzano); essa ha costituito un elemento di separazione costante all’interno del mare pliocenico, sia nei periodi di trasgressione che di regressione, separando un’area occidentale (zona della Tolfa) da una orientale (bacino del Tevere).

- **UNITÀ LIGURIDI E AUSTRALOALPINE INTERNE**

Tali unità affiorano estesamente in Toscana meridionale e nel Lazio nord-occidentale. Nell’area di studio sono rappresentate dal “Flysch della Tolfa” (CHIOCCHINI & MADONNA, 2003). Secondo BUONASORTE *et alii* (1988) tale formazione appartiene al dominio austroalpino interno, mentre ABBATE & SAGRI (1970) la collocano nel dominio ligure. Il Flysch della Tolfa è stato inquadrato come Serie o Successione comprensiva di età cretacea superiore-oligocenica (ALBERTI *et alii*, 1970; BERTINI *et alii*, 1971). Tale successione comprende alcuni membri e litofacies (CIVITELLI & CORDA, 1993) che si succedono dal basso verso l’alto come descritto in FIGURA 2.10: un membro argilloso-calcareo, un membro calcareo-marnoso (con intercalazioni di argilliti varicolori, di pietraforte e di marne rosse) e un membro arenaceo.

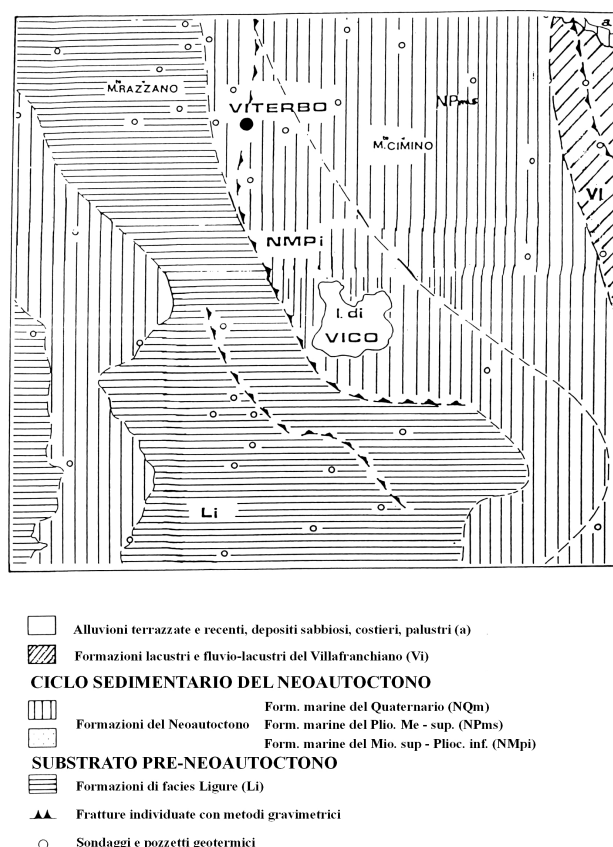


FIGURA 2.8 – Schema della distribuzione dei complessi sedimentari al di sotto della copertura vulcanica cimino-vicana (da BALDI *et alii*, 1974).

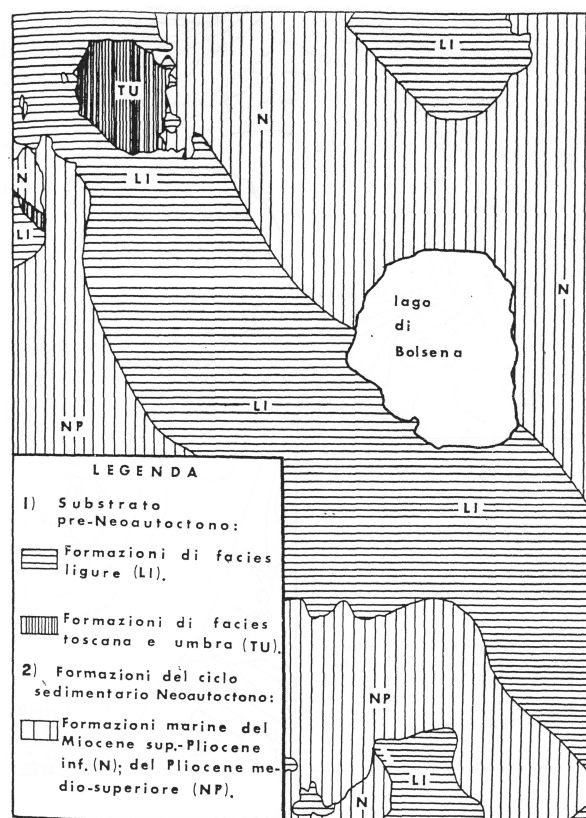


FIGURA 2.9 – Schema della distribuzione dei complessi sedimentari al di sotto della copertura vulcanica tolfetana-cerite e sabatina (da BALDI *et alii*, 1974).

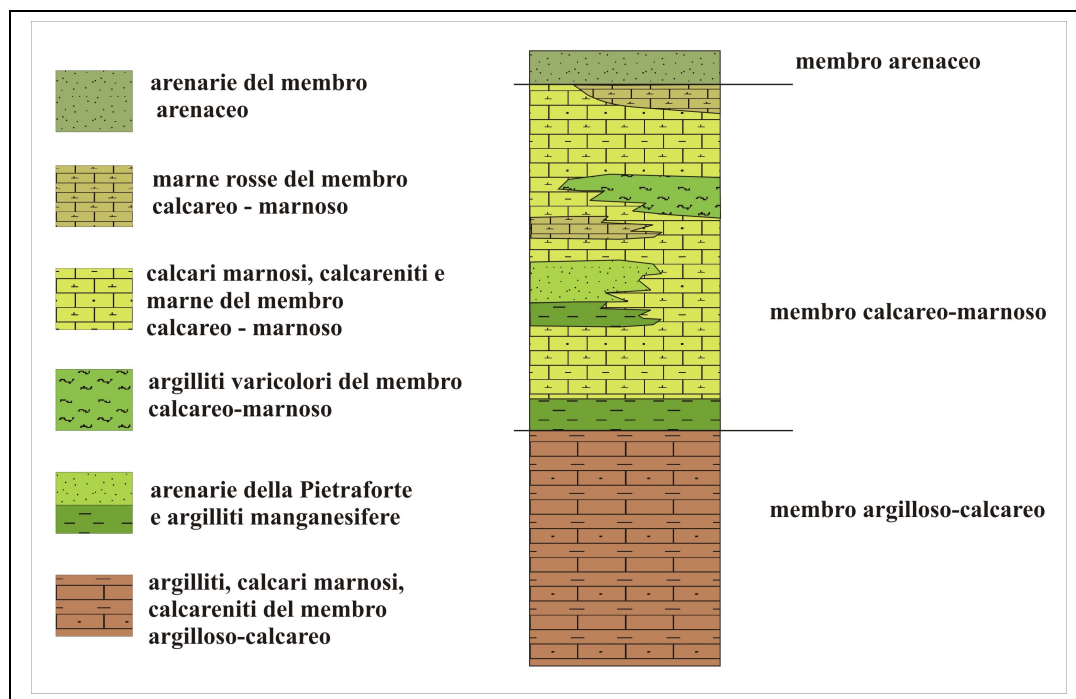


FIGURA 2.10 – Rapporti stratigrafici tra i membri del Flysch della Tolfa (da CHIOCCHINI & MADONNA, 2003).

- **CICLO NEOAUTOCTONO**

I depositi appartenenti a questo ciclo sono ampiamente rappresentati ai margini della coltre vulcanica laziale e al suo interno in corrispondenza di incisioni vallive. La loro deposizione è collegata ad un ciclo sedimentario prevalentemente marino che ha interessato il versante tirrenico dell'Appennino centro-settentrionale dal Messiniano al Quaternario. Si distinguono terreni posti ad occidente della dorsale di Castell'Azzara-Monte Razzano (cfr. FIG. 2.8) in cui le unità affioranti, riferibili al Messiniano-Quaternario, sono argille grigio-azzurre con cristalli isolati di gesso, argille grigio-azzurre con banchi e lenti di gesso e conglomerati sabbiosi rossicci. Sono inoltre presenti formazioni neautoctone più antiche, databili Pliocene inferiore, poste ad oriente della dorsale e costituite da sabbie e argille (Bacino del Tevere).

I caratteri morfologici del substrato sedimentario derivano dall'assetto strutturale della regione, dai fenomeni erosivi antecedenti la messa in posto dei prodotti vulcanici e dalla tettonica più recente collegata alle eruzioni vulcaniche. La sovrapposizione di questi diversi effetti rende difficile una netta separazione tra substrato ed i materiali vulcanici sovrastanti. In generale si nota che le caratteristiche morfologiche legate a dislocazioni vulcano-tettoniche consistono in depressioni circolari, subcircolari o ellittiche, oppure in rilievi cupoliformi.

Le aree comprendenti i bacini dei fiumi Mignone e Marta possono essere suddivise sulla base dei caratteri morfologici del tetto delle vulcaniti in tre settori (FIGURA 2.11; BALDI *et alii*, 1974):

- nel settore 1 la morfologia è dominata da fenomeni vulcano-tettonici di sprofondamento e comprende la conca lacustre del lago di Vico, del lago di Bolsena e quella del lago di Bracciano;
- il settore 2 è collegato a fenomeni vulcanici di sollevamento (duomi o dossi); ne fanno parte gli edifici effusivi dei M. Cimini e quelli del distretto Tolefano-Cerite;
- nel settore 3 la conformazione del substrato è legata alla paleomorfologia; le forme di erosione subaerea sono conservate sotto le vulcaniti. Alla stessa dorsale appartengono l'area di M. Razzano a NO di Viterbo e l'area di Sutri a SE del Lago di Vico.

Lo studio precedente di MARUFFI (1972) ha ricostruito tramite prospezioni geoelettriche il tetto del basamento conduttivo, identificabile con il flysch paleocenico-miocenico e con il complesso prevalentemente argilloso del Pliocene-Pleistocene. Il quadro strutturale che ne consegue identifica un sollevamento del substrato anziché uno sprofondamento in corrispondenza del Lago di Vico. Tuttavia si considera di maggiore attendibilità l'ipotesi di uno sprofondamento del tetto del substrato in corrispondenza del lago di Vico ed un sollevamento strutturale nei pressi dell'adiacente complesso Cimino, come riportano i numerosi studi effettuati da BALDI *et alii* (1974) (FIGG. 2.12 e 2.13), LA TORRE (1981) e SOLLEVANTI (1983) (FIG. 2.14).

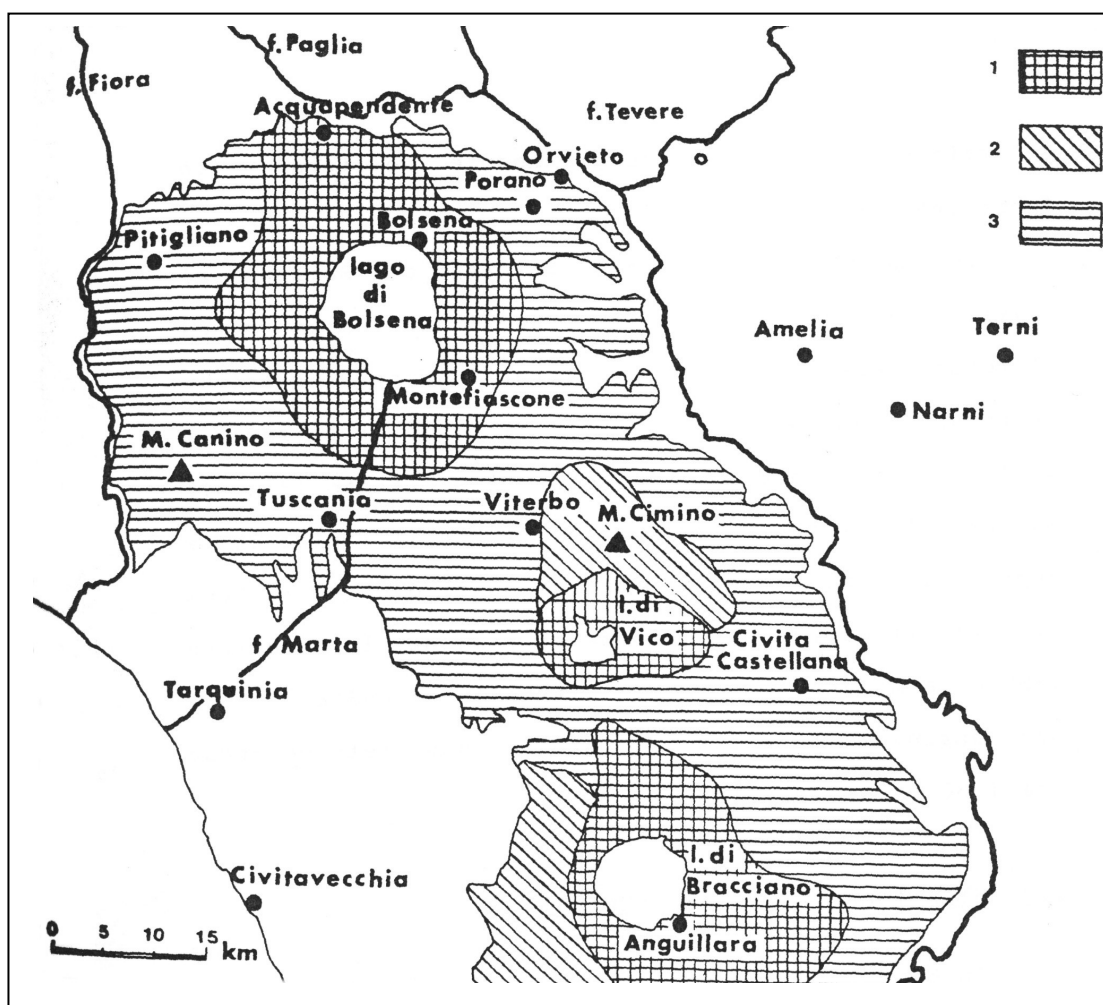


FIGURA 2.11 – Suddivisione dell'area dei vulcani laziali sulla base dei caratteri morfologici del tetto del substrato delle vulcaniti. Settore 1: caratterizzato da depressioni circolari, subcircolari ed ellittiche; Settore 2: caratterizzato da forme a “duomi” o “dossi”; Settore 3: conformazione del substrato più strettamente legata alla paleomorfologia (da BALDI *et alii*, 1974).

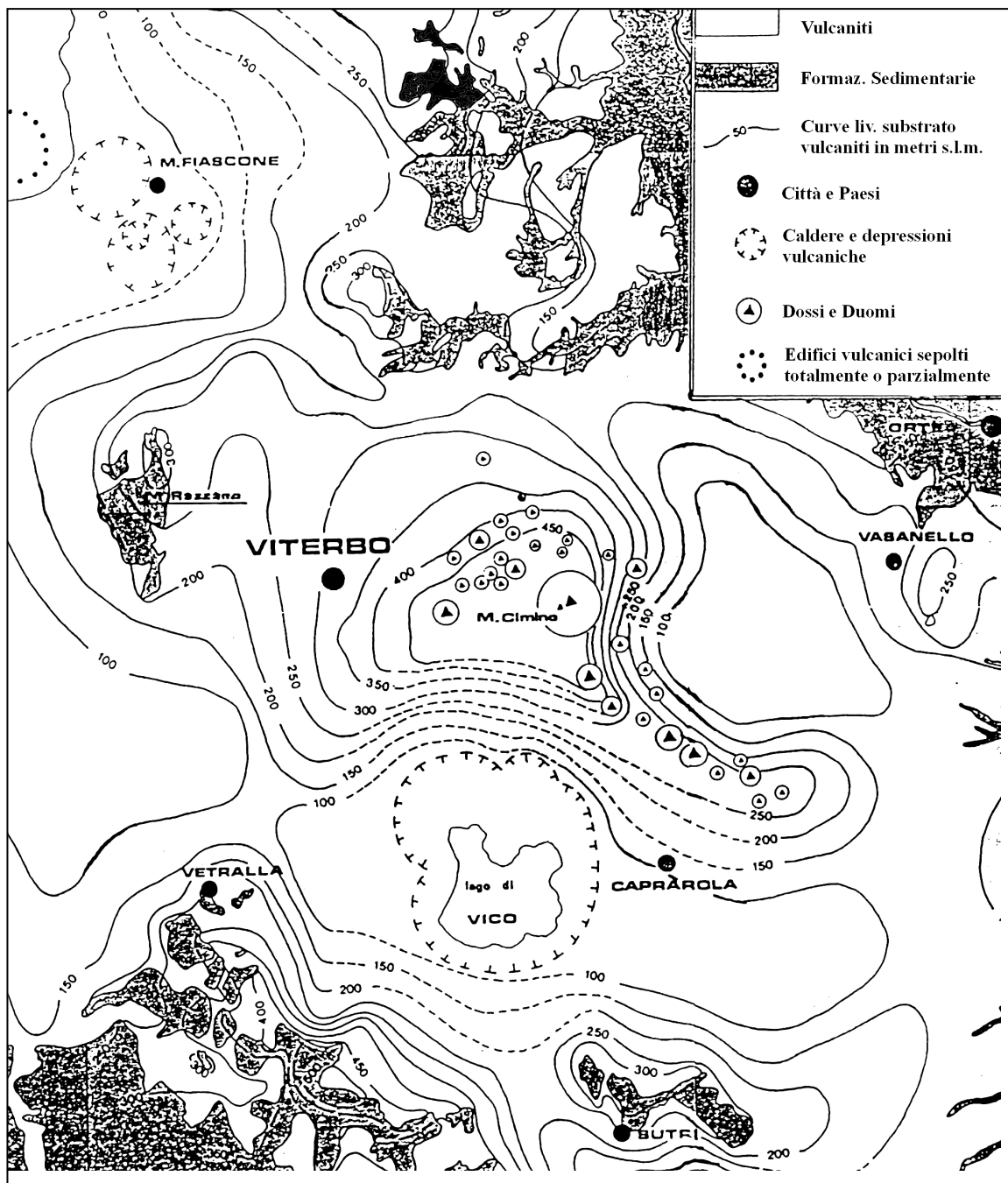


FIGURA 2.12 – Andamento generale delle isoipse relative al tetto del substrato delle vulcaniti laziali nella zona del Lago di Vico (da BALDI *et alii*, 1974).

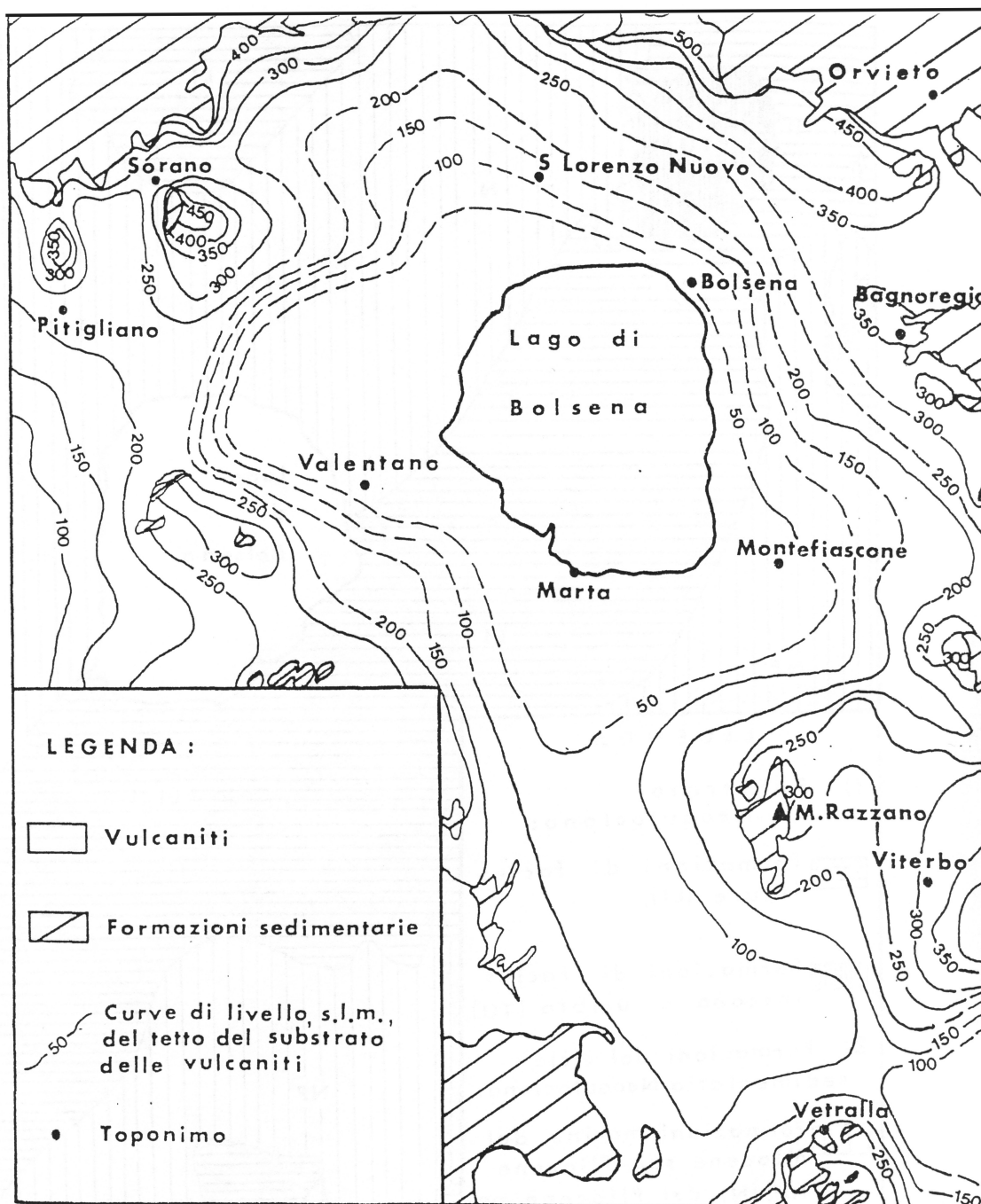


FIGURA 2.13 – Carta morfologica del tetto del substrato delle vulcaniti vulsine (da BALDI *et alii*, 1974).

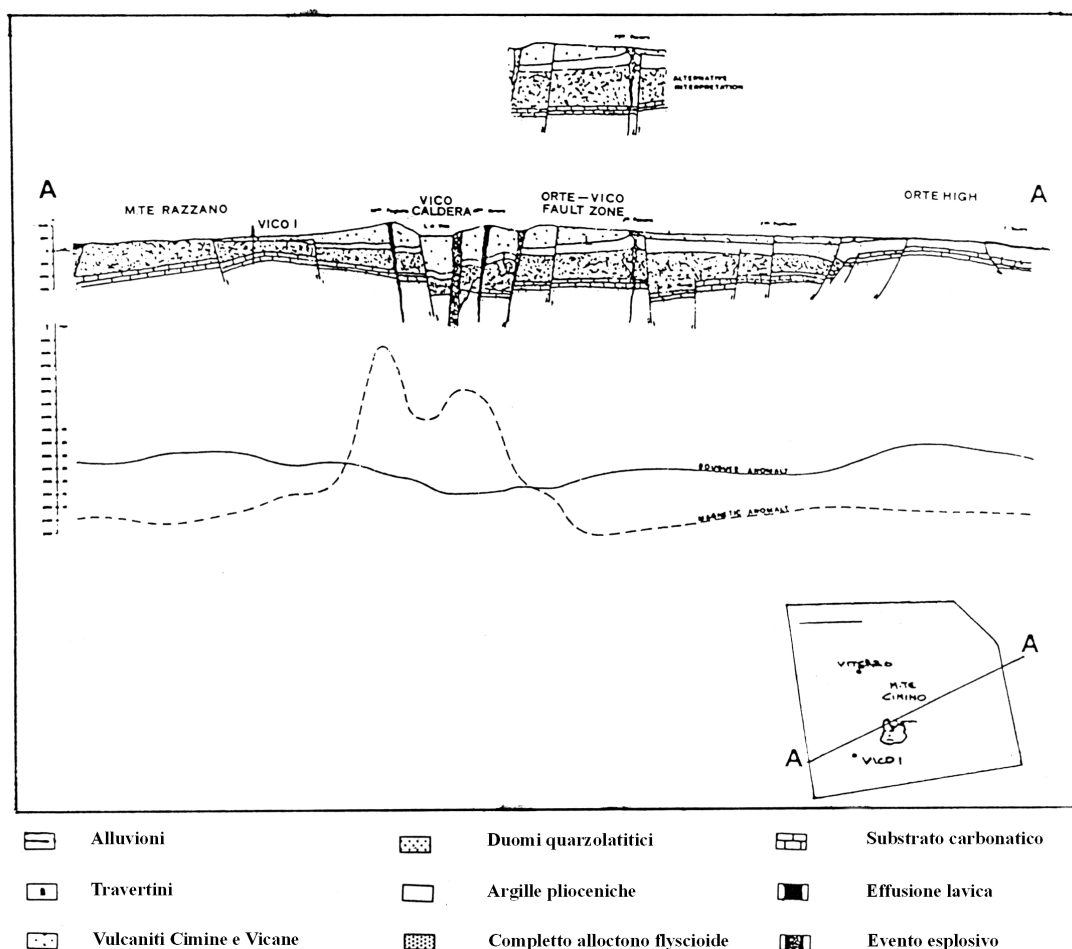


FIGURA 2.14 – Sezione schematica dell'area Vico-Cimini basata su prospezioni geofisiche, ed integrata con dati di superficie e di perforazione (da SOLLEVANTI, 1983).

2.3 ASSETTO STRUTTURALE

Gli apparati vulcanici laziali sono ubicati in coincidenza delle grandi linee di frattura che hanno interessato la catena appenninica. Le manifestazioni più acide (Amiata, Cimino, Tolfa) ebbero il loro sviluppo nel tardo Pliocene e nel Pleistocene; successivamente ebbero luogo, a chiusura del ciclo, le manifestazioni più basiche (Bolsena, Vico, Bracciano). I vulcani toско-laziali, tra i quali Vico e Bolsena, sono ubicati in corrispondenza del grande sistema di fratture parallele alla catena appenninica, mentre in corrispondenza di Bracciano si ha un'altra linea principale di frattura, più o meno parallela alla precedente, che la interseca proprio in corrispondenza del lago e lungo la quale sono allineati i principali centri eruttivi sabatini.

Nel caso delle formazioni vulcaniche non si può parlare di una tettonica vera e propria, quanto piuttosto di fenomeni vulcano-tettonici e di collassi calderici.

I vulcani Cimino e di Vico hanno avuto origine all'interno di un'area tettonicamente ribassata che costituisce il cosiddetto Graben principale; questo ha avuto origine per azione della tettonica distensiva postmiocenica, che ha disarticolato le compagini sedimentarie della Serie Tosco-Umbra, in una serie di alti e bassi strutturali (*Horst e Graben*) (cfr. FIG. 2.14).

In corrispondenza dei vuoti creati dall'emissione dei materiali dai vari centri eruttivi si è verificato lo sprofondamento di vaste zolle con formazioni di conche vulcano-tettoniche (Lago di Bracciano e di Vico).

Studi di carattere regionale (BALDI *et alii*, 1974; CHIOCCHINI *et alii*, 2001) hanno individuato una serie di discontinuità tettoniche sulla base di rilievi geologici, dati geofisici e dall'osservazione della distribuzione delle sorgenti termali e dei centri di emissione. In corrispondenza delle manifestazioni termali localizzate nella zona a Nord di Viterbo, esistono alcune tracce di faglia: una post-pliocenica di direzione NO-SE, che risulta tra l'altro la direzione predominante delle faglie della zona (FIG. 2.15), ed una di direzione NS pre-aterniana, di età non ulteriormente determinabile.

Precedenti alla messa in posto dei prodotti vulcanici, si individuano sistemi di faglie distensive con direzione antiappenninica, probabilmente legati all'intrusione acida del Cimino, con movimenti di sollevamento ad ampio raggio ma di modesta entità.

Nella regione a sud di Viterbo molte fratture e faglie sono orientate in direzione appenninica NO-SE, con possibili intersezioni tra queste, mentre a nord l'orientamento dominante interessa la direzione NS.

Le formazioni flyschoidi presentano caratteristiche strutturali diverse da quelle riscontrate nei complessi vulcanici; esse sono interessate da pieghe e faglie di vario tipo, a luoghi molto intense e fitte, non sempre ben evidenti data la natura di tali terreni. In genere raramente e soltanto negli affioramenti del flysch molto estesi, si riescono a distinguere strutture chiare, evidenti e di una certa estensione. Nei Monti della Tolfa il complesso del flysch, prevalente ed esteso più che nelle altre zone prese in esame, presenta faglie e pieghe, con direttrici tettoniche aventi orientamento NO-SE e NS con immersioni prevalenti verso SO, S e O.

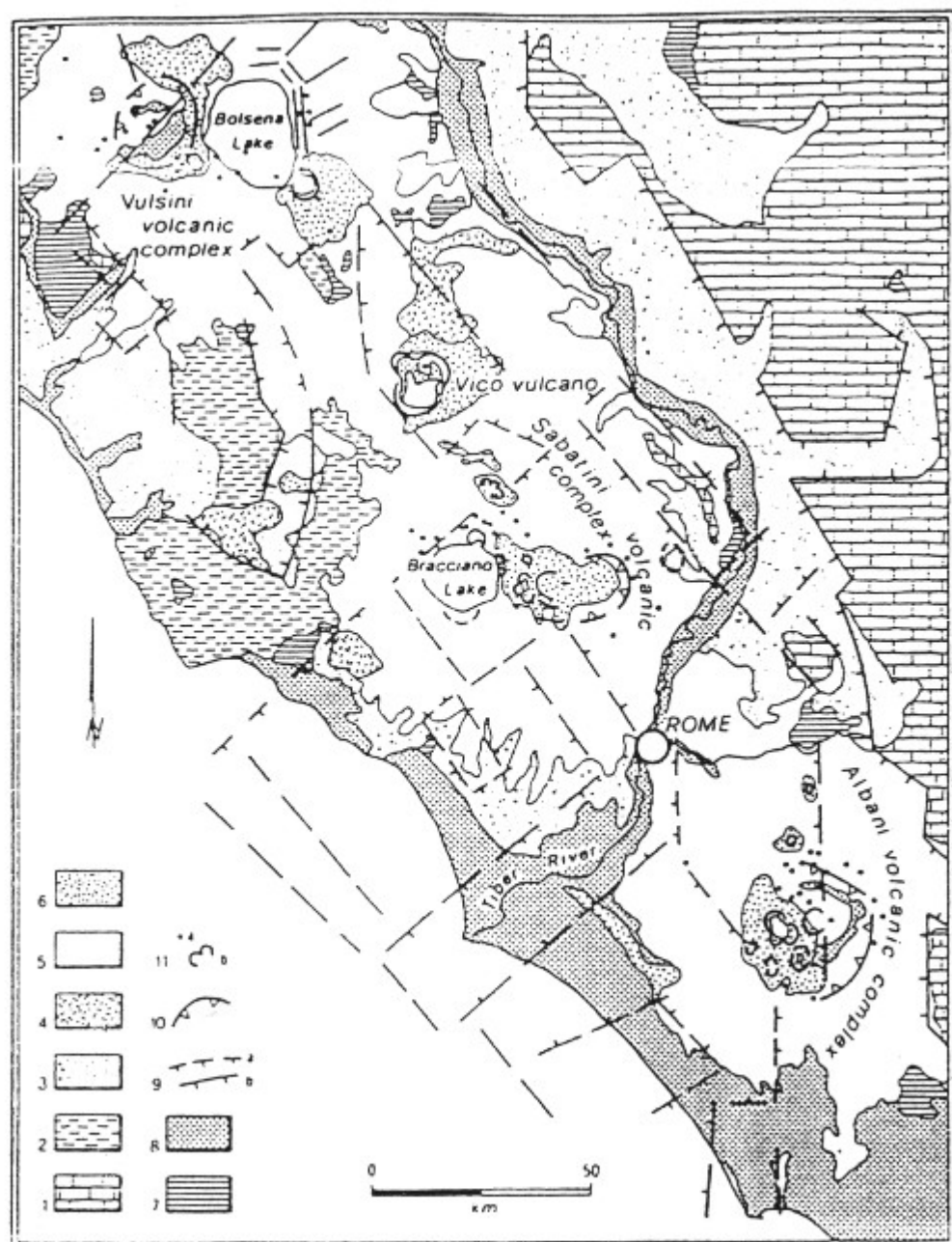


FIGURA 2.15 – Schema geologico-strutturale dell'area laziale. 1: piattaforma carbonatica laziale-abruzzese, successione umbro-sabina e falda toscana; 2: complessi alloctoni (Liguridi e Subliguridi); 3: sedimenti marini plio-pleistocenici; 4: vulcani acidi; 5: rocce vulcaniche alcalino-potassiche; 6: unità idromagmatiche; 7: travertini; 8: sedimenti continentali e marini (Pleistocene sup-attuale); 9°: faglie dirette; 9b: faglie identificate attraverso indagini indirette; 10: caldere; 11: coni di scorie (da DE RITA *et alii*, 1982).

2.4 GEOLOGIA E MORFOLOGIA DEL BACINO DEL MARTA

Le formazioni litologiche affioranti che caratterizzano la porzione di bacino individuata per il fiume Marta, sono riconducibili prevalentemente all'attività vulcanica dei distretti Vulsino e Vicano, mentre la presenza dell'Apparato Cimino è limitata solo al settore orientale dell'area (FIG. 2.16).

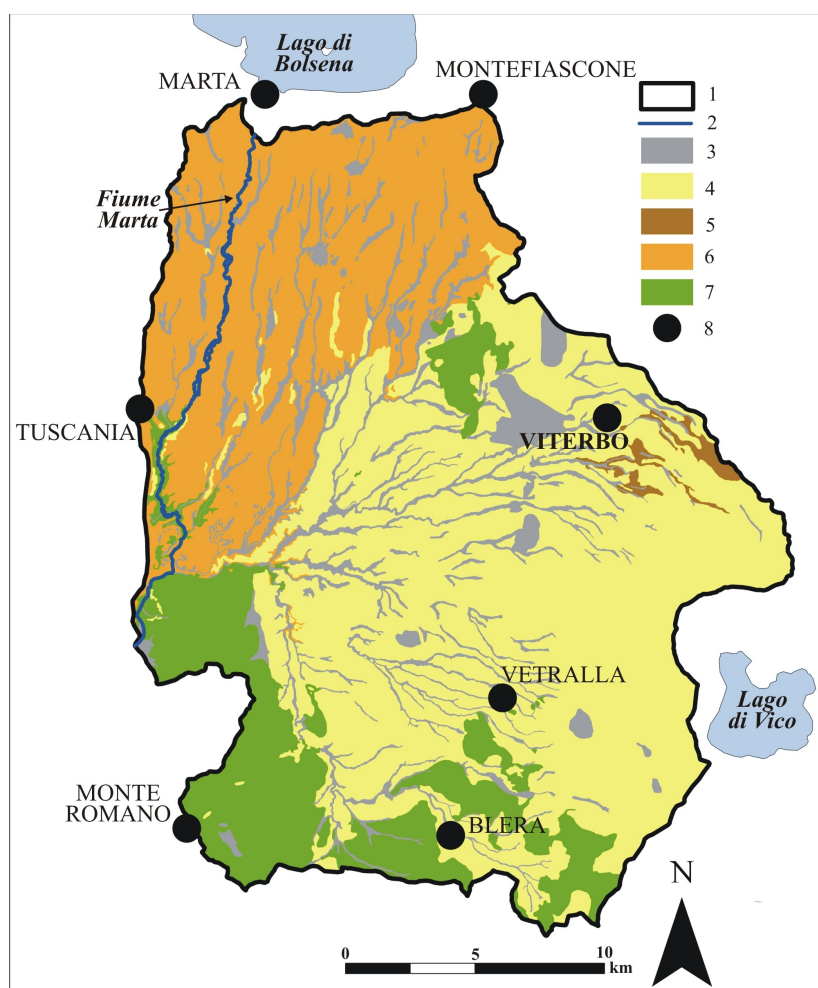


FIGURA 2.16 – Geologia del bacino del fiume Marta (1: area di studio; 2: fiume Marta; 3: formazioni continentali; 4: formazioni vulcaniche vicane; 5: formazioni vulcaniche cimine; 6: formazioni vulcaniche vulsine; 7: formazioni sedimentarie; 8: centri urbani).

L'asta principale del Marta, con direzione NE-SW, scorre fino alla confluenza con il torrente Traponzo su terreni piroclastici vulsini, alternati a lave leucitiche pleistoceniche in affioramento lì dove la morfologia dell'incisione fluviale lo permette. I depositi alluvionali lacustri e fluvio-lacustri, di età recente (Olocene) caratterizzano lunghi tratti del fiume Marta e dei suoi tributari, con un'estensione areale e verticale ridotta.

In corrispondenza della confluenza con il torrente Maschiolo, nei pressi della città di Tuscania, il Marta attraversa i terreni argillosi pliocenici prima e le formazioni flyschoidi cretaceo-eoceniche poi.

Il sottobacino del torrente Traponzo, suo principale tributario di sinistra, è contraddistinto dai prodotti vicani che costituiscono un esteso plateau ignimbrico dalla particolare morfologia (cfr. PAR. 3.3).

La regione cimina è caratterizzata dalla presenza di un alto numero di duomi di lava che danno luogo ad una serie di rilievi a pendio piuttosto ripido, variamente accostati tra loro o affioranti tra le vulcaniti che li ricoprono. Il limite orientale del bacino idrografico del fiume Marta taglia la vetta del duomo cimino della Palanzana.

L'imponente attività vulcanica del distretto pleistocenico Cimino-Vicano ha generato la depressione, più o meno circolare, ospitante il lago di Vico, ed i rilievi cupoliformi appartenenti alle strutture dei Monti Cimini a nord-est del lago.

Nell'area dei rilievi cimini è possibile osservare una dorsale orientata da nord-ovest a sud-est che termina in corrispondenza del Monte Cimino stesso: qui il substrato delle formazioni vulcaniche è stato sollevato a circa 450 m s.l.m.

La morfologia del settore meridionale ed orientale del bacino del fiume Marta è influenzata dalla disposizione dell'ignimbrite vicana, che ha assunto un andamento prevalentemente tabulare.

L'apparato vicano presenta una morfologia tipica dei vulcani a strato; trattasi di un edificio vulcanico con versanti esterni a pendio regolare e con incisioni relativamente poco marcate. La cinta calderica è legata alla presenza di fratture arcuate di sprofondamento calderico. L'area circostante la caldera del lago di Vico mostra una morfologia mossa con quote talora elevate (quota massima il Monte Fogliano con 965 m s.l.m.). La morfologia si addolcisce verso l'esterno fin quasi ad appiattirsi lì dove la disposizione del substrato sedimentario lo ha consentito. Nei punti in cui detto substrato mostrava dei rilievi accentuati le ignimbriti li hanno aggirati depositandosi solo nelle parti più depresse.

Assai irregolare appare la morfologia circostante il lago di Bolsena e quindi il settore settentrionale del fiume Marta. Infatti l'apparato vulsino è stato protagonista di numerose manifestazioni effusive che hanno demolito i principali edifici vulcanici, ora totalmente obliterati dai prodotti delle successive manifestazioni. Numerosi sono i coni di scorie e i conetti tardivi, disposti lungo allineamenti tangenziali e radiali, che caratterizzano la zona a sud del lago di Bolsena.

Una morfologia tipica è data dalle placche di travertino (Piana di Viterbo) che hanno conferito al paesaggio un andamento uniforme, piatto e piuttosto monotono.

Nel tratto terminale del fiume Marta dove prevalgono le formazioni flyschoidi, i rilievi presentano versanti generalmente dolci, mentre le pareti ripide si presentano dove gli strati si trovano a reggipoggio ed affiorano i termini litoidi. Tale motivo morfologico è interrotto a luoghi da forme spianate e terrazzate dei depositi neogenici o quaternari, quali affioramenti di travertino e alluvioni varie.

2.5 GEOLOGIA E MORFOLOGIA DEL BACINO DEL MIGNONE

Il bacino del torrente Mignone è caratterizzato dalla notevole presenza delle formazioni sedimentarie che occupano gran parte dell'area esaminata (FIG. 2.17).

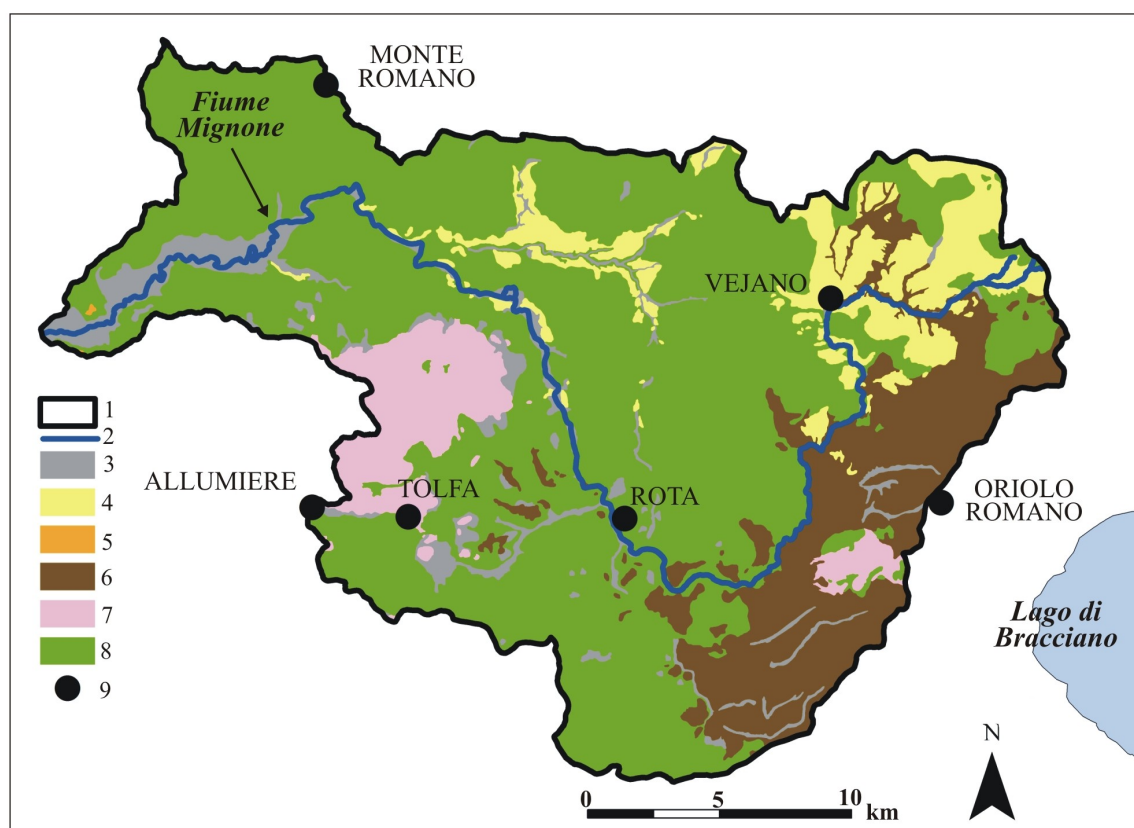


FIGURA 2.17 – Geologia del bacino del fiume Mignone (1: area di studio; 2: fiume Mignone; 3: formazioni continentali; 4: formazioni vulcaniche vicane; 5: formazioni vulcaniche vulsine; 6: formazioni vulcaniche sabatine; 7: formazioni vulcaniche cerite – tolfetanese; 8: formazioni sedimentarie; 9: centri urbani).

Il torrente Mignone nel tratto iniziale è impostato al contatto tra le formazioni vulcaniche, vicane e sabatine, e quelle sedimentarie. Il fenomeno potrebbe essere imputato a deviazioni provocate dalle venute ignimbriche, talvolta anche laviche, che, colmando le valli precedenti, avrebbero dato origine all'attuale valle epigenetica.

Il fiume Mignone ha un andamento piuttosto caratteristico, con la parte alta del corso ad andamento nord-sud, ed una seconda parte finale con andamento SE-NO.

Il Mignone ha origine nella zona compresa tra Vejano, Barbarano Romano, Capranica e Bassano di Sutri; tra queste due ultime località corre infatti la linea dello spartiacque che divide i bacini dei fossi che scorrono verso il mare da quelli dei corsi d'acqua che portano le loro acque nella valle del fiume Tevere. Questo spartiacque è originato da una dorsale poco rilevata formata da basse colline, costituite sia da terreni sedimentari che da terreni vulcanici, che unisce i rilievi del lago di Vico a quelli di Bracciano.

L'alto corso del Mignone, svolgendosi verso sud, segue il bordo dell'affioramento del flysch da Vejano fino a Canale Monterano, piegandosi poi bruscamente a ovest e successivamente a NO, attraversando in tal modo la grande dorsale formata dalle colline flyschoidi. In questo tratto il fiume segue probabilmente l'andamento di una grossa faglia la cui direzione è anche segnata dalla presenza di sorgenti termali calde (Bagni di Stigliano, Rota).

Da questo punto in poi il corso del fiume conserva una direzione SE-NO attraversando l'affioramento dell'argille mioceniche, per poi piegare bruscamente a ovest nell'ultimo tratto, incanalandosi, insieme al torrente Vesca, in una strettoia tra due affioramenti di flysch.

Le strutture morfologiche connesse con l'affioramento dei terreni vulcanici sono legate all'attività dell'apparato vicano, sabatino e cerite-tolfetano.

Gli apparati acidi (Cerite, Tolfa e Manziana) appaiono evidenziati, rispetto ai terreni circostanti, da rilievi morfologici accentuati con pendii generalmente ripidi. Le forme più caratteristiche sono date dai duomi che, soprattutto nel settore dei Ceriti, risultano tipici e in gran numero. Questi emergono dal paesaggio circostante con aspetto cupoliforme, raggiungendo quote dell'ordine dei 400 m s.l.m. Fra una cupola e l'altra la morfologia risulta spesso addolcita per la presenza di coltri ignimbriche più o meno estese. Verso NO il rilievo si protrae con le formazioni sedimentarie che danno vita, nel loro insieme, ad uno sbarramento contro cui successivamente si adagiarono le ignimbriti sabatine, colmando ogni precedente depressione.

Nel settore tolfetano, nella porzione centrale del bacino, il Monte Piantangeli (511 m s.l.m.) rappresenta il solo lembo lavico-ignimbrico di una certa estensione. Esso costituisce un rilievo massiccio, con pareti molto ripide, che si erge sulla vallata del torrente Mignone. Inoltre nei Monti della Tolfa la massa principale delle formazioni vulcaniche è rappresentata da un plateau ignimbrico di natura riolitica-quarzolitica

digradante verso NO, contornato da lembi isolati di vulcaniti. Tale massa raggiunge una quota massima di m 633 s.l.m. presso l'abitato di Allumiere.

L'Apparato Sabatino occupa la zona sud-orientale del bacino del torrente Mignone e risulta morfologicamente più complicato, in quanto formato da un numero piuttosto elevato di crateri e bocche eruttive. In genere si riscontra un andamento morfologico abbastanza dolce, con rilievi maggiori nel settore più settentrionale. Essi vanno mano a mano abbassandosi verso sud, ove la coltre delle vulcaniti si appiattisce per la presenza dei depositi di tipo ignimbrico e tufaceo, nonché dei sedimenti marini che ne costituiscono il substrato.