



Università degli Studi di Napoli Federico II

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA
“UTILIZZO IDROPOTABILE DELLE ACQUE DELL'INVASO DI
CAMPOLATTARO E POTENZIAMENTO DELL'ALIMENTAZIONE POTABILE
PER L'AREA BENEVENTANA”
DEFLUSSO MINIMO VITALE E DEFLUSSO ECOLOGICO**

Napoli, maggio 2023

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Ing. Francesco Pirozzi

Il Responsabile scientifico

Prof. Ing. Maurizio Giugni

Maurizio Giugni

INVASO DI CAMPOLATTARO: DEFLUSSO MINIMO VITALE E DEFLUSSO ECOLOGICO

1. PREMESSE

1.1 EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO

La tutela dei corsi d'acqua ha conosciuto in Italia una significativa evoluzione concettuale e normativa, in linea con l'obiettivo dell'Unione Europea di garantire alle generazioni future un patrimonio ambientale integro (in termini di sviluppo sostenibile) e assicurare la conservazione della biodiversità, riconoscendo l'ambiente acquatico come ecosistema complesso, al fine di garantirne la tutela sia qualitativa che quantitativa e preservare l'equilibrio degli ecosistemi connessi con il corpo idrico.

Il Deflusso Minimo Vitale (DMV) di un corso d'acqua è stato introdotto nel quadro legislativo nazionale dalla Legge 183/1989 (art. 3, comma 1, lettera i) e successivamente ripreso dal D.Lgs. 275/1993, dalla Legge 36/1994, dal D.Lgs. 152/1999 e dal D.Lgs. 152/2006 in recepimento delle disposizioni di cui alla Direttiva 2000/60/CE.

Le *“Linee Guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la determinazione del minimo deflusso vitale”*, emanate dal Ministero dell'Ambiente e Territorio con apposito D.M. del 28/07/2004 (G.U. n. 268 del 15/11/2004), hanno introdotto in forma finalmente sistemica il concetto del Deflusso Minimo Vitale, in precedenza oggetto di prescrizioni normative in parte disgiunte dalla qualità complessiva del corso d'acqua. Il DMV cessa di essere considerato un valore costante di portata genericamente correlato alla vita nel corso d'acqua e diventa *“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”*. Le medesime Linee Guida specificavano che il DMV rappresenta una portata di stretta attinenza al Piano di Tutela e che alla determinazione del DMV *“attengono aspetti di tipo naturalistico (caratteristiche idrologiche e idrogeologiche, caratteristiche geomorfologiche e conservazione e recupero dell'ecosistema e dell'ambiente fluviale) e di tipo antropico (modificazioni dell'alveo, presenza di carichi inquinanti residui da fonti puntuali e diffuse) caratteristici di ogni tronco di corso d'acqua di interesse”*. Si sottolineava, inoltre, allo scopo di consentire la naturale variabilità del regime dei deflussi in base al quale si forma l'equilibrio fisico e biologico del corso d'acqua nonché le portate formative basilari per la salvaguardia dei processi geomorfologici naturali, l'opportunità di individuare valori del DMV differenti per ciascun mese o stagione dell'anno.

La fase conoscitiva di cui al paragrafo 3 delle suddette Linee Guida prevedeva che per ogni sezione o tratto omogeneo di un corso d'acqua si acquisissero una serie di elementi conoscitivi relativi a:

- tipologia morfologica, geologica, idrogeologica, climatica e idrologica;
- regime dei deflussi naturali e relativa caratterizzazione statistica (prelievi e immissioni di acqua);
- parametri geometrici dell'alveo;
- parametri idraulici della corrente;
- parametri biologici;
- presenza di aree a specifica tutela o "indice Naturalistico".

Le Linee Guida prevedevano, altresì, che *"in attesa dei Piani di tutela e comunque per i corsi d'acqua non ancora interessati dalle elaborazioni di Piano, il DMV potrà essere definito in base ai criteri e alle formule adottate dalle Autorità di bacino o dalle Regioni competenti"*.

Da osservare, inoltre, ai sensi del c. 4 dell'Art. 95 del D.Lgs. 152/06 *"...Tutte le derivazioni di acqua comunque in atto...sono regolate dall'autorità concedente mediante la previsione di rilasci volti a garantire il Minimo Deflusso Vitale nei corpi idrici..."* anche con prescrizioni e limitazioni temporali o quantitative imposte alle utilizzazioni asservite alle relative derivazioni.

L'avvio dell'attuazione della Direttiva 2000/60/CE in ambito italiano, attraverso i Piani di Gestione delle Acque (I Ciclo e II Ciclo) ha posto le basi per un'evoluzione dello strumento di tutela Deflusso Minimo Vitale verso il concetto del **Deflusso Ecologico (DE)**, per definire un'azione di governance della risorsa idrica su base distrettuale imperniata sul conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale fissati dalla Direttiva 2000/60/CE e definiti nel Piano di Gestione delle Acque. D'altronde già le linee guida emanate con il D.M. 28 Luglio 2004 legavano il DMV allo stato di qualità dei corpi idrici e degli ecosistemi connessi.

Le linee guida di cui al più recente Decreto Direttoriale n. 30/STA del 13.02.2017, recante *"Approvazione delle linee guida per l'aggiornamento dei metodi di determinazione del deflusso minimo vitale al fine di garantire il mantenimento, nei corsi d'acqua, del deflusso ecologico a sostegno del raggiungimento degli obiettivi di qualità definiti ai sensi della Direttiva 2000/60/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo del 23 ottobre 2000"*, hanno rafforzato tale legame, rimarcando in maniera ancor più evidente il nesso tra il DMV/DE e gli obiettivi di qualità ambientale e lo stato di qualità ambientale del corpo idrico.

1.2 CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Il **fiume Tammaro** nasce ai piedi del Massiccio del Matese, precisamente in località Piana di Sepino (provincia di Campobasso - alt. media 540 m.s.l.m.) e confluisce nel fiume Calore presso il terri-

torio comunale di Paduli, a valle di Ponte Valentino (Paduli - alt. media 125 m.s.l.m.), dopo aver percorso circa 67 km in direzione prevalentemente nord-sud attraversando 10 comuni. Gli affluenti più importanti sono il **Tammarecchia** e il Reinello che, insieme al Tammaro, costituiscono l'ossatura principale della rete idrografica (Figura 1). Il territorio è prevalentemente collinare, lambito da gruppi montuosi dai quali si originano numerosi corsi d'acqua che costituiscono un pattern dendritico. La zona nord-occidentale appartiene al complesso montuoso del Matese; la zona più a sud è tipicamente collinare; nella parte in sinistra idrografica si rilevano versanti a media e debole pendenza, in cui sono presenti profonde incisioni torrentizie e, infine, la zona centrale del bacino, pianeggiante con deboli acclività, alla base tra il versante occidentale e orientale, è la valle aperta in cui trova sede, per gran parte della sua lunghezza, il corso fluviale del Tammaro.

Sul fiume Tammaro, a monte dell'abitato di Campolattaro, è stata realizzata una diga (invaso di Campolattaro), mentre la derivazione dal Tammarecchia è stata ottenuta sbarrando il torrente con una traversa in località Selvapiana e realizzando un'opportuna opera di presa e una galleria di allacciamento al serbatoio, con uno sviluppo di circa 2 km (Figura 2).

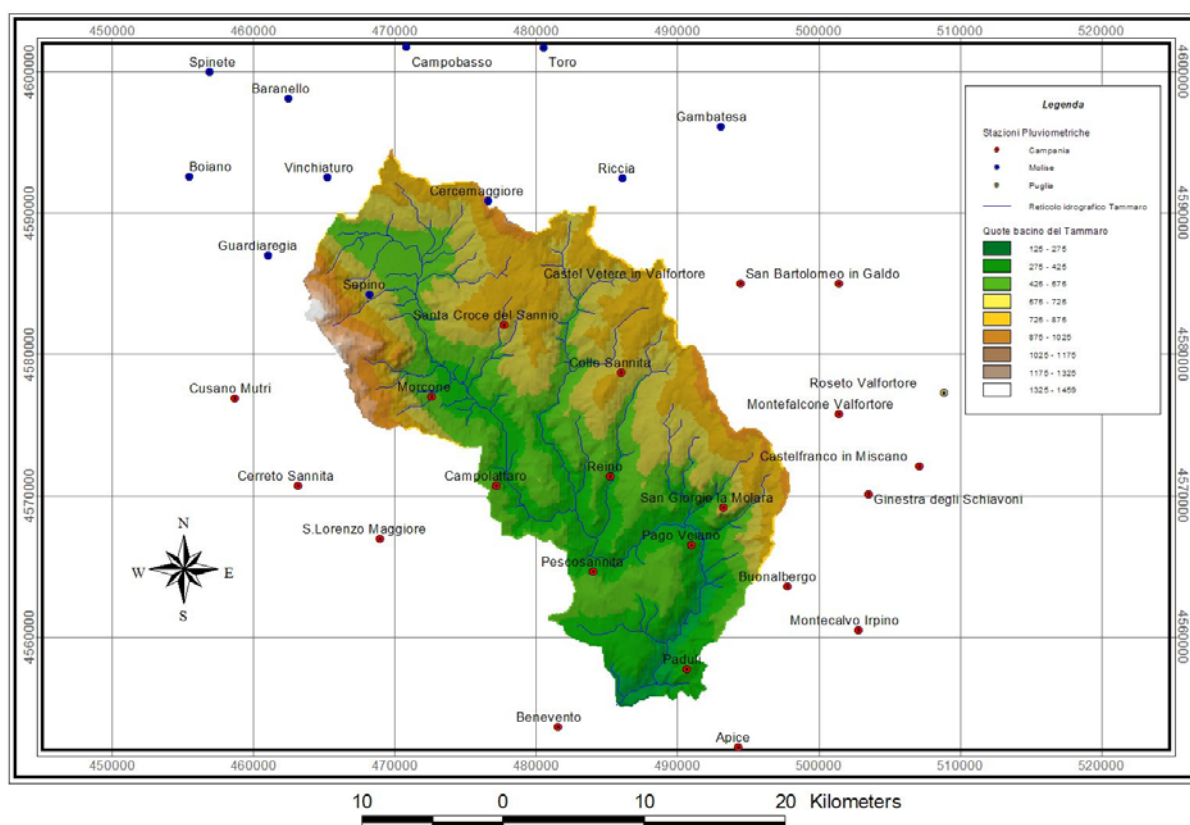


Figura 1. Il bacino idrografico del Fiume Tammaro

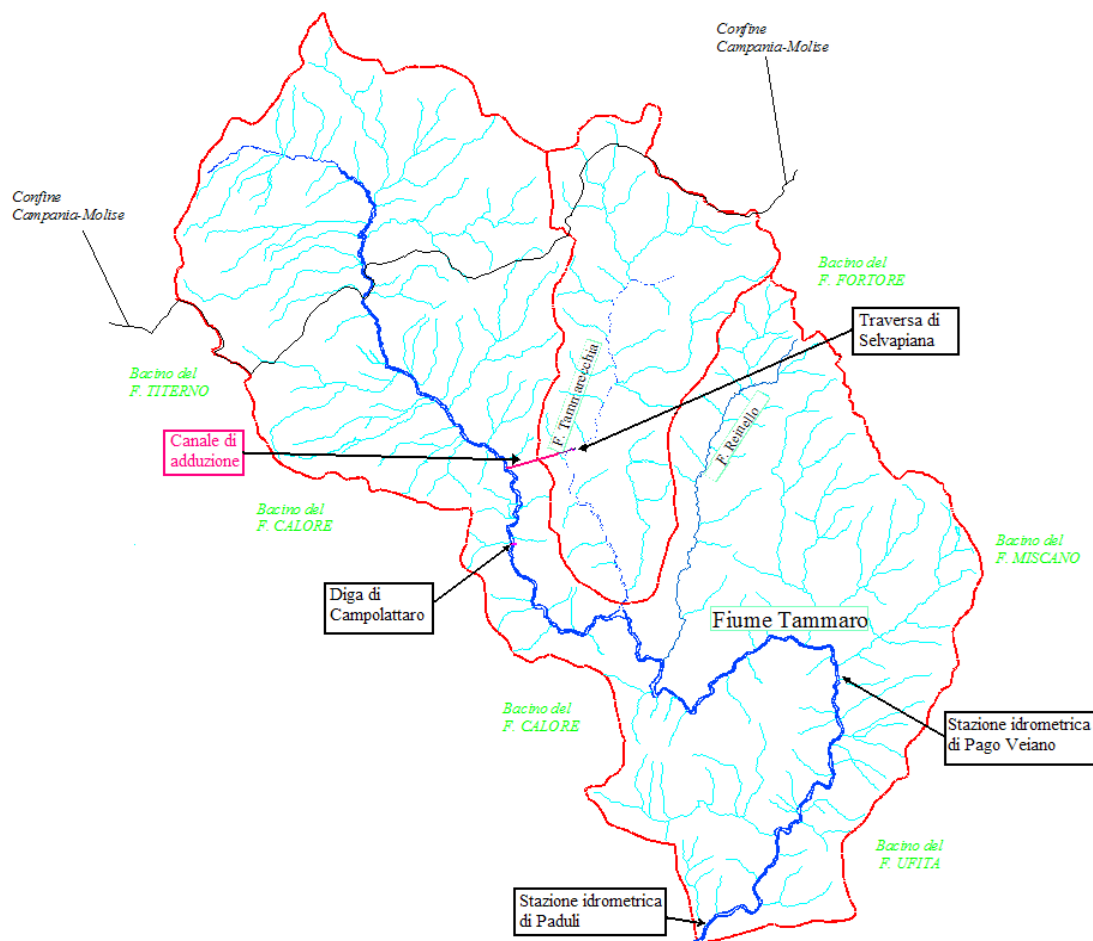


Figura 2. Localizzazione delle opere realizzate nel bacino del Tamaro

Per quanto concerne le caratteristiche di qualità dell'acqua, il bacino del Tamaro è stato monitorato dall'ARPAC da monte a valle con tre stazioni (come previsto ai sensi del D.L. 258/2000) poste nel territorio comunale di Morcone (Ta 1), Campolattaro (Ta 2) e Paduli (Ta 3) e con una stazione per il torrente Tammarecchia, situata nel territorio comunale di Circello (Tm). Il monitoraggio chimico-fisico effettuato in una fase iniziale ha evidenziato un'alterazione ambientale nel passaggio da monte a valle, confermata anche dalle analisi sulla qualità biologica delle acque che mostrava una caduta verticale in termini di varietà delle popolazioni, come illustrato dalla caratterizzazione del fiume Tamaro in termini di classe LIM (Livello di Inquinamento da Macrodescrittori), di livello IBE (Indice Biotico Esteso) e di Stato Ecologico (Figura 3) e dalla carta dello Stato Ecologico del fiume Tamaro (Figura 4).

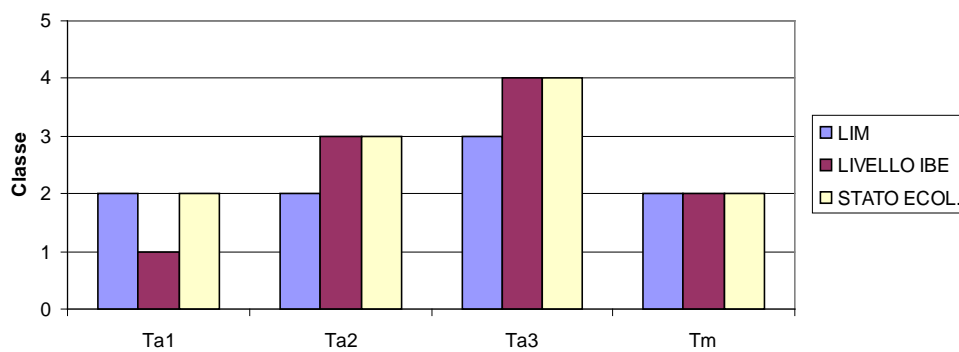


Figura 3. Classe LIM, livello IBE e stato ecologico del Fiume Tammaro (ARPAC)

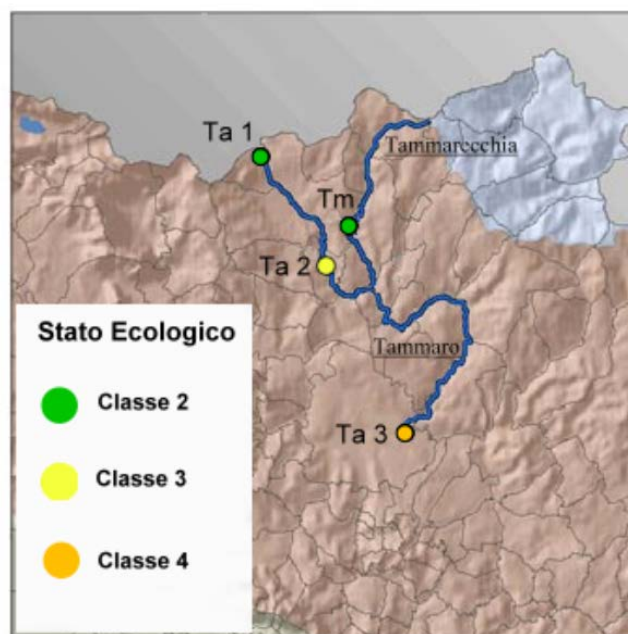


Figura 4. Carta dello stato ecologico del Fiume Tammaro (ARPAC)

1.3 RISULTATI OTTENUTI IN PRECEDENZA PER IL DEFLUSSO MINIMO VITALE

Nell'ambito delle attività svolte in precedenza (completate nel 2008) a supporto dello studio di fattibilità tecnico-economico per l'utilizzo dell'invaso di Campolattaro, a cura del Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale (oggi Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, DICEA), sulla scorta della documentazione e dei dati all'epoca disponibili, si è fatto riferimento, per la valutazione del Deflusso Minimo Vitale del fiume Tammaro e del torrente Tammarecchia, a tre differenti approcci:

- A. Un approccio classico "regionale", basato sull'utilizzazione delle relazioni proposte dall'Autorità di Bacino nazionale dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno e dall'Autorità di Bacino pilota del fiume Serchio

B. Un approccio di tipo ambientale, utilizzando in particolare la metodologia messa a punto da Nasello (2000, 2003)

C. Un approccio di tipo idrologico, mediante il metodo *Indicators of Hydrological Alteration* (IHA), applicato con specifico riferimento a corsi d'acqua di tipo intermittente

La metodologia elaborata dall'Autorità di Bacino dei fiumi Liri-Garigliano e Volturno per la determinazione del DMV è di tipo "idrologico-ambientale": pur tenendo in considerazione le indicazioni della normativa e degli studi svolti in passato, è stata adattata per il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino. La formula per il calcolo del DMV si basa su un contributo idrologico, assunto come soglia minima di partenza, regionalizzabile e modulabile in funzione della superficie di bacino sottesa, e da un fattore correttivo che viene definito dalla somma di più termini, tra cui quello morfologico, di naturalità, di qualità ambientale, ecc.

L'Autorità di Bacino del Fiume Serchio ha, invece, scelto per la valutazione del DMV un metodo "ibrido", adottando come modello quello proposto dall'Autorità di Bacino del Po che consente, pur con i limiti di una applicazione semplice, economica e speditiva (non sono richieste estese campagne di campo), di tenere conto di diversi fattori (precipitazioni, altitudine, qualità del corso d'acqua, valore naturalistico) e possiede, pertanto, la flessibilità necessaria per adattarsi alle specifiche situazioni locali. Il metodo, inoltre, prevede un coefficiente di modulazione della portata (basato sull'analisi dei deflussi mensili) che risponde all'esigenza ecologica di garantire all'alveo almeno una modesta percentuale delle variazioni di portata che ne caratterizzano il regime idrologico naturale e che influenzano i cicli biologici degli organismi acquatici e della vegetazione spondale.

L'approccio ambientale si basa, invece, sul legame esistente tra l'andamento stagionale dei deflussi e le corrispondenti variazioni stagionali delle popolazioni dei macroinvertebrati bentonici, correlando quest'ultimo al Deflusso Minimo Vitale. È stato applicato, in particolare, il metodo suggerito da Nasello (2000, 2003) che, sulla base di studi su corsi d'acqua non perenni della Sicilia, suggerisce di determinare tale valore dalla curva delle durate delle portate giornaliere, scegliendo il punto che anticipa di due o tre mesi i minimi deflussi in alveo.

Il metodo IHA (*Indicators of Hydrological Alteration*) mira alla caratterizzazione del Deflusso Minimo Vitale riconoscendo i deflussi come variabile principale nel determinare lo stato dell'ecosistema del corso d'acqua. Si può ritenere, in altri termini, che le modificazioni dei deflussi siano una causa rilevante delle alterazioni dello stato ambientale e che ad assumere rilevanza sia, quindi, l'intero "spettro delle portate" che determina lo stato dell'ecosistema del corso d'acqua, comprensivo delle magre, delle piene e delle modalità con cui esse si manifestano. La variabilità dei deflussi, infatti, dà luogo ad una corrispondente diversità spaziale e temporale di habitat acquatici e ripariali, che consente l'evoluzione di specie in grado di adattarsi. (Poff et al., 1997). Viene, quin-

di, evidenziato uno stretto legame tra la variabilità del regime naturale dei deflussi e l'integrità degli ecosistemi dei corsi d'acqua, con riferimento a cinque componenti critiche dei deflussi che regolano i processi ecologici negli ecosistemi fluviali: la portata complessiva, la frequenza o tempo di ritorno di una fissata condizione di deflusso, la durata di una fissata condizione di deflusso (ad esempio, l'intervallo di tempo per cui una data piena permane su un'area oppure il numero di giorni in cui un fissato valore di portata viene superato), il timing (momento dell'anno in cui si manifesta una fissata condizione di deflusso), la rapidità di variazione di una assegnata condizione di deflusso.

Il metodo IHA mira, quindi, a caratterizzare il regime dei deflussi mediante l'utilizzo di un insieme di grandezze idrologiche rappresentative delle cinque componenti suddette. Nella sua applicazione con riferimento al Tamaro e al Tammarecchia si è in particolare fissata l'attenzione sui deflussi di base, che costituiscono la condizione dominante in molti corsi d'acqua naturali (principalmente alimentati dalle falde e dalle loro variazioni stagionali) e rappresentano un fattore limitante per le comunità acquatiche, determinando l'estensione dell'habitat disponibile per buona parte dell'anno.

2. IL DEFLUSSO ECOLOGICO (DE) - METODOLOGIA INDIVIDUATA DALL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO MERIDIONALE

La metodologia definita dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale individua un approccio per la valutazione del Deflusso Ecologico (DE) basato sulla classificazione dei macroinvertebrati bentonici (indice STAR_ICMi), tenendo conto dello stato di qualità ambientale mediante un indice che in qualche modo può essere considerato "sostitutivo" dell'indice IBE (Indice Biotico Esteso) utilizzato in precedenza. La definizione del DE si basa in sostanza sulla caratterizzazione della risposta del parametro biologico STAR_ICMi alle variazioni del carattere lenticolotico del corso d'acqua, descritte mediante il calcolo dell'LRD (Lentic-Lotic River Descriptor) attraverso l'applicazione del metodo CARAVAGGIO. La modifica delle condizioni idrologiche (in genere più marcatamente lotiche all'aumentare della portata, o lentiche al diminuire di essa), infatti, modifica la composizione di organismi presenti, provocandone la migrazione o la scomparsa.

In generale, per la quantificazione del DE sulla base degli invertebrati bentonici si dovranno considerare i seguenti aspetti:

- qualità dell'habitat, attraverso la valutazione del carattere lenticolotico (anche sulla base di relazioni predefinite e stime di portata attesa);
- valori stimati per lo STAR_ICMi, e/o le sue metriche componenti, in periodi rappresentativi (ad. es. magra/morbida);

- quantità dell'habitat, tramite ponderazione del valore di STAR_ICMi mediante un coefficiente di riduzione dell'abbondanza degli organismi bentonici (r_A), stimato in funzione della diminuzione di habitat disponibile);
- combinazione dell'informazione di quantità e qualità dell'habitat.

In sostanza la procedura per la quantificazione del Deflusso Ecologico sulla base degli invertebrati bentonici prevede l'utilizzo di relazioni tra STAR_ICMi e LRD e tra LRD e portata. Occorre modellare lo STAR_ICMi in funzione del carattere lenco-lotico (LRD) del corpo idrico in funzione del tipo fluviale mediante osservazioni dirette effettuate in tratti fluviali non soggetti a inquinamento e/o a significative alterazioni morfologiche. La fase successiva della procedura prevede la ricostruzione, sulla base di appositi modelli (definiti per macrotipo fluviale o per tipi raggruppati) che mettano in relazione la portata (Q) con l'LRD, dei valori di LRD attesi in funzione delle variazioni di portata. Le relazioni tra STAR_ICMi e LRD e tra LRD e Q, consentono di derivare la relazione tra i valori dello STAR_ICMi e della portata Q.

La procedura descritta, quindi, consente di creare una connessione tra valori specifici della portata e stato ecologico, in funzione delle variazioni dell'habitat fluviale disponibile per le biocenosi e degli obiettivi di qualità, anche con riferimento a periodi limitati (stagioni o mesi), e può essere adattata alle condizioni meteorologiche.

Ovviamente per il passaggio dal DMV al DE sarà opportuna una fase sperimentale, al fine di mettere in relazione l'informazione biologica disponibile (STAR_ICMi) con le condizioni lenco-lotiche (ossia di carattere idrologico) osservate in ciascun corpo idrico. Ciò anche al fine di modulare efficacemente le condizioni di riferimento attese in funzione delle condizioni stagionali e meteorologiche, utilizzando il quadro informativo disponibile ed aggiornato attraverso la fase sperimentale.

2.1 MODALITÀ DI GESTIONE DELLA FASE TRANSITORIA

Il passaggio dal Deflusso Minimo Vitale al Deflusso Ecologico necessita di una fase transitoria per assicurare la necessaria coerenza tecnico-amministrativa con i regimi di regolamentazione del DMV attualmente vigenti. In questa ottica, l'Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale ha ritenuto di definire uno schema di adattamento della metodologia attualmente utilizzata a quanto previsto dalle linee guida ministeriali, nelle more del completamento delle attività sperimentali o per le future azioni pianificatorie, sulla scorta dei risultati dei programmi di monitoraggio in corso.

Tale schema di approccio all'adattamento è stato definito facendo riferimento al **metodo idrologico-ambientale utilizzato per il bacino Liri-Garigliano e Volturno**, da impostare con l'introduzione di rilasci in favore del DMV variabili, da definire in base all'andamento delle portate naturali su base mensile, laddove disponibili, o, in subordine, secondo modellazioni o utilizzo di similitudini

idrologiche. Facendo riferimento alla metodica ad oggi implementata per il territorio del bacino Liri-Garigliano e Volturno, un aggiornamento dell'approccio parametrico in uso può essere implementato nel modo seguente.

La formula iniziale per il DMV è:

$$DMV = S_{bac} \cdot R_s \cdot K \quad (1)$$

in cui:

- S_{bac} = superficie del bacino sotteso dalla sezione di riferimento [km^2]
- R_s = rilascio specifico [$\text{l}/(\text{s km}^2)$]
- K = fattore correttivo

Il rilascio specifico (R_s) - portata di rilascio proporzionale alla superficie del bacino sotteso dalla sezione di indagine - viene espresso dalla relazione:

$$R_s = \frac{Q_{media_naturale_annua}}{10 \cdot S_{bac}} \quad (2)$$

in cui $Q_{media_naturale_annua}$ è la portata naturale media annua.

Il rilascio specifico R_s è, pertanto, regionalizzabile e modulabile in funzione della superficie di bacino sottesa e tiene conto delle caratteristiche idrologiche del bacino a monte della sezione di calcolo, in termini di portata naturale media annua. La variabilità connessa al ciclo idrologico del corso d'acqua può essere rappresentata attraverso un fattore R_s variabile su base mensile, in ragione delle portate naturali stimate o misurate.

Il fattore correttivo K viene, invece, definito dalla relazione:

$$K = 1 + G + N + Q_b + A + P \quad (3)$$

in cui:

- G = fattore geomorfologico, rappresentativo della percentuale di *pool* presenti nel corso d'acqua;
- N = fattore di naturalità, determinato in base all'IFF (Indice di Funzionalità Fluviale) e al grado di antropizzazione;
- Q_b = fattore di qualità, dipendente dalla qualità (STAR_ICMi);
- A = indice dell'altitudine media del bacino sotteso;
- P = indice della piovosità media del bacino sotteso.

Il fattore geomorfologico G può essere desunto dalla tabella seguente, in funzione della percentuale di *pool* presenti nel corso d'acqua:

<i>% pool</i>	Fattore G
0-10	0.4
11-20	0.2
21-30	0.0
31-40	-0.2
>40	-0.4

Il fattore di naturalità N è caratterizzato dalla tabella seguente, in base all'IFF (Indice di Funzionalità Fluviale) e al grado di antropizzazione dell'area di riferimento:

IFF	N_a	Classe antropizzazione	N_b	Fattore N
1-2	0.2	1	0.2	max(N _a ,N _b)
2-3	0.15	2	0.15	max(N _a ,N _b)
3-4	0.1	3	0.1	max(N _a ,N _b)
4-5	0.05	4	0.05	max(N _a ,N _b)
5	0	5	0	0

Le classi di antropizzazione sono definite nel modo seguente:

Classe antropizzazione	Descrizione
1	Aree naturali di grande pregio
2	Aree naturali/seminaturali
3	Aree naturali, seminaturali con evidenti interventi antropici
4	Aree antropizzate con possibilità di rinaturalizzazione
5	Aree antropizzate fortemente compromesse

Il fattore di qualità biologica Q_b è individuato dalla tabella seguente, in funzione della qualità (parametro biologico STAR_ICMi)::

Classe STAR-ICMi	Fattore Q_b
Cattivo	0.2
Scarso	0.15
Sufficiente	0.10
Buono	0.05
Elevato	0

Gli indici dell'altitudine media A e della piovosità media P del bacino sotteso possono, invece, essere desunti dalle tabelle seguenti:

Altitudine [m s.m.m.]	Indice A
Elevata > 800 m s.m.	0.15
Media > 400 e < 800	0.1
< 400	0

Piovosità Piogge medie mensili [mm]	Indice P
< 40	0
40-100	0.10
> 100	0.15

La metodologia descritta non si discosta, quindi, sostanzialmente da quella utilizzata in precedenza, con due significative novità:

- l'adozione dell'indice STAR_ICMi in sostituzione dell'indice IBE, coerentemente con la nuova normativa per la classificazione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici;
- la valutazione di un rilascio specifico variabile su scala mensile.

Tali aggiornamenti consentono di adottare un valore di DMV/DE che tiene conto della qualità ambientale degli habitat disponibili per i macroinvertebrati bentonici, coerentemente con il conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale richiesti dalla Direttiva 2000/60/CE, e rispetta il paradigma delle portate naturali, in coerenza con le previsioni delle linee guida ministeriali.

Tanto ovviamente in attesa del completamento della fase sperimentale e del passaggio alla metodologia di definizione del DE.

3. DEFLUSSO ECOLOGICO PER IL FIUME TAMMARO E IL TORRENTE TAMMARECCHIA

3.1 FIUME TAMMARO

Preliminarmente si è proceduto alla valutazione della portata naturale media annua, $Q_{media_naturale_annua}$, facendo riferimento ai recenti aggiornamenti di carattere idrologico contenuti nella relazione “*Utilizzo idropotabile delle acque dell'invaso di Campolattaro e potenziamento dell'alimentazione potabile per l'area beneventana. Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Parere n. 3/2022 del Comitato Speciale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Elementi a supporto: relazione aggiornata*” (DICEA, agosto 2022, Resp. scientifico prof. ing. Maurizio Giugni). Nella suddetta relazione si è proceduto, ai fini della caratterizzazione di scenari di funzionamento dell'invaso di Campolattaro, ad un aggiornamento del quadro idrologico con particolare riguardo ai deflussi mensili, considerandone i valori rilevati in campo dal maggio 2006 al marzo 2022. All'uopo in Figura 5 sono riportati gli afflussi fluviali all'invaso aggregati a livello mensile per l'intero periodo di osservazione considerato, e in Figura 6 i valori medi degli afflussi mensili, caratterizzati da un minimo estivo nel mese di agosto, da valori progressivamente crescenti sino a marzo e successivamente decrescenti. Il deflusso medio annuo nel periodo di osservazione è risultato pari all'incirca a 125 Mm³.

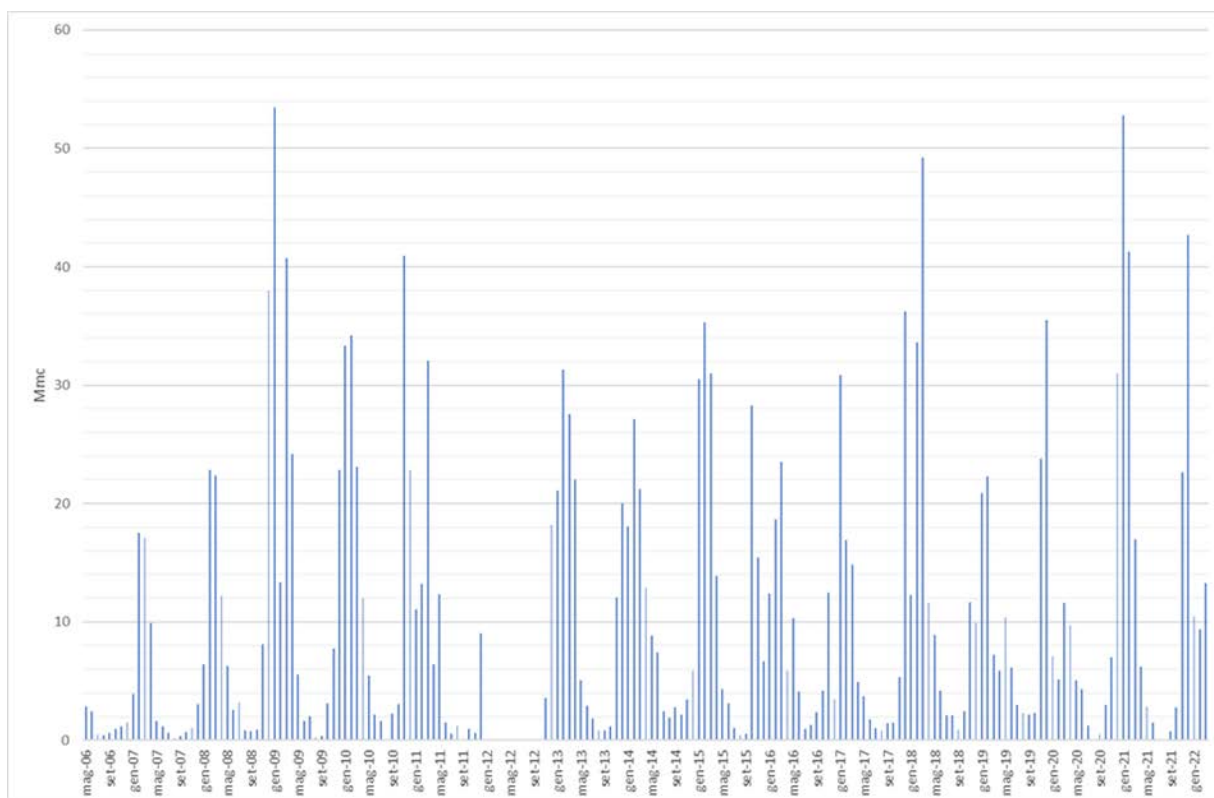


Figura 5. Afflussi mensili all'invaso di Campolattaro da maggio 2006 a marzo 2022

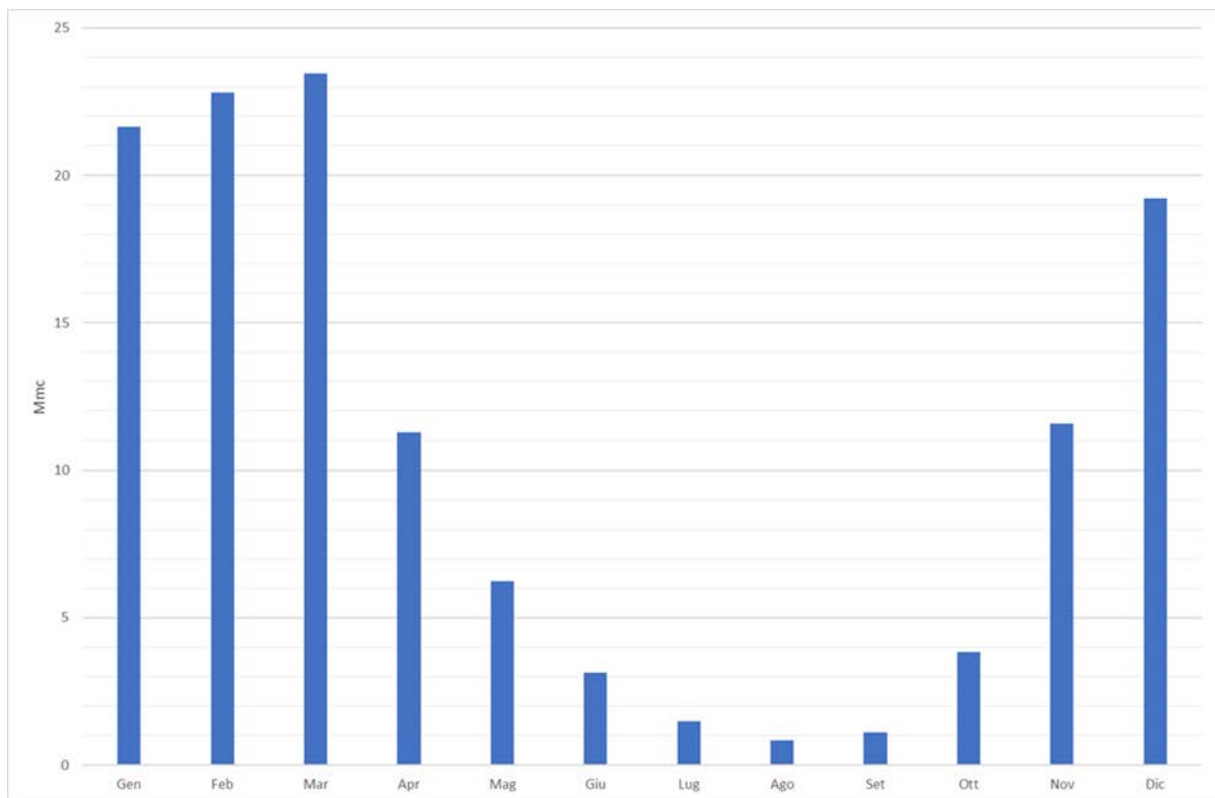


Figura 6. Afflussi mensili all'invaso di Campolattaro (media del periodo di osservazione 2006-2022)

Va, altresì, rilevato che l'analisi dei dati disponibili ha messo in evidenza una significativa variabilità dei deflussi annui, con valori compresi tra un minimo di 57 Mm^3 per il 2007 (anno caratterizzato da una gravosa siccità) e un massimo di circa 190 Mm^3 per il 2021. Va osservato, però, che nel complesso solo in tre anni il volume totale si è mantenuto sensibilmente al di sotto del valore medio di 125 Mm^3 indicato in precedenza. E' sembrato, pertanto, attendibile fare riferimento al deflusso medio annuo di 125 Mm^3 e, quindi, a un valore della portata naturale media annua, $Q_{media_naturale_annua}$, pari a circa $4.00 \text{ m}^3/\text{s}$

Essendo la superficie del bacino sotteso dalla sezione di sbarramento sul fiume Tammaro, S_{bac} , pari a 256 km^2 , dalla relazione (2) consegue che il rilascio specifico, R_s , è pari a circa $1.56 \text{ l}/(\text{s km}^2)$, e dalla (1) che il DMV, a meno del fattore correttivo K, è pari a circa $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il calcolo del fattore correttivo è stato effettuato mediante la relazione (3), sulla scorta delle seguenti considerazioni per la definizione dei valori da assegnare alle diverse componenti di K.

Fattore geomorfologico G

Per quanto concerne la percentuale di *pool* presenti nel corso d'acqua, preliminarmente si ricorda che la sequenza riffle/pool è costituita da due aree contigue che presentano caratteristiche di turbolenza, profondità, granulometria del substrato e carattere deposizionale/erosionale comparativamen-

te diverse. L'area di pool presenta minor turbolenza e substrato a granulometria più fine rispetto all'area di riffle e, generalmente, carattere in prevalenza deposizionale: nel complesso può essere considerata un'area lenticale. L'area di riffle si presenta, invece, con un carattere prevalentemente erosionale, con una minore profondità e con una turbolenza più elevata rispetto alla pool: nel complesso si può considerare come un'area lotica. Allo stato non si dispone di dati attendibili in relazione alla percentuale di *pool* presenti nel corso d'acqua, né per il Tammaro né per il Tammarecchia. Secondo un approccio prudentemente conservativo, quindi, si è ritenuto opportuno assegnare al fattore G il massimo valore, pari a 0.40, per ambedue i corsi d'acqua.

Fattore di naturalità N

Il fattore di naturalità dipende, come già precisato, dall'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) e dal grado di antropizzazione dell'area di riferimento. Per l'Indice di Funzionalità Fluviale non si dispone allo stato di elementi attendibili. Per quanto concerne, invece, il grado di antropizzazione, va osservato che l'elevato valore della valle del fiume Tammaro è testimoniato dalla presenza di numerosi habitat e specie floristiche e faunistiche di interesse comunitari, e dal contesto territoriale ed ecologico in cui essa si inserisce, caratterizzato dalla presenza di diverse aree appartenenti alla Rete Natura 2000. L'Alto Tammaro è costituito da tre Siti di Interesse Comunitario (SIC): l'Alta Valle del fiume Tammaro, il Bosco di Castelpagano e il torrente Tammarecchia. Nel suo territorio rientra, inoltre, l'Oasi WWF del Lago di Campolattaro, con una superficie di circa mille ettari all'interno di una Zona Speciale di Conservazione (ZSC - IT8020001) nei Comuni di Campolattaro e Morcone (BN); essa è altresì una Zona di Protezione Speciale (ZPS IT8020015). Si è ritenuto, pertanto, di assegnare al territorio la classe di antropizzazione 1 ("*Aree naturali di grande pregio*") e, di conseguenza, un valore pari a 0.20 per il fattore di naturalità N.

Fattore di qualità Q_b

Il fattore di qualità Q_b è funzione dell'indice biologico STAR_ICMi, per il quale non si dispone allo stato di dati. È stato, però, possibile desumere quanto segue dalle indagini effettuate dall'ARPAC: nell'ambito delle attività di monitoraggio dei fiumi della Campania ai sensi del D.Lgs. 152/2006 è stata definita una rete di monitoraggio costituita inizialmente nel 2001 da n. 84 siti di monitoraggio, successivamente estesa sino a n. 155 siti nel ciclo 2015/2017, ubicati in chiusura dei principali bacini e sottobacini idrografici regionali, lungo le aste di circa 90 tra fiumi, torrenti e canali, selezionati per significatività e rappresentatività alla scala regionale, nonché per la presenza di consistenti impatti antropici o elementi di particolare pregio naturalistico (Tabella 1, riprodotta in parte, e Figura 7). Nel corso dell'anno 2022 è stata completata la classificazione dei corpi idrici superficiali regionali come previsto dal Testo Unico D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. mediante l'elaborazione dei dati derivanti dal piano di monitoraggio applicato alle reti predisposte in fase di pianificazione. I dati uti-

lizzati provengono dalle attività di campionamento condotte nell'anno 2021 e si inseriscono nell'ambito temporale 2021/2026 previsto dal Piano di Gestione III Ciclo del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale, che rappresenta il documento di pianificazione istituzionale di riferimento.

N.	TIPOLOGIA	SUBUNITA' GEOGRAFICA	BACINO IDROGRAFICO	FIUME	SITO RAPPRESENTATIVO	CODICE SITO DI MONITORAGGIO	COMUNE	PROVINCIA	ANALISI RISCHIO	REGIME DEL MONITORAGGIO
1	14Ss1	Piana Campana	SAVONE	SAVONE	X	Sv1	Teano	CE	NM	Sorveglianza
2	14In7	Medio Volturno	VOLTURNO	DEL CATTIVO TEMPO	X	CT1	Presenzano	CE	P	Sorveglianza
3	18Sr6	Cilento	SELE	SAMMARO	X	Sm	Sacco	SA	P	Sorveglianza
4	18Sr6	Dx Sele	TUSCIANO	TUSCIANO	X	Tu1	Acerno	SA	P	Sorveglianza
5	18Sr6	Sele	SELE	SELE	X	Sl1bis	Calabritto	AV	P	Sorveglianza
6	18Ss1	Calore Irpino	VOLTURNO	CALORE VOLTURNO	X	C1	Montella	AV	NM	Sorveglianza
7	18Ss1	Calore Irpino	VOLTURNO	TAMMARO	X	Ta1	Morcone	BN	P	Sorveglianza
8	18Ss1	Adriatico	CERVARO	CERVARO	X	Ce1	Anano irpino	AV	R	Operativo
9	18Ss1	Adriatico	OFANTO	ORATO	X	Or1	Bisaccia	AV	NM	Sorveglianza
10	18Ss1	Adriatico	OFANTO	OFANTO	X	O1bis	Lioni	AV	P	Sorveglianza
11	18Ss1	Calore Irpino	VOLTURNO	TAMMARECCHIA	X	Tm1	Castelpagano	BN	P	Sorveglianza
12	18Ss1	Sele	SELE	TEMETE	X	Tem1	Calabritto	AV	P	Sorveglianza
13	18Ss1	Sele	SELE	RIO ZAGARONE	X	RZ1	Calabritto	AV	NM	Sorveglianza
14	18Ss1	Basso Volturno	VOLTURNO	ISCLERO	X	I2bis	Airola	BN	P	Sorveglianza
15	18Ss1	Calore Irpino	VOLTURNO	FREDANE	X	Fr1	Sant'angelo del Lomb.	AV	P	Sorveglianza

Tabella 1. Rete di monitoraggio dei corpi idrici superficiali della Campania (2015/2017) (riprodotta in parte)

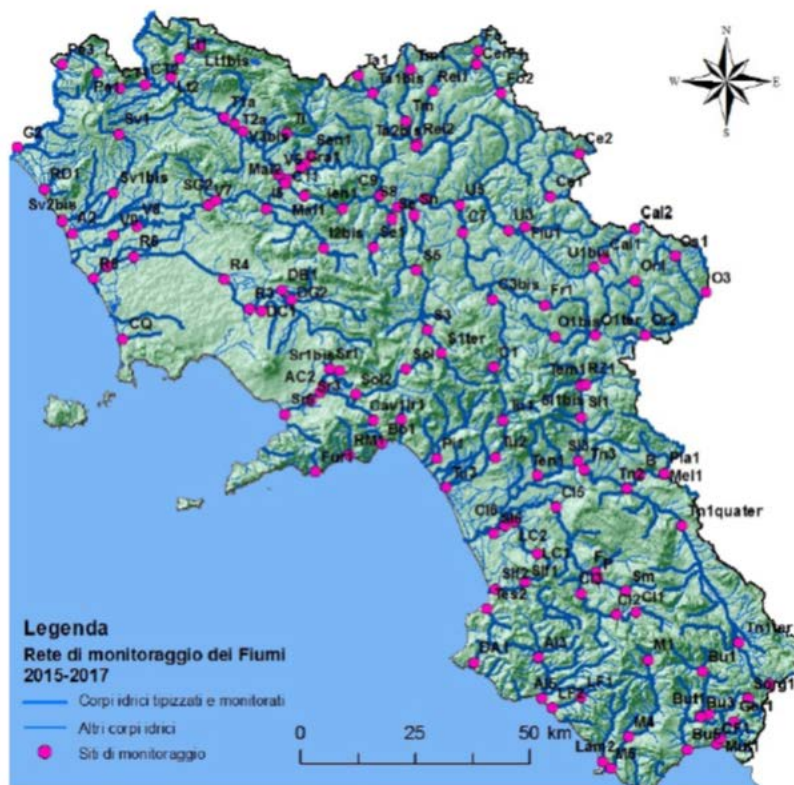


Figura 7. Rete di monitoraggio dei fiumi della Campania (2015-2017)

Per i tratti fluviali di interesse (Tammaro e Tammarecchia) è stato condotto il monitoraggio della matrice Acqua, ricercando le sostanze previste dalle tabelle 1A e 1B del D.Lgs. 172/2015 e i nutrienti elencati dalla tabella 4.1.2/a del DM 260/2010, e della matrice Biota, mediante il monitoraggio biologico degli Elementi di Qualità Macroinvertebrati bentonici, Diatomee bentoniche e Macrofite.

Gli esiti del monitoraggio hanno consentito di valutare lo stato di inquinamento da nutrienti (indice LIMEco) e di elaborare la classificazione dello Stato Ecologico e dello Stato Chimico dei corpi idrici fluviali restituendo, per l'anno 2021, le rappresentazioni grafiche riportate in Figura 8 (Stato ecologico), 9 (Stato chimico) e 10 (Inquinamento da nutrienti dei corpi idrici fluviali, indice LIMECO).

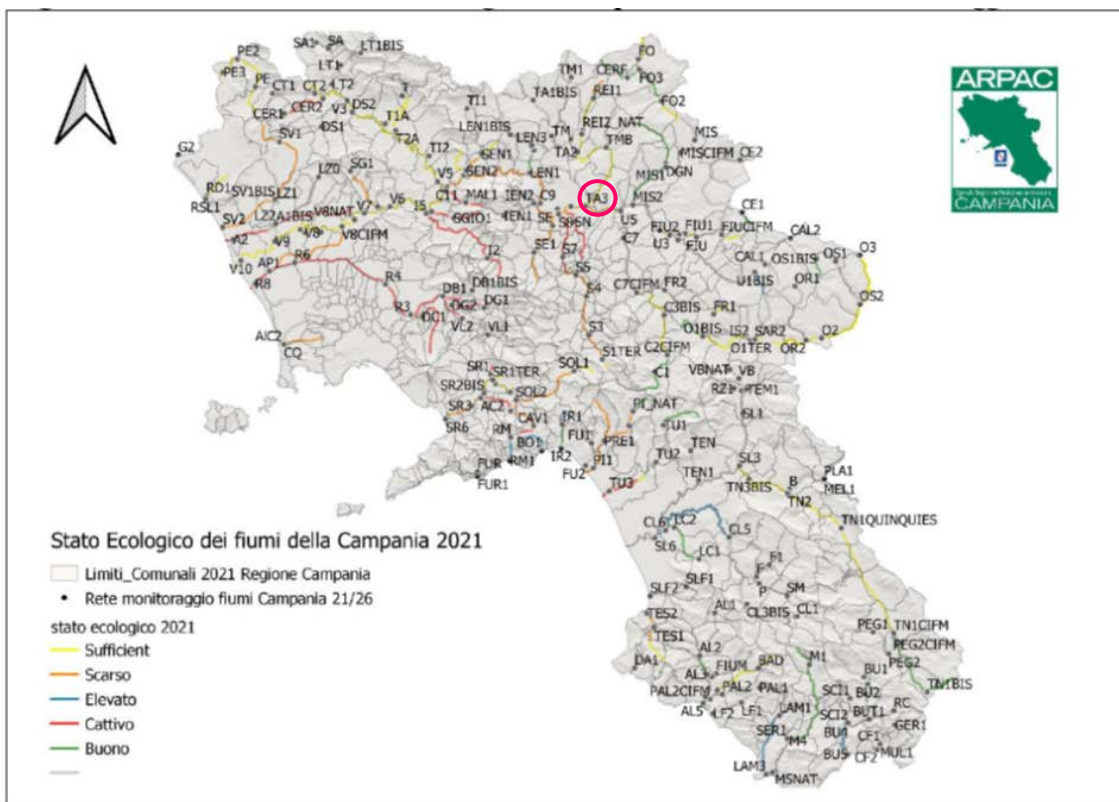


Figura 8. Classificazione dello Stato ecologico dei corpi idrici fluviali (dati monitoraggio 2021)

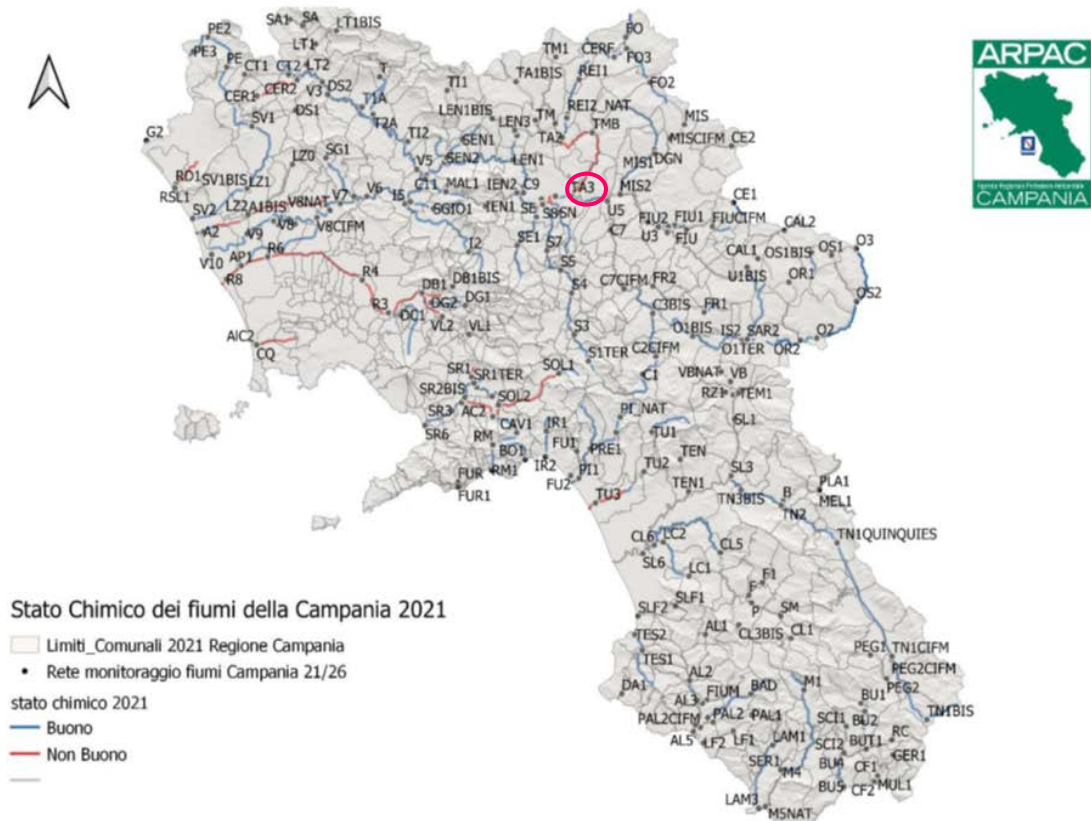


Figura 9. Classificazione dello Stato chimico dei corpi idrici fluviali (dati monitoraggio 2021)

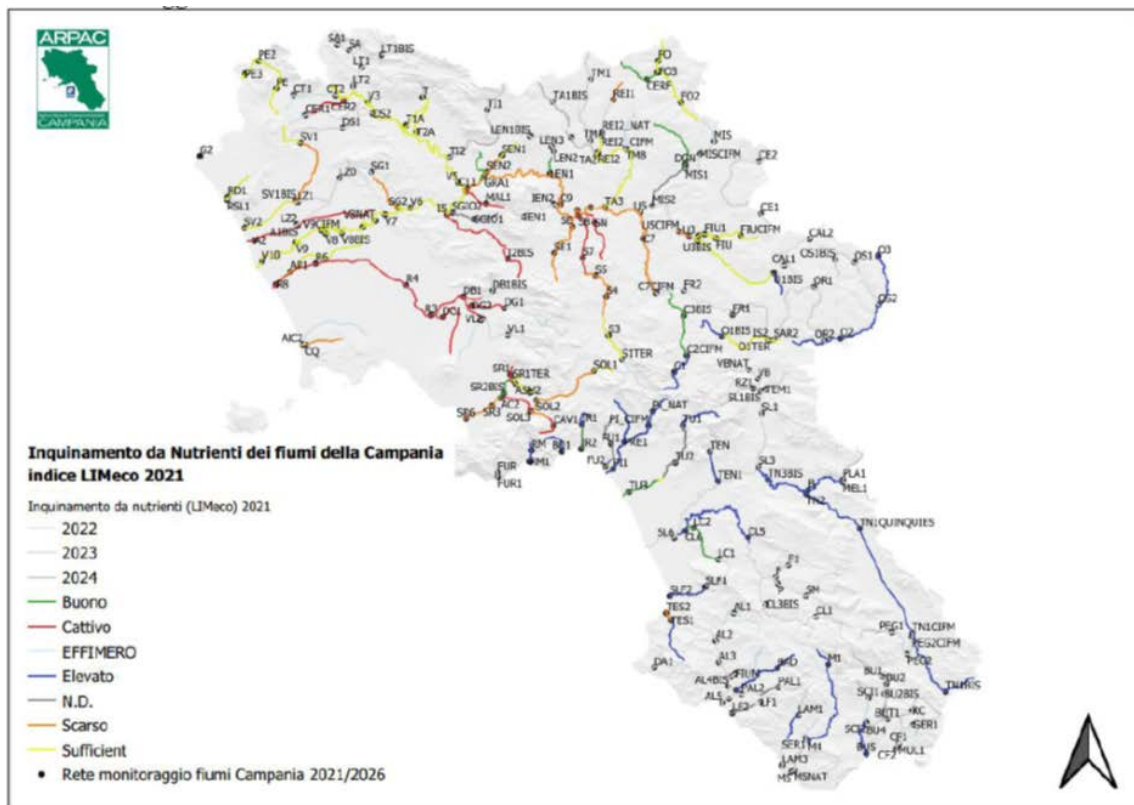


Figura 10. Classificazione dell'inquinamento da nutrienti dei corpi idrici fluviali - Indice LIMECO (dati monitoraggio 2021)

Dalla classificazione dei fiumi 2021 possono desumersi i seguenti dati:

- Bacino: Volturno
- Corpo idrico: Tammaro (stazione Ta3)
- Classe LIMeco: sufficiente
- Stato ecologico 2021: sufficiente
- Stato chimico 2021: non buono
- Parametri critici oltre soglia SQA 2021: piombo

Dai dati citati, quindi, è stato desunto un valore del fattore di qualità Q_b pari a 0.10, da verificare ovviamente in futuro sulla scorta della disponibilità di dati riferiti all'indice STAR_ICMi.

Indice dell'altitudine media del bacino sotteso A

Il valore dell'indice A è funzione dell'altitudine media del sottobacino, che nel caso in esame risulta pari a 678 m s.l.m.. Ne consegue pertanto che il valore di A è pari a 0.10.

Indice della piovosità media del bacino sotteso P

Dall'analisi della carta delle isoiete per il bacino idrografico del fiume Tammaro sotteso dalla diga di Campolattaro (Figura 11), si evince che le precipitazioni medie annue nel bacino risultano di poco inferiori a 1200 mm/anno, per cui l'indice P risulta pari a 0.15. Da sottolineare che il valore dell'indice suddetto non subirebbe modifiche anche tenendo conto dell'impatto sulle precipitazioni del cambiamento climatico.

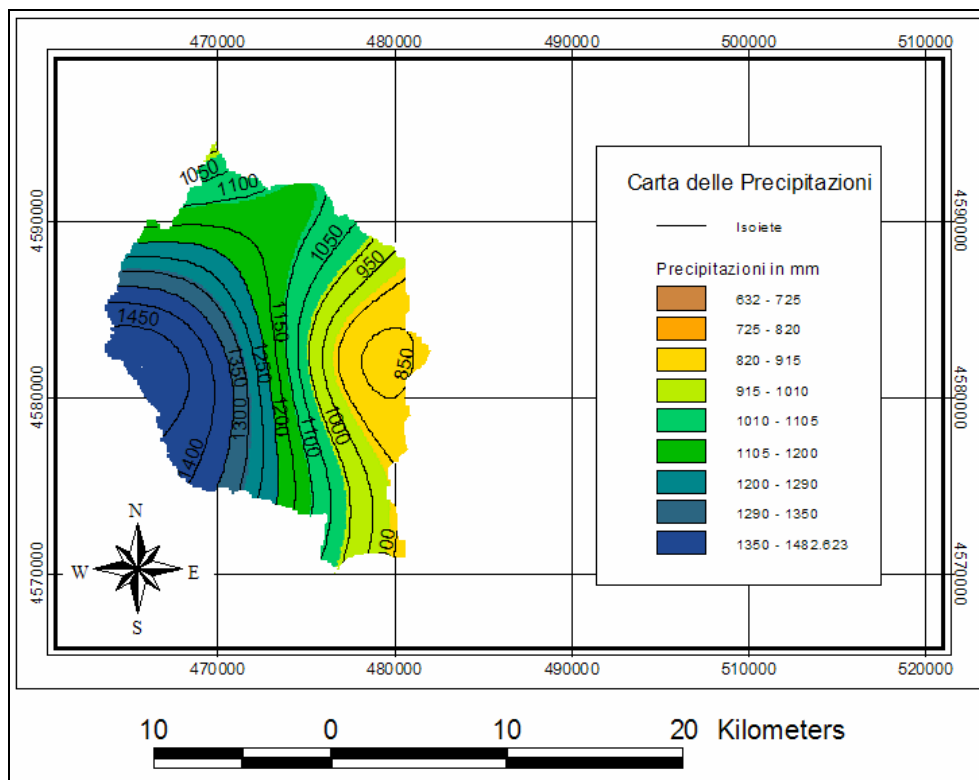


Figura 11. Mappa delle isoiete del bacino idrografico del fiume Tammaro sotteso dalla diga di Campolattaro

Dalle analisi effettuate, quindi, risulta che il coefficiente correttivo K è pari a 1.95:

$$K = 1 + G + N + Q_b + A + P = 1 + 0.40 + 0.20 + 0.10 + 0.10 + 0.15 = 1.95$$

Può, quindi, procedersi al calcolo del **Deflusso Minimo Vitale**, che dalla (1) **risulta per il fiume Tammaro per il bacino sotteso dalla diga di Campolattaro pari a 0.78 m³/s, corrispondente ad un volume annuo complessivo di 24.6 Mm³/anno.**

Il dato ottenuto per il rilascio specifico R_s - e, quindi, per il DMV - va però “adattato” su base mensile, in ragione delle portate naturali stimate o misurate, in modo da rappresentare la variabilità connessa al ciclo idrologico del corso d'acqua. Ovviamente per il passaggio dal Deflusso Minimo Vitale al Deflusso Ecologico sarà opportuna una fase sperimentale, per mettere in relazione l'informazione biologica (STAR_ICMi) con le condizioni lentico-lotiche (ossia di carattere idrologico) osservate per il corpo idrico.

Per la scalatura a base mensile del rilascio specifico e del DMV per il bacino idrografico del fiume Tammaro sotteso dalla diga di Campolattaro, si è fatto, quindi, riferimento ai valori medi degli afflussi fluviali all'invaso a livello mensile per l'intero periodo di osservazione considerato, caratterizzati da un minimo estivo nel mese di agosto, da valori progressivamente crescenti sino a marzo e successivamente decrescenti.

I valori utilizzati per la scalatura mensile del Deflusso Minimo Vitale, ottenuti rapportando i valori del deflusso medio mensile al deflusso medio annuo (pari, come già precisato, a 125 Mm³), sono stati riportati in Figura 12.

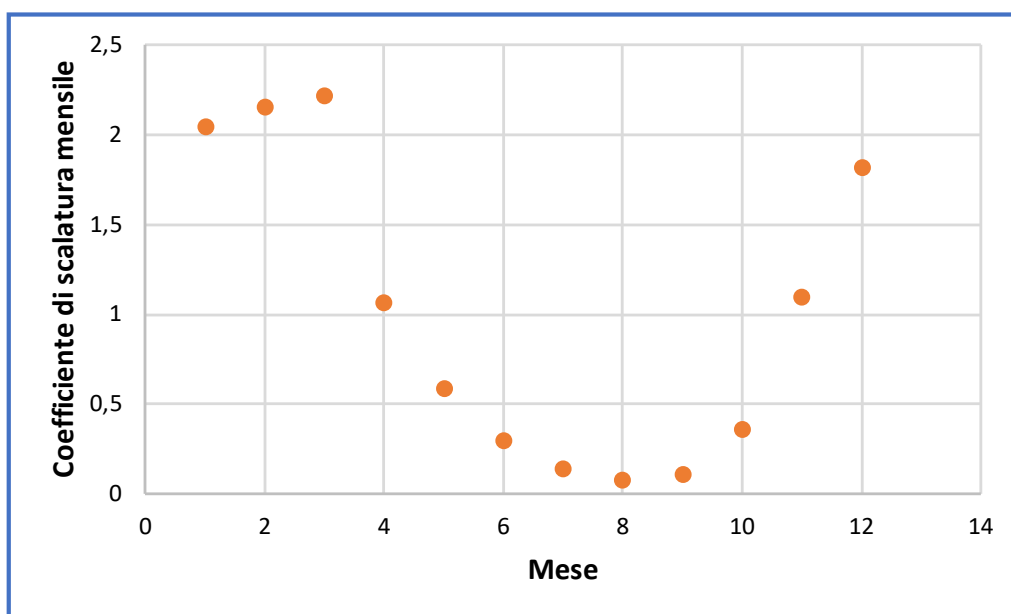


Figura 12. Coefficienti di scalatura mensile del Deflusso Minimo Vitale del fiume Tammaro a Campolattaro

In maggior dettaglio, in Tabella 2 sono stati riportati, in corrispondenza di ciascun mese dell'anno, i valori:

- del coefficiente di scalatura mensile;
- del Deflusso Minimo Vitale a scala mensile, Q (in m³/s);
- del volume idrico corrispondente da rilasciare a valle dello sbarramento (in m³).

Mese	Coefficiente di scalatura mensile	Q (m ³ /s)	Volume (m ³)
Gennaio	2,05	1,60	4.282.762
Febbraio	2,16	1,68	4.075.868
Marzo	2,22	1,73	4.637.917
Aprile	1,07	0,83	2.163.283
Maggio	0,59	0,46	1.232.600
Giugno	0,30	0,23	606.528
Luglio	0,14	0,11	292.481
Agosto	0,08	0,06	167.132
Settembre	0,11	0,09	222.394
Ottobre	0,36	0,28	752.095
Novembre	1,10	0,86	2.223.936
Dicembre	1,82	1,42	3.802.257

Tabella 2. Deflusso Minimo Vitale a scala mensile del fiume Tammaro a Campolattaro

In Figura 13 è stato altresì riportato graficamente l'andamento del Deflusso Minimo Vitale mensile per il fiume Tammaro a Campolattaro.

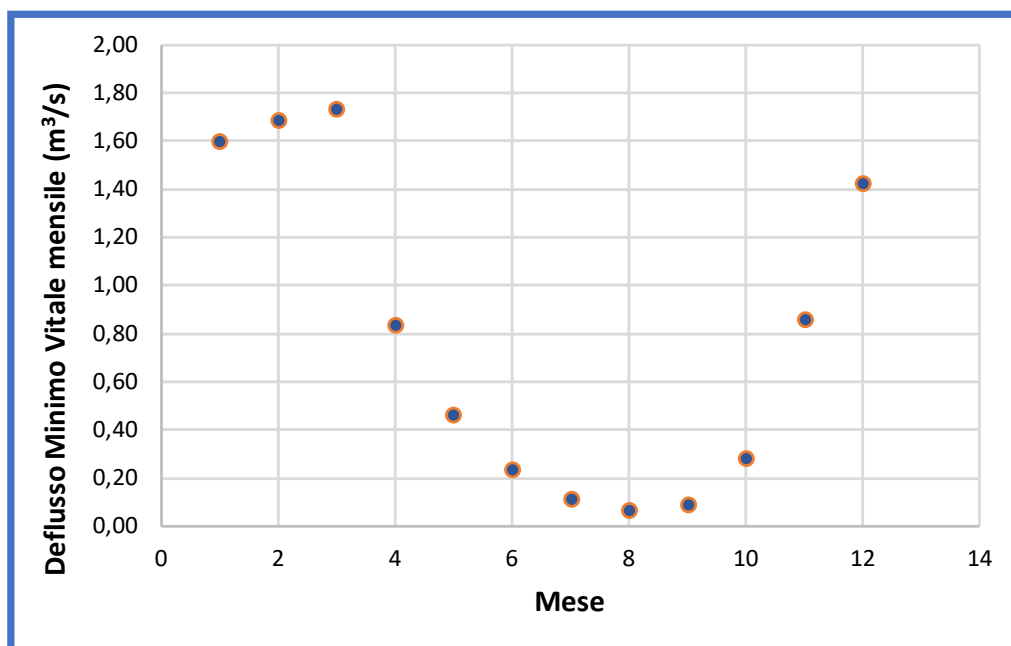


Figura 13. Deflusso Minimo Vitale a scala mensile del fiume Tammaro a Campolattaro

3.2 TORRENTE TAMMARECCHIA

Anche per il torrente Tammarecchia si è preliminarmente proceduto alla valutazione della portata naturale media annua, $Q_{media_naturale_annua}$, facendo riferimento ai recenti aggiornamenti di carattere idrologico contenuti nella relazione “*Utilizzo idropotabile delle acque dell’invaso di Campolattaro e potenziamento dell’alimentazione potabile per l’area beneventana. Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Parere n. 3/2022 del Comitato Speciale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Elementi a supporto: relazione aggiornata*” (DICEA, agosto 2022, Resp. scientifico prof. ing. Maurizio Giugni). Si è, pertanto, considerato attendibile un valore del deflusso medio annuo di circa 36 Mm^3 e, quindi, un valore della portata naturale media annua, $Q_{media_naturale_annua}$, pari a circa $1.15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Essendo la superficie del bacino sotteso dalla sezione di sbarramento sul torrente Tammarecchia (traversa di Selvapiana), S_{bac} , pari a 95 km^2 , dalla relazione (2) consegue che il rilascio specifico, R_s , è pari a circa $1.20 \text{ l}/(\text{s km}^2)$, e dalla (1) che il DMV, a meno del fattore correttivo K, è pari a circa $0.115 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il calcolo del fattore correttivo K è stato effettuato assumendo, in mancanza di dati specifici per il corso d’acqua, per il fattore geomorfologico G, il fattore di naturalità N e il fattore di qualità Q_b i medesimi valori assunti per il fiume Tammaro, pari rispettivamente a 0.40, 0.20 e 0.10. Per l’indice dell’altitudine media del bacino sotteso A, essendo l’altitudine media del bacino sotteso dalla traversa di Selvapiana pari a 700 m s.l.m., è stato assunto un valore pari a 0.10. Dall’analisi della carta delle isoiete per il bacino idrografico del torrente Tammarecchia (Figura 14), si evince che le precipitazioni medie annue nel bacino risultano dell’ordine di 900 mm/anno, per cui l’indice P risulta pari a 0.15.

Dalle analisi effettuate, quindi, risulta che anche in questo caso il valore del coefficiente correttivo K desunto dalla (3) è pari a 1.95. Può, quindi, procedersi al calcolo del **Deflusso Minimo Vitale**, che dalla (1) **risulta per il torrente Tammarecchia per il bacino sotteso dalla traversa di Selvapiana pari a $0.225 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondente ad un annuo volume complessivo di $7.08 \text{ Mm}^3/\text{anno}$.**

Anche in questo caso si è proceduto alla scalatura mensile del rilascio specifico R_s e, quindi, del Deflusso Minimo Vitale. In mancanza di dati specifici per il bacino del torrente Tammarecchia, si è fatto riferimento ai coefficienti di scalatura mensile valutati per il fiume Tammaro a Campolattaro e riportati in Tabella 3. In maggior dettaglio, in Tabella 3 sono stati riportati, in corrispondenza di ciascun mese dell’anno, i valori:

- del coefficiente di scalatura mensile;
- del Deflusso Minimo Vitale a scala mensile, Q (in m^3/s);

- del volume idrico corrispondente da rilasciare a valle della traversa (in m³);
desunti per il bacino idrografico del torrente Tammarecchia a Selvapiana.

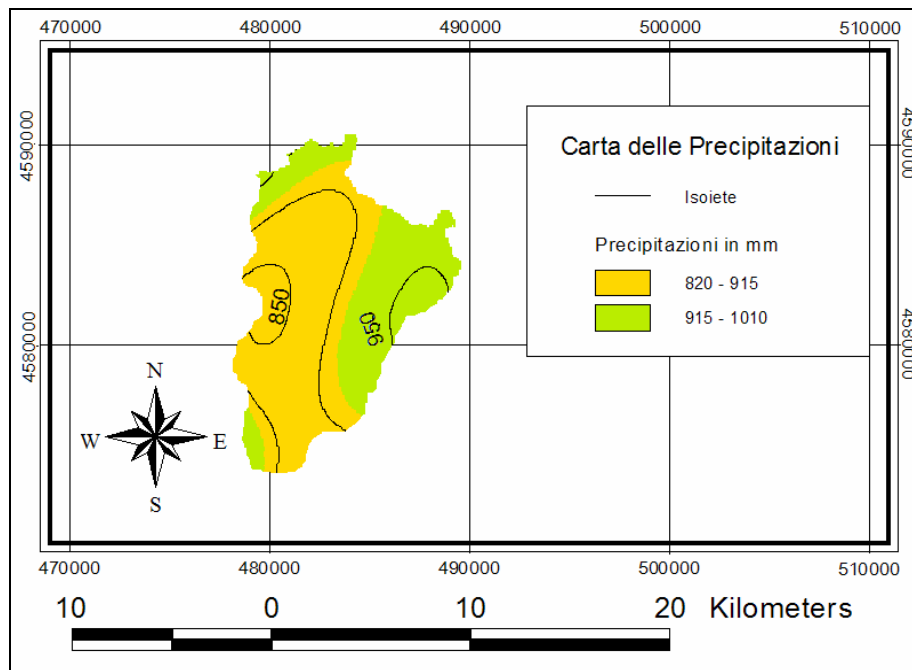


Figura 14. Mappa delle isoiete del bacino idrografico del torrente Tammarecchia a Selvapiana

Mese	Coefficiente di scalatura mensile	Q (m ³ /s)	Volume (m ³)
Gennaio	2,05	0,46	1.235.412
Febbraio	2,16	0,49	1.175.731
Marzo	2,22	0,50	1.337.861
Aprile	1,07	0,24	624.024
Maggio	0,59	0,13	355.558
Giugno	0,30	0,07	174.960
Luglio	0,14	0,03	84.370
Agosto	0,08	0,02	48.211
Settembre	0,11	0,02	64.152
Ottobre	0,36	0,08	216.950
Novembre	1,10	0,25	641.520
Dicembre	1,82	0,41	1.096.805

Tabella 3. Deflusso Minimo Vitale a scala mensile del torrente Tammarecchia a Selvapiana

In Figura 15 è stato altresì riportato graficamente l'andamento del Deflusso Minimo Vitale mensile per il torrente Tammarecchia a Selvapiana.

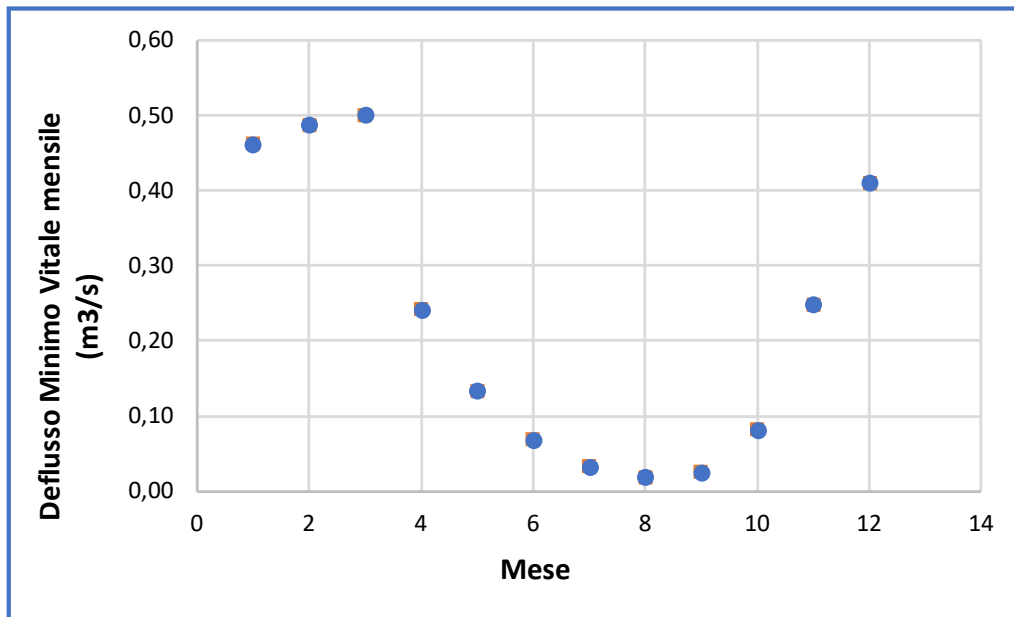


Figura 15. Deflusso Minimo Vitale a scala mensile del torrente Tammarecchia a Selvapiana

4. CONCLUSIONI

Le indagini presentate in precedenza sono state sviluppate sulla base dell'evoluzione del quadro normativo concernente il Deflusso Minimo Vitale e il Deflusso Ecologico, con particolare riguardo alle indicazioni dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale e alla metodologia da essa suggerita per la fase transitoria per il passaggio dal Deflusso Minimo Vitale (DMV) al Deflusso Ecologico (DE), al fine di assicurare la necessaria coerenza tecnico-amministrativa con i regimi di regolamentazione del DMV attualmente vigenti. La suddetta metodologia è riferita al metodo idrologico-ambientale già utilizzato per il bacino Liri-Garigliano e Volturno, con l'introduzione di un rilascio specifico variabile, da definire in base all'andamento delle portate naturali mensili, se disponibili, o secondo un approccio idrologico. Pur non discostandosi sostanzialmente dalla metodologia utilizzata in precedenza, essa presenta però due significative novità: da un lato l'adozione dell'indice STAR_ICMi in sostituzione dell'indice IBE, coerentemente con la nuova normativa per la classificazione dello stato di qualità ambientale dei corpi idrici, dall'altro la valutazione di un rilascio specifico variabile a scala mensile. I suddetti aggiornamenti - in attesa del completamento della necessaria fase sperimentale e del passaggio finale alla metodologia di definizione del Deflusso Ecologico - consentono di individuare un valore del Deflusso Minimo Vitale che tiene conto sia della qualità ambientale per i macroinvertebrati bentonici (coerentemente con gli obiettivi di qualità ambientale richiesti dalla Direttiva 2000/60/CE) che dell'andamento delle portate naturali.

La suddetta metodologia è stata applicata per il bacino del fiume Tamaro a Campolattaro e del torrente Tammarecchia a Selvapiana, tenendo conto dell'aggiornamento del quadro idrologico, con particolare riguardo ai deflussi mensili rilevati in campo dal maggio 2006 al marzo 2022, effettuato recentemente nell'ambito delle attività di cui alla relazione *“Utilizzo idropotabile delle acque dell'invaso di Campolattaro e potenziamento dell'alimentazione potabile per l'area beneventana. Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica. Parere n. 3/2022 del Comitato Speciale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Elementi a supporto: relazione aggiornata”* (DICEA, agosto 2022, Responsabile scientifico prof. ing. Maurizio Giugni).

Sulla base delle attività svolte, descritte in dettaglio in precedenza, è stato possibile determinare un valore annuo complessivo del Deflusso Minimo Vitale pari a:

- 24.6 Mm³ per il bacino del fiume Tamaro a Campolattaro;
- 7.08 Mm³ per il bacino del torrente Tammarecchia a Selvapiana.

Va rilevato che i suddetti volumi annui complessivi individuati per il DMV risultano pari all'incirca al 20% del deflusso medio annuo desunto, sulla scorta dei deflussi mensili rilevati in campo nel periodo maggio 2006÷marzo 2022, per i bacini del Tamaro e del Tammarecchia, pari rispettivamente a circa 125 Mm³ e 36 Mm³.

Si è, proceduto, infine, alla valutazione per i bacini considerati - con riferimento ai valori medi degli afflussi fluviali mensili rilevati per l'intero periodo di osservazione - del rilascio specifico a scala mensile, ottenendo gli andamenti riportati in precedenza per via sia numerica che grafica, e caratterizzati da un minimo estivo nel mese di agosto, da valori progressivamente crescenti sino a marzo e successivamente decrescenti.

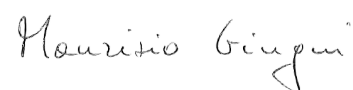
Sembra interessante in conclusione osservare che sia il valore annuo complessivo che l'andamento a scala mensile del Deflusso Minimo Vitale, ottenuti nell'ambito del presente studio per il bacino del fiume Tamaro a Campolattaro e del torrente Tammarecchia a Selvapiana, non presentano differenze di grande rilievo rispetto ai corrispondenti valori dello studio precedente, datato 2008 e basato su dati idrologici e approcci differenti (un approccio classico “regionale”, un approccio di tipo ambientale, un approccio di tipo idrologico).

Il Direttore del Dipartimento

Prof. Ing. Francesco Pirozzi

Il Responsabile scientifico

Prof. Ing. Maurizio Giugni



RICHIAMI BIBLIOGRAFICI

Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno, “*Definizione del Deflusso Minimo Vitale (DMV)*”, Preliminare di Piano Stralcio per il governo della risorsa idrica superficiale e sotterranea, p. 102-108

Autorità di Bacino Pilota del Fiume Serchio, “*Criteri per la definizione del Deflusso Minimo Vitale nel Bacino del Fiume Serchio (Legge 183/89, D.Lgs. 275/93, Legge 36/94, D.Lgs. 152/99)*”, Delibera del Comitato Istituzionale n.121 del 1 agosto 2002

Distretto Idrografico Appennino Meridionale - Piano di gestione delle acque II Ciclo (2015-2021), “*Direttiva per la determinazione dei Deflussi Ecologici a sostegno del mantenimento/raggiungimento degli obiettivi ambientali fissati dal Piano di Gestione del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale*”, dicembre 2017

Meyer J. L., Gibson C. A., Poff N. L., Georgakakos A. P., Hay L. E., “*Indicators of hydrologic alterations in response to a changing climate*”, Communication at the NABS Annual meeting, Keystone, 27 May-2 June 2000

Nasello C., “*Un'indagine di pieno campo utile per il calcolo del Deflusso Minimo Vitale*”, L'Acqua n. 5, 2000

Nasello C., “*Qualità ambientale e deflusso minimo in un corso d'acqua siciliano*”, L'Acqua, n. 4, 2003

Poff, N.L., J.D. Allan, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg., 1997. “*The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration*”. BioScience 47: 769-784

Shiau J.T., Wu F.C., “*Assessment of hydrologic alterations caused by Chi-Chi diversion weir in Chou-Shui Creek, Taiwan*”, River Research and Applications, Vol. 20, No. 4, July 2004, pp. 401-412

Taylor V., Schulze R., Jewitt G., “*Application of the Indicators of Hydrological Alteration method to the Mokomazi River, Kwa Zulu-Natal, South Africa*”, African Journal of Aquatic Science, Vol. 28, No. 1, 2003, pp. 1-11