



Monografia / 16

Modello di qualità fluviale del bacino del fiume Tevere in Umbria



Redazione

Ing. Giacomo Rapi
Ing. Alessandra Cingolani

Contributi**Validazione**

Dott. Angiolo Martinelli

Verifica

Dott. Giancarlo Marchetti

Versione:
Aprile 2007

1 INTRODUZIONE	2
1.1 Sintesi del rapporto	2
2 IL MODELLO DI QUALITA' QUAL2E.....	3
2.1 Premessa 3	
2.2 Equazioni di base	5
2.2.1 Bilancio idrologico.....	7
2.2.2 Bilancio termico	7
2.2.3 Bilancio di massa.....	7
2.2.3.1 Il ciclo dell'ossigeno	8
2.2.3.2 Il ciclo dell'azoto	9
2.2.3.3 Il ciclo del fosforo	10
2.2.3.4 Coliformi	10
2.2.3.5 Variabili conservative	11
3 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI QUALITA' QUALWIN AL BACINO DEL TEVERE IN UMBRIA.....	11
3.1 Dati di base	11
3.2 Fase preliminare	11
3.3 Taratura del modello	13
3.4 Il modello di qualità del fiume Tevere	14
3.4.1 Schematizzazione su base annua.....	14
3.4.2 Taratura dei costituenti di qualità	17
3.5 Il modello di qualità del fiume Chiascio	27
3.5.1 Schematizzazione su base annua.....	27
3.5.2 Taratura dei costituenti di qualità	29
3.6 Il modello di qualità del fiume Topino	39
3.6.1 Schematizzazione su base annua.....	39
3.6.2 Taratura dei costituenti di qualità	41
3.7 Il modello di qualità del sistema Marroggia-Teverone-Timia	51
3.7.1 Schematizzazione su base annua.....	51
3.7.2 Taratura dei costituenti di qualità	53
4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI	64
5 APPLICAZIONE DEL MODELLO D'ASTA NEL PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLA REGIONE UMBRIA.....	68
5.1 Il modello di qualità e la generazione degli scenari del Piano di Tutela delle Acque	68
5.2 La simulazione lungo l'asta del Tevere	76
5.3 La simulazione lungo l'asta del Chiascio	85
5.4 La simulazione lungo l'asta del Topino	92
5.5 La simulazione lungo l'asta del sistema Marroggia-Teverone-Timia	99
6 CONCLUSIONI	107

1 INTRODUZIONE

1.1 Sintesi del rapporto

Lo studio del sistema "Tevere", nato dall'esigenza di quantificare con la migliore precisione possibile i carichi inquinanti veicolati dal Tevere stesso e dai suoi tributari, è articolato nelle seguenti fasi:

- Schematizzazione del sistema fluviale oggetto di studio;
- Studio del regime idraulico dei corsi d'acqua;
- Raccolta ed elaborazione dei dati di monitoraggio sulla qualità dei corpi idrici indagati;
- Sviluppo di un modello matematico per descrivere l'andamento dei principali parametri di qualità lungo l'asta;
- Utilizzo del modello per valutare possibili interventi o scenari di riduzione delle pressioni antropiche.

Ai fini dello studio è stato impiegato il modello QUAL2E della U.S. E.P.A., che opera unicamente su sistemi monodimensionali, ben miscelati, ed è in grado di simulare l'intero reticolo idrografico di un bacino.

L'area di studio corrisponde alla parte del bacino del Fiume Tevere, con chiusura a monte dell'invaso di Corbara, ricadente in territorio umbro.

All'interno di tale bacino idrografico, le elaborazioni hanno riguardato le seguenti aste:

- Fiume Tevere dall'invaso di Montedoglio fino a monte dell'invaso di Corbara (stazione di monitoraggio qualitativo in discreto TVR7 in località Pontecuti), per un totale di circa 160 Km di asta simulata;
- Fiume Chiascio dall'invaso di Valfabbrica alla confluenza con il Fiume Tevere a Pontenuovo, per un totale di circa 40 Km di asta simulata;
- Fiume Topino da Nocera Umbra alla confluenza con il Fiume Chiascio per un totale di circa 45 Km di asta simulata;
- Sistema Marroggia – Teverone – Timia dall'idrometro di Azzano alla confluenza con il fiume Topino per un totale di circa 30 Km di asta simulata.

Allo stato attuale gli invasi compresi lungo l'asta del Tevere (Corbara ed Alviano) non sono stati simulati nel modello fluviale, in attesa di predisporre uno studio modellistico ad essi dedicato che possa fornire esaurienti risposte, oltre che sui processi di autodepurazione degli invasi stessi, sul ruolo che essi rivestono per la rimozione degli inquinanti nelle aste fluviali di valle.

Lo studio ha comportato una complessa fase preliminare di individuazione dei dati di input necessari alla costruzione del modello. Tali dati comprendono sia informazioni di carattere idraulico (definizione della morfologia d'asta, caratteristiche idrauliche, etc.) sia aspetti legati alle pressioni che insistono sul corpo idrico (ingressi puntuali e diffusi, coefficienti delle varie cinetiche, etc.).

I dati di base presi in considerazione per la fase di taratura del modello sono a scala mensile: sono state cioè generate, per ciascuna asta simulata, 12 serie complete, ciascuna riferita ad un mese medio rappresentativo del periodo 2000-2004.

L'applicazione principale del modello, in riferimento agli obiettivi e agli orizzonti temporali del Piano di tutela delle acque, è quella di valutare a priori l'efficacia delle misure proposte, in termini di carichi inquinanti transitanti (e di concentrazioni) lungo le maggiori aste regionali.

I risultati della simulazione svolta lungo le aste sopra citate sono espressi attraverso il LIM (Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori) calcolato presso le stazioni di qualità di riferimento.

L'analisi dei risultati sul Tevere evidenzia un LIM al 2015 compatibile con l'obiettivo di stato ambientale buono presso tutte le stazioni di qualità fino a Ponte Felcino. Nelle stazioni di Pontenuovo e Pontecuti, invece, il LIM a scenario risulta compatibile con lo stato ambientale sufficiente. Per quanto riguarda la prima stazione, considerati i risultati della simulazione condotta sul fiume Chiascio, che evidenziano il raggiungimento dell'obiettivo di qualità alla stazione di valle, il non raggiungimento dell'obiettivo sembra poter essere ricondotto alle consistenti pressioni antropiche agenti nel tratto compreso tra le stazioni di Ponte Felcino e Pontenuovo.

L'ulteriore peggioramento del LIM evidenziato dalla simulazione alla stazione di Pontecuti deriva, infine, oltre che dagli effetti dell'inquinamento a monte, anche dall'input di carico inquinante proveniente dal Nestore, che veicola, tra gli altri, gran parte del carico inquinante generato dal capoluogo umbro.

Per quanto riguarda i fiumi Chiascio e Topino, il modello evidenzia che l'applicazione delle misure di Piano determina il raggiungimento del LIM 2, compatibile con l'obiettivo di qualità ambientale, lungo tutto il corso di entrambe le aste, ed in particolare in prossimità dei tratti terminali, contribuendo quindi al miglioramento della qualità dei corsi d'acqua di valle.

Per l'asta del sistema Marroggia-Teverone-Timia invece, si osserva un progressivo miglioramento della qualità, passando dal Livello 4 alla stazione MAR1 al Livello 2 alla stazione TIM1, imputabile in particolare all'ingresso di acqua dal Clitunno.

2 IL MODELLO DI QUALITA' QUAL2E

2.1 Premessa

I principali componenti di un ecosistema acquatico di acqua dolce comprendono sia le sostanze immesse nell'ambiente dall'esterno, e che vengono qui considerate genericamente come inquinanti, sia le componenti biotiche del sistema, di cui costituiscono la catena alimentare, la quale fra le altre funzioni ha anche quella di fornire i meccanismi naturali di autodepurazione.

Nella Fig. 1 sono schematicamente illustrati i processi di interazione fra le molecole presenti dell'ambiente acquatico e le componenti biotiche.

Dall'ambiente esterno provengono non solamente le molecole di sostanze inquinanti, ma anche delle fondamentali sostanze necessarie per lo sviluppo dell'ecosistema, quali ossigeno, nutrienti ed energia sotto forma di radiazione solare.

Sulla base di quest'ultima si sviluppa la rete alimentare che esercita anche una fondamentale funzione sui vari processi di biodegradazione di molti materiali organici, sia a base carboniosa che azotata. Contemporaneamente, batteri specializzati provvedono all'ammonificazione dell'azoto organico, ossidazione dell'ammoniaca, decomposizione dei prodotti organici di rifiuto e riciclaggio dei nutrienti (azoto e fosforo).

Diverso è il destino delle sostanze eco-persistenti, nocive anche in concentrazioni ridottissime, le quali non trovando che pochi meccanismi naturali di biodegradazione, vengono per lo più assorbite nei vari stadi della rete alimentare, dando così luogo al fenomeno del bioaccumulo, che consiste nell'aumento di concentrazione di una molecola persistente durante il passaggio lungo una catena alimentare a causa della successione di sfruttamento dalle specie preda da parte di quelle predatrici (Fig. 2).

Il destino delle sostanze inquinanti non-biodegradabili ed accumulabili rappresenta attualmente uno dei problemi più seri legati all'inquinamento idrico, come peraltro riscontrabile nella Direttiva 2000/60 CE e nelle norme di attuazione nazionali.

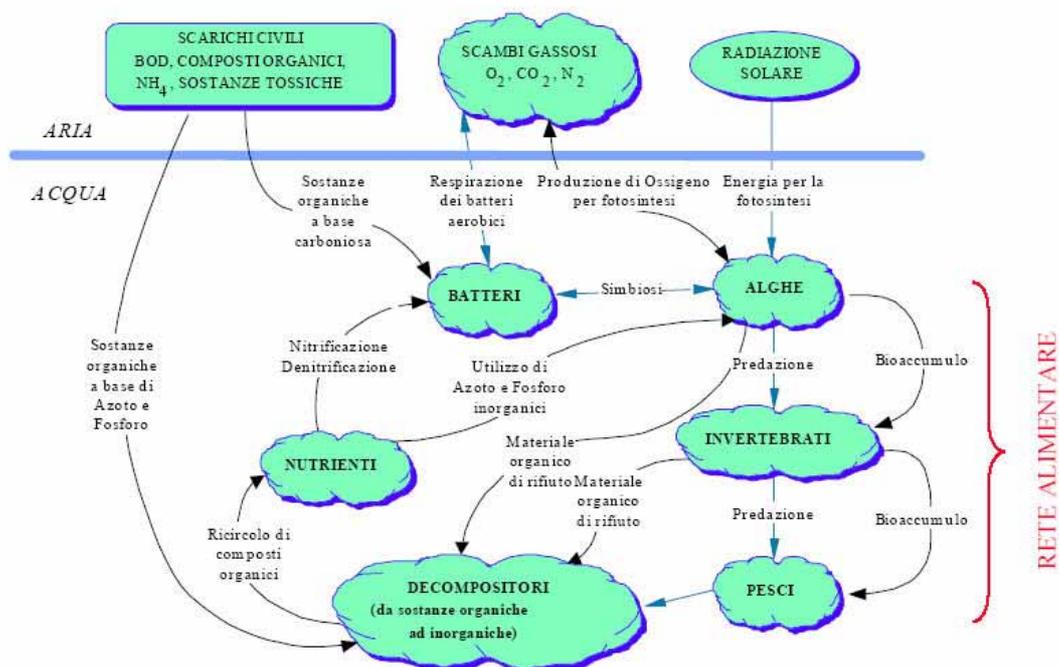


Fig. 1 – Interazioni fra molecole e componenti biotiche dell'ecosistema acquatico

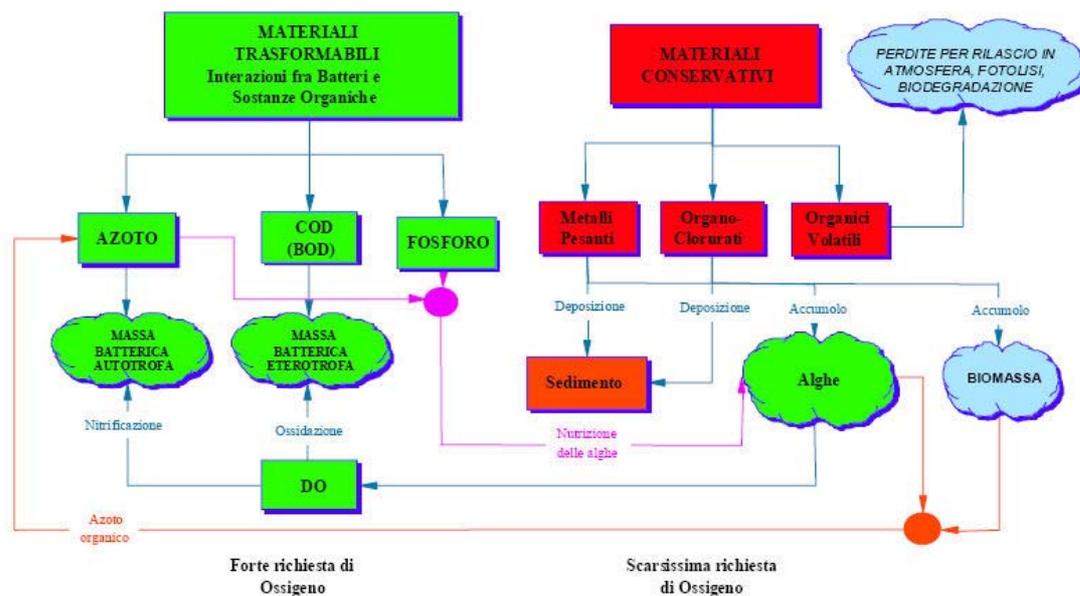


Fig. 2 – Destino delle varie sostanze inquinanti nell'ecosistema fluviale

I sistemi ambientali hanno come caratteristica comune la complessità, intesa come coesistenza di molte componenti, ciascuna con una propria dinamica, interagenti fra di loro. E' quindi praticamente impossibile valutare su basi intuitive l'evoluzione complessiva del sistema, così come risulta dall'evoluzione combinata di tutte le sue componenti. Per questo motivo si rende necessario il ricorso a strumenti di analisi in grado di rappresentare correttamente ogni componente dell'ecosistema ma soprattutto le sue interazioni con tutte le altre. Si tratta di metodi basati sull'analisi dei sistemi dinamici, capaci di rappresentare in forma matematica le caratteristiche dell'ecosistema e di riprodurre l'evoluzione nel tempo e nello spazio, in termini quantitativi.

Lo strumento modellistico è ormai una componente indispensabile nello studio dei sistemi ambientali, specialmente se a larga scala. Esso trova oggi largo impiego anche nello studio dei sistemi fluviali, la cui qualità deve essere gestita a livello integrato fra una pluralità di soggetti con diverse responsabilità e competenze. Infatti, alla luce dell'attuale quadro normativo, in particolare del D.Lgs 152/99, la qualità dell'acqua deve tener conto non solo dei corsi d'acqua naturali, ma anche dei sistemi di depurazione e perciò della loro gestione, nell'ottica di una gestione integrata a scala di bacino che può essere condotta con successo solo ricorrendo a tali strumenti di previsione, pianificazione e controllo.

Il principale vantaggio di questo approccio è che attraverso la simulazione numerica del modello matematico si possono riprodurre delle situazioni che sarebbe impossibile, costoso o pericoloso produrre nell'ecosistema. Inoltre si possono valutare gli effetti di soluzioni alternative, scegliendo quella che appare più idonea a raggiungere certi obiettivi di gestione o di intervento.

In generale i modelli di qualità fluviale sono, dal punto di vista dell'utente, degli ambienti di calcolo nel quale è presente, oltre ad un modello idraulico, anche un "motore" contenente le cinetiche di biodegradazione e di bioaccumulo ed altri moduli di servizio che curano la risoluzione di tali dinamiche, l'interfaccia utente, l'immissione dei dati, la presentazione dei risultati sotto forma grafica.

Ai fini dello studio è stato impiegato il modello QUAL2E della U.S. E.P.A., che opera su sistemi monodimensionali, ben miscelati, ed è in grado di simulare i processi di autodepurazione e trasporto degli inquinanti lungo l'intero reticolo idrografico di un bacino.

Tale modello, ampiamente testato su un gran numero di simulazioni condotte negli Stati Uniti ed anche, seppure in misura minore, in Italia, presenta caratteristiche di affidabilità, oltre che di completezza dal punto di vista del numero dei parametri di qualità modellabili.

Inoltre può essere impiegato, a supporto della pianificazione, per valutare l'impatto esercitato da scarichi inquinanti sui corsi d'acqua, oltre che per la verifica dell'effetto di cambiamenti meteorologici sui parametri di qualità e l'esame delle variazioni di ossigeno disciolto dovute alla crescita e alla respirazione delle alghe.

QUAL2E rappresenta l'evoluzione di una serie di codici di calcolo, sviluppati fin dagli anni '70, in linguaggio Fortran 77 e del tutto privi di una interfaccia grafica. Solo in anni recenti il codice è stato dotato

di un pre-processore grafico in grado di sostituire il sistema di input/output originale. In rete sono presenti diverse versioni del software dotate di differenti interfacce grafiche. In particolare si segnala la versione Windows mantenuta dall'U.S. EPA, all'indirizzo: http://www.epa.gov/OST/QUAL2E_WINDOWS/.

Nel caso specifico si è preferito adottare l'interfaccia sviluppata nel corso di esperienze applicative precedenti ed ottenuta integrando il sistema originale con numerosi altri moduli, progettati per rendere veloce ed efficiente il sistema di generazione degli archivi, di esecuzione dei calcoli, di visualizzazione dei risultati. Le caratteristiche principali di questa versione (QUALWIN), sviluppata presso la società Servin di Ravenna tra il 2004 ed il 2005, sono le seguenti:

- a) integrazione del codice QUAL2E originale entro l'interfaccia, che consente a QUALWIN di eseguire il modello sempre nella memoria veloce e da qualsiasi posizione di attivazione dell'interfaccia stessa;
- b) estensione del numero di oggetti che è possibile rappresentare rispetto alla versione originale (numero di tronchi fluviali, di celle, di punti di carico ecc.);
- c) interfacciamento dei dati basato su un sistema di tipo mensile; ciò consente di tenere sotto controllo fino a 12 scenari contemporaneamente, convenzionalmente identificati con i 12 mesi dell'anno. QUAL2E può essere fatto girare su uno solo di questi scenari o su tutti, in modo da ottenere una serie nel tempo lunga fino a 12 valori, costituita da altrettante soluzioni indipendenti;
- d) funzioni di gestione/controllo dei dati di sistema (foglio elettronico e funzioni di modifica dei dati);
- e) modulo di generazione automatica dei coefficienti idraulici;
- f) sistema di visualizzazione nello spazio e nel tempo;
- g) visualizzazione di un set di dati osservati di controllo.

2.2 Equazioni di base

QUAL2E (Brown & Barnwell, 1987) consente di simulare il flusso idrico ed il trasporto di sostanze inquinanti in regime stazionario con una geometria monodimensionale: il modello presuppone, infatti, che i principali meccanismi di trasporto, advezione e dispersione siano significativi solo lungo l'asse longitudinale del flusso.

Il software è in grado di simulare il comportamento delle componenti idrologiche e di qualità di canali (o reti di canali di qualsiasi complessità) caratterizzati da più scarichi inquinanti, perdite, prelievi ed immissioni di portata.

Per quanto riguarda le condizioni idrauliche, la simulazione è limitata a periodi di tempo durante i quali il flusso e gli scarichi siano pressoché costanti.

QUAL2E, inoltre, consente di caratterizzare i principali processi chimico-fisici di interesse in ambito fluviale:

- la crescita algale;
- il processo di ossigenazione/deossigenazione;
- i cicli di azoto e fosforo;
- il ciclo del carbonio;
- il trasporto (puramente advettivo) di sostanze di tipo conservativo.

In Fig. 3 è riportato lo schema delle reazioni che il programma consente di valutare.

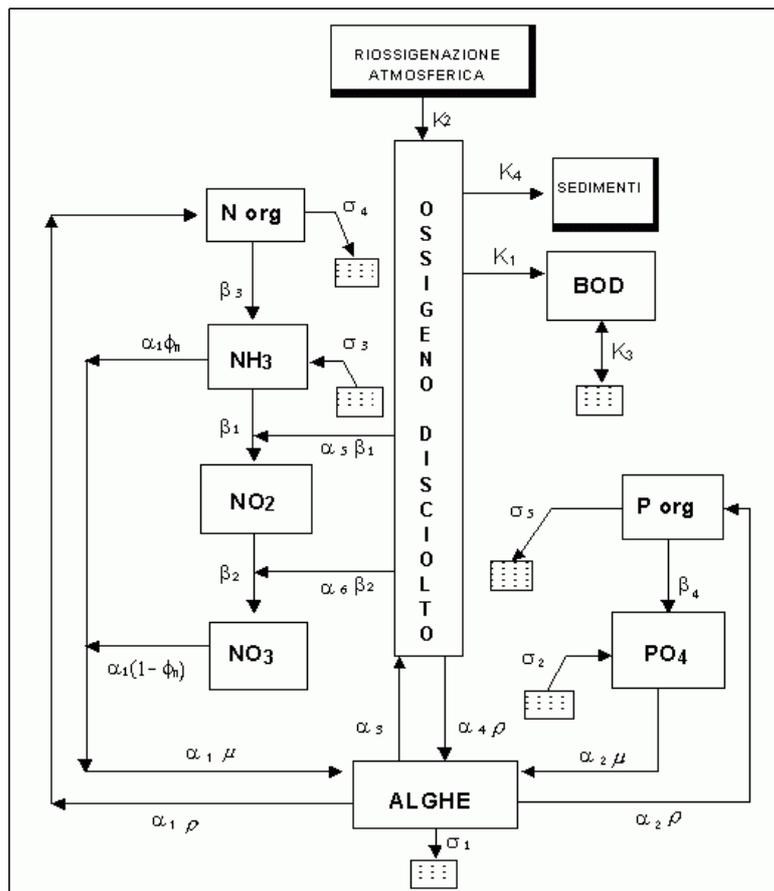


Fig. 3 - Interazione dei principali costituenti in QUAL2E (da Brown & Barnwell, 1987)

I costituenti di qualità simulabili sono al massimo 15, in qualsiasi combinazione definita, e comprendono:

- DO (Ossigeno Disciolto);
- BOD (Domanda Biochimica di Ossigeno);
- temperatura;
- alghe (come clorofilla "a");
- batteri coliformi;
- un costituente arbitrario non conservativo;
- tre costituenti conservativi;
- ciclo dell'Azoto: N organico; N come ammoniaca; N come nitriti; N come nitrati;
- ciclo del Fosforo: P organico; P disciolto.

Il sistema fluviale viene suddiviso in rami o bracci (reach, elementi del sistema aventi caratteristiche idrauliche uniformi) e ciascun ramo è a sua volta diviso in un numero intero di elementi computazionali, o celle elementari, tutti di ugual lunghezza. Il fiume viene quindi concettualizzato come una serie di reattori completamente miscelati (gli elementi computazionali), legati in modo sequenziale uno all'altro grazie ai meccanismi di trasporto e dispersione.

Esistono otto diversi tipi di elementi computazionali:

- elementi di sorgente (i primi elementi del fiume e di ogni suo affluente);
- elementi standard;
- elementi che precedono una connessione;
- elementi di connessione (in cui sfociano gli affluenti simulati);
- elementi finali (uno per ogni sistema fluviale);
- elementi di input (scarichi inquinanti e affluenti non simulati);
- elementi di prelievo;
- invasi.

Per ogni elemento computazionale, il modello esegue un bilancio idrologico in termini di portata (mc/s), un bilancio di massa in termini di concentrazione (mg/l) e un bilancio termico in termini di temperatura (°C).

2.2.1 Bilancio idrologico

La schematizzazione del bilancio idrologico per ciascun elemento è rappresentata in Fig. 4.

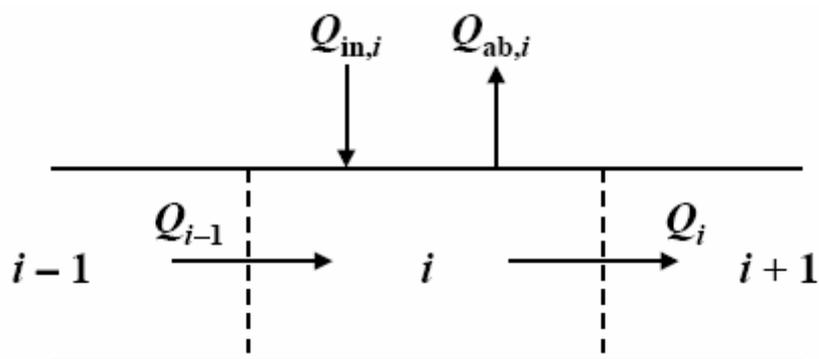


Fig. 4 - Bilancio idrologico dell'elemento i-esimo, dove Q_{i-1} è la portata in arrivo dall'elemento (i-1)-esimo, Q_i è quella in uscita dal tratto i-esimo, $Q_{in,i}$ e $Q_{ab,i}$ sono rispettivamente immissioni e prelievi per il tratto i-esimo sia puntuali che diffusi

Il bilancio idrologico viene eseguito in condizioni stazionarie.

$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i} \quad (1)$$

L'equazione del flusso in condizioni di equilibrio è la seguente:

$$(\partial Q / \partial t)_i = (Qx)_i \quad (2)$$

dove Q è la portata e t il tempo. Le condizioni di flusso possono essere ricavate in due modi; nel primo la velocità di flusso e l'altezza del tirante d'acqua vengono derivate dalle:

$$\bar{u} = aQ^b \quad (3)$$

$$d = \alpha Q^\beta \quad (4)$$

in cui \bar{u} è la velocità media della sezione, d il tirante d'acqua, a , b , α e β sono costanti empiriche. In alternativa, è possibile applicare la normale equazione di Manning ad una sezione trapezoidale con la:

$$Q = 1.486/n A_x R_x^{2/3} S_e^{1/2} \quad (5)$$

in cui A_x è la sezione idraulica, R_x il raggio idraulico, n il coefficiente di scabrezza di Manning, S_e il gradiente e Q la portata.

2.2.2 Bilancio termico

Qual2E è in grado di sviluppare in dettaglio il bilancio termico di un elemento di volume d'acqua tenendo conto di quello che accade all'interfaccia aria-acqua; le equazioni impiegate dipendono dalle condizioni ambientali di tipo climatico, morfologico, idraulico ecc..

Considerato che la temperatura è uno dei parametri fondamentali per molte delle cinetiche simulate dal modello, risulta particolarmente importante stimare il profilo delle temperature lungo l'asta da simulare.

2.2.3 Bilancio di massa

Il bilancio di massa viene svolto per ogni costituente simulato e prende in considerazione gli effetti di advezione, dispersione e diluizione, oltre alle reazioni e alle interazioni tra i vari costituenti. Lo schema semplificato del bilancio di massa per l'elemento i-simo è riportato in Fig. 5.

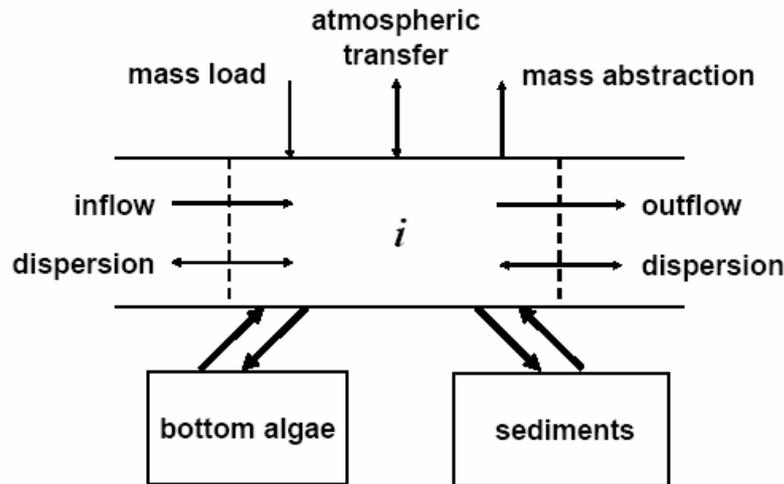


Fig. 5 - Schema semplificato del bilancio di massa in QUAL2E

Gli elementi che compongono il bilancio del carico inquinante per ciascun tratto simulato comprendono sia gli apporti fluidi che versano nell'asta principale, sia l'insieme delle masse di soluto trasportate. Gli apporti di carico assegnabili in input al modello comprendono:

1. **Sorgenti:** rappresentano generalmente le condizioni al contorno di monte richieste per generare la soluzione del bilancio di massa, per il primo elemento computazionale di ogni elemento di sorgente;
2. **Affluenti non simulati:**
3. **Scarichi puntuali/prelievi:** comprendono scarichi puntuali di origine civile ed industriale (sia trattati che non trattati) e perdite nel sistema;
4. **Afflussi aggiuntivi:** rappresentano il flusso in ingresso (oppure in uscita) al sistema, uniformemente distribuito lungo un generico braccio: l'incremento totale di flusso viene suddiviso equamente tra tutti gli elementi computazionali di quel braccio. Questa caratteristica può essere usata per simulare gli effetti di carichi distribuiti oppure di perdite sotterranee;
5. **Concentrazione di valle:** QUAL2E fornisce la possibilità di inserire nella simulazione la concentrazione al contorno di valle, se nota, dei costituenti di qualità. Questa opzione è molto utile per modellizzare quei sistemi caratterizzati da una elevata dispersione nei bracci di valle (ad esempio, gli estuari).

L'equazione fondamentale di QUAL2E è l'equazione monodimensionale del trasporto di massa, che viene integrata numericamente nel tempo e nello spazio, per ogni costituente che si desidera simulare. Detti t il tempo, x la coordinata spaziale, u la velocità media del fluido nella sezione trasversale di area A_x e D_L il coefficiente di dispersione longitudinale, l'equazione è la seguente:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial x})}{A_x \partial x} - \frac{\partial(A_x \bar{u} C)}{A_x \partial x} + \frac{dC}{dt} + \frac{s}{V} \quad (6)$$

dove il termine s rappresenta le fonti esterne o i prelievi e il termine V rappresenta il volume incrementale (ed è pari a $A_x dx$). Il primo termine dell'equazione rappresenta la componente dispersiva del trasporto (legata alla variazione spaziale della velocità media), mentre il secondo rappresenta la componente di avvezione.

Il termine dC/dt tiene conto delle variazioni nella concentrazione dei costituenti dovute ad esempio alla crescita e al decadimento degli organismi presenti nell'ecosistema fluviale (respirazione algale e fotosintesi, nascita e morte di coliformi). Infine, il termine s/V tiene conto della diluizione dovuta a fonti esterne e prelievi.

2.2.3.1 Il ciclo dell'ossigeno

Le relazioni che simulano il ciclo dell'ossigeno (comprensivo sia di ossigeno disciolto che di BOD) all'interno del modello sono le seguenti:

$$dO/dt = K_2(O^*-O) + (\alpha_3 \mu - \alpha_4 \rho) A - K_1 L - K_4/d - \alpha_5 \beta_1 N_1 - \alpha_6 \beta_2 N_2 \quad (7)$$

in cui:

O	=	concentrazione del DO (mg/l)
O*	=	concentrazione di saturazione del DO alla temperatura e pressione locali
a ₃	=	produzione di ossigeno per unità di fotosintesi algale (mg-O/mg-A)
a ₄	=	consumo di ossigeno per unità di respirazione algale (mg-O/mg-A)
a ₅	=	consumo di ossigeno per unità di ossidazione di azoto ammoniacale (mg-O/mg-N)
a ₆	=	consumo di ossigeno per unità di ossidazione di azoto nitrico (mg-O/mg-N)
m	=	crescita algale (giorni ⁻¹)
r	=	respirazione algale (giorni ⁻¹)
A	=	concentrazione della biomassa algale (mg-A/l)
L	=	concentrazione del BOD ultimo (mg/l)
d	=	tirante d'acqua (m)
K ₁	=	deossigenazione del BOD ultimo (giorni ⁻¹)
K ₂	=	reaerazione per diffusione fickiana (giorni ⁻¹)
K ₄	=	domanda di ossigeno del sedimento (g/m ² -giorno)
β ₁	=	coefficiente di ossidazione dell'azoto ammoniacale (giorni ⁻¹)
β ₂	=	coefficiente di ossidazione dell'azoto nitrico (giorni ⁻¹)
N ₁	=	concentrazione dell'azoto ammoniacale (mg-N/l)
N ₂	=	concentrazione dell'azoto nitrico (mg-N/l)

e

$$dL/dt = -K_1 L - K_3 L \quad (9)$$

in cui:

L	=	concentrazione del BOD ultimo (mg/l)
K ₁	=	coefficiente di deossigenazione (giorni ⁻¹)
K ₃	=	cessione di BOD per sedimentazione (giorni ⁻¹)

2.2.3.2 Il ciclo dell'azoto

La taratura del ciclo dell'azoto, la cui simulazione rappresenta probabilmente l'aspetto più rilevante del modello ai fini della tutela delle risorse idriche, risulta estremamente complessa.

Le equazioni impiegate da Qual2E per la simulazione di ciascuno dei composti dell'azoto sono le seguenti:

azoto organico

$$dN_4/dt = \alpha_1 \rho A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4 \quad (10)$$

in cui:

N ₄	=	concentrazione dell'azoto organico (mg-N/l)
β ₃	=	costante di controllo dell'idrolisi da azoto organico ad azoto ammoniacale (giorni ⁻¹)
α ₁	=	frazione di azoto della massa algale (mg-N/mg-A)
ρ	=	tasso di respirazione algale (giorni ⁻¹)
A	=	concentrazione della massa algale (mg-A/l)
σ ₄	=	coefficiente di sedimentazione dell'azoto organico (giorni ⁻¹)

azoto ammoniacale

$$dN/dt = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \sigma_3/d - F_1 \alpha_1 \mu A \quad (11)$$

in cui:

F ₁	=	$P_N N_1 / (P_N N_1 + (1 - P_N) N_3)$	(12)
N ₁	=	concentrazione di azoto ammoniacale (mg-N/l)	
N ₃	=	concentrazione di azoto nitroso (mg-N/l)	
N ₄	=	concentrazione di azoto organico (mg-N/l)	
β ₁	=	ossidazione biologica dell' azoto ammoniacale (giorni ⁻¹)	
β ₃	=	idrolisi dell'azoto organico (giorni ⁻¹)	

α_1	=	frazione della massa algale che è azoto (mg-N/mg-A)
σ_3	=	sorgente bentonica dell'azoto ammoniacale (mg-N/ft ² -giorno)
d	=	tirante d'acqua (m)
F_1	=	frazione dell'azoto algale disponibile per il trasferimento ad azoto ammoniacale
μ	=	crescita locale specifica (giorni ⁻¹)
A	=	concentrazione della massa algale (mg-A/l)
P_N	=	fattore di preferenza per l'azoto ammoniacale (da 0 a 1.0)

azoto nitrico

$$dN_2/dt = b_1 N_1 - b_2 N_2 \quad (13)$$

in cui:

N_1	=	concentrazione di azoto ammoniacale (mg-N/l)
N_2	=	concentrazione dell'azoto nitrico (mg-N/l)
β_1	=	costante di ossidazione dell'azoto ammoniacale (giorni ⁻¹)
b_2	=	costante di ossidazione dell'azoto nitrico (giorni ⁻¹)

azoto nitroso

$$dN_3/dt = b_2 N_2 - (1 - F) a_1 m A \quad (14)$$

in cui:

F	=	frazione di azoto algale derivato dal pool dell'ammoniaca
a_1	=	frazione azotata della biomassa algale (mg-N/mg-A)
m	=	crescita algale specifica locale (giorni ⁻¹)

2.2.3.3 Il ciclo del fosforo

Le equazioni usate da Qual2E per simulare il ciclo del fosforo sono le seguenti.

fosforo organico

$$dP_1/dt = \alpha_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \sigma_5 P_1 \quad (15)$$

in cui:

P_1	=	concentrazione di fosforo organico, mg-P/l
α_2	=	contenuto di fosforo nelle alghe (mg-P/mg-A)
ρ	=	tasso di respirazione algale (giorni ⁻¹)
A	=	concentrazione di biomassa algale (mg-A/l)
β_4	=	coefficiente di decadimento del fosforo organico (giorni ⁻¹)
σ_5	=	coefficiente di sedimentazione del fosforo (giorni ⁻¹)

fosforo disciolto

$$dP_2/dt = \beta_4 P_1 + \sigma_2/d - \alpha_2 \mu A \quad (16)$$

in cui:

P_2	=	concentrazione di fosforo inorganico o disciolto (mg-P/l)
σ_2	=	sorgente bentonica di fosforo disciolto (mg-P/m ² -giorno)
d	=	tirante d'acqua (m)
μ	=	coefficiente di crescita algale (giorni ⁻¹)
A	=	concentrazione di biomassa algale (mg-A/l)

2.2.3.4 Coliformi

L'equazione che Qual2E utilizza per la simulazione dei coliformi è la seguente:

$$dE/dt = -K_5 E \quad (17)$$

in cui:

E = concentrazione di coliformi (colonie/100 ml)
K5 = coefficiente di estinzione dei coliformi (giorni-1)

2.2.3.5 Variabili conservative

Va infine ricordato che il modello è in grado di simulare variabili conservative, ovvero i parametri che non subiscono reazioni lungo l'asta fluviale. Nel presente studio è stata assunta come variabile conservativa il Cloro.

Le equazioni che rappresentano le reazioni chimiche e biochimiche che avvengono nell'ecosistema fluviale contengono quindi numerosi parametri, alcuni costanti, altri variabili nello spazio e altri ancora dipendenti dalla temperatura. Sebbene il manuale del modello riporti i valori tipici di tali parametri (utilizzabili come valori di default), la scelta, per ciascun parametro, del valore opportuno, deve derivare da un'operazione di calibrazione del modello sulla realtà fisica che si sta rappresentando.

3 APPLICAZIONE DEL MODELLO DI QUALITÀ QUALWIN AL BACINO DEL TEVERE IN UMBRIA

3.1 Dati di base

In relazione agli orizzonti temporali del Piano di tutela delle acque della Regione Umbria, sono stati presi in esame i dati più recenti a disposizione, relativi al periodo 2000-2004.

I dati di base del modello comprendono sia le informazioni relative alla morfologia e all'idraulica del fiume, sia gli aspetti legati alle pressioni che insistono sul corpo idrico stesso e alla qualità delle acque.

La geometria dei corpi idrici considerati è frutto di rilievi resi disponibili dall'Autorità di Bacino del Tevere e dal Consorzio della Bonificazione Umbra.

Il set delle portate è desunto dai dati della rete idrometrica regionale, forniti dal Servizio Idrografico della Regione Umbria, (7 idrometri disponibili per il Tevere, 3 per il Chiascio, 3 per il Topino, 2 per il sistema Timia-Teverone-Marroggia).

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alla qualità delle acque, dall'entrata in vigore del D.Lgs 152/99, è stato avviato un monitoraggio sistematico dei corpi idrici regionali significativi che fornisce, a cadenza mensile, una caratterizzazione dello stato di qualità ambientale. I dati utilizzati sono relativi ai campionamenti effettuati da ARPA Umbria in corrispondenza delle stazioni individuate ai sensi del medesimo decreto (7 stazioni disponibili lungo l'asta del Tevere, 2 lungo l'asta del Chiascio, 3 lungo il Topino e 3 per il sistema Timia-Teverone-Marroggia).

Per la stima dei carichi puntuali in asta, sono stati utilizzati i dati dei controlli effettuati da ARPA Umbria sui principali impianti di depurazione direttamente recapitanti nei corsi d'acqua oggetto di simulazione.

Sono stati caratterizzati come carichi puntuali anche tutti gli affluenti principali di ciascuna asta simulata; il carico ad essi attribuito è stato valutato sulla base dei dati analitici, ove disponibili, o ipotizzato in base alle stime dei carichi sversati nel corrispondente bacino.

In aggiunta ai 2 termini puntuali sopra descritti, è stato valutato il carico inquinante di origine diffusa attribuibile a ciascun tratto in relazione alle pressioni su di esso agenti e compatibilmente con le masse inquinanti transittanti alle stazioni di qualità.

3.2 Fase preliminare

Sulla base dei dati disponibili e delle finalità del modello, è stata assunta una scala temporale mensile: sono state cioè realizzate una serie di 12 simulazioni, rappresentative delle condizioni medie mensili, ciascuna in condizioni stazionarie e quindi tempo-invariante, ma tali da dare complessivamente un'idea delle dinamiche in funzione del tempo. Ciò consente inoltre di modellare le condizioni di magra che potrebbero rappresentare un elemento di criticità per il raggiungimento degli obiettivi di qualità del reticolo.

La prima fase, preliminare alla taratura del modello qualitativo, consiste nella definizione dello schema dei deflussi e della caratterizzazione delle sezioni di interesse in termini di velocità di flusso e altezza del tirante d'acqua, secondo le equazioni (3) e (4).

Ogni bacino simulato è stato ripartito in sottobacini, considerando come sezioni di chiusura le sezioni corrispondenti agli idrometri. La portata in uscita è valutata quindi come somma dei contributi derivanti da:

- Portata in ingresso al bacino
- Immissari
- Flusso di base

Una volta ottenuta la coerenza cercata su base annua, lo stesso percorso è ripetuto a scala mensile, ottenendo quindi un assetto di portate, velocità e tiranti d'acqua soddisfacente per questa scansione temporale.

La caratterizzazione delle velocità e dei tiranti d'acqua corrispondenti è stata effettuata come di seguito descritto:

- innanzitutto sono state apportate delle modifiche alle sezioni topografiche rilevate al fine di semplificarne la geometria ed evitare soprattutto le contropendenze lungo il profilo longitudinale (esempio in Fig. 6);
- le sezioni semplificate così ottenute sono state sottoposte ad un processo iterativo, al variare del tirante idrico, al fine di generare i coefficienti per le equazioni (3), (4) (Fig. 7 e Fig. 8). Va notato che le correlazioni migliori si ottengono quando le portate rimangono contenute nell'alveo di magra, come si verifica peraltro nella maggior parte dell'anno.

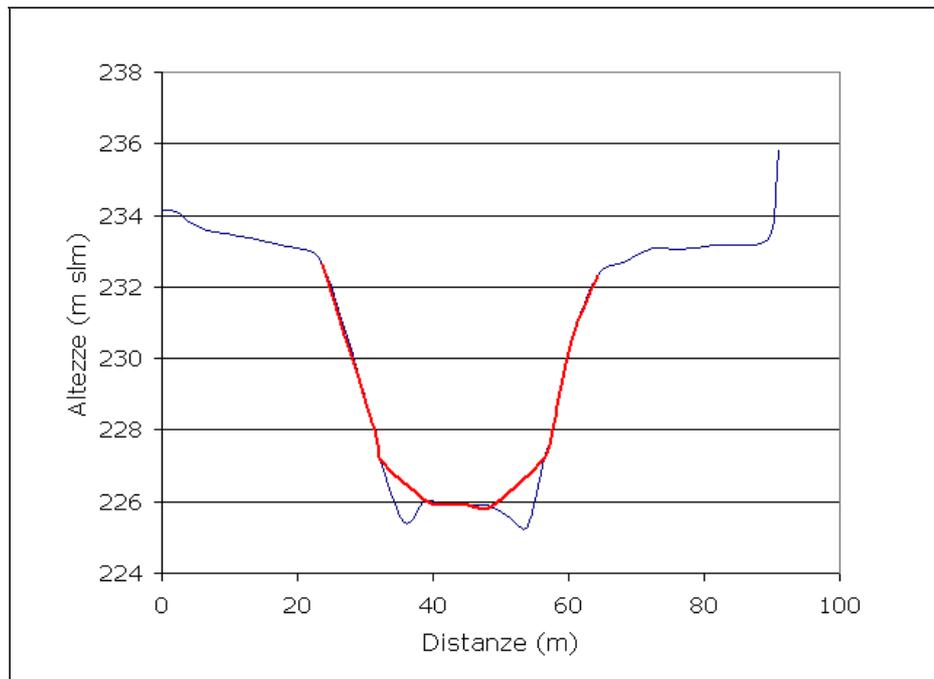


Fig. 6 – Esempio di semplificazione delle sezioni trasversali. Il profilo rilevato è in blu, mentre in rosso è riportato il profilo rettificato per il modello

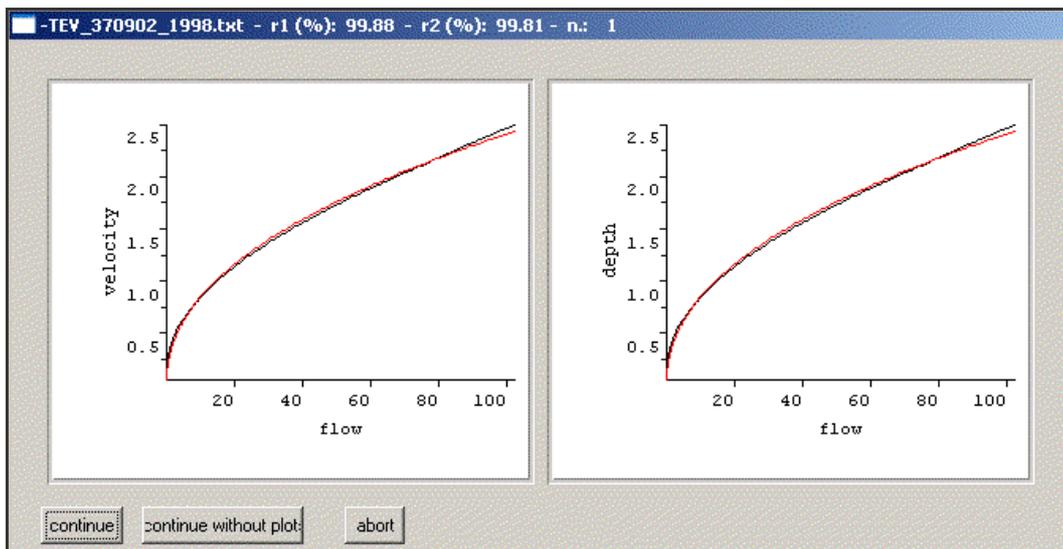


Fig. 7 – Dati sperimentali (in nero) e curve di adattamento (in rosso) per velocità e altezza d’acqua con passo 5 cm (flusso in m^3/s , velocità in m/s , altezza in m)

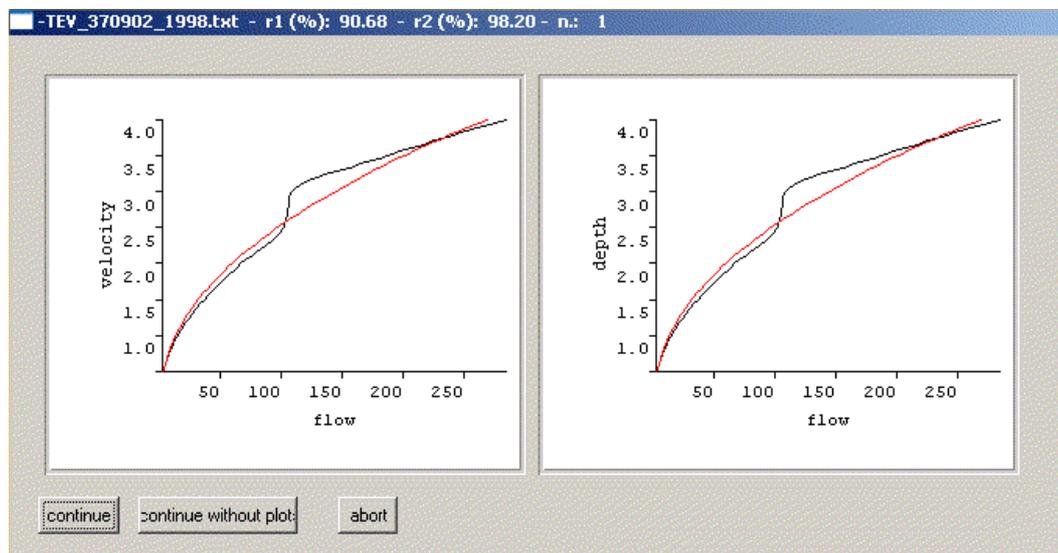


Fig. 8 - Dati sperimentali (in nero) e curve di adattamento (in rosso) per velocità e altezza d’acqua con passo 50 cm (flusso in m^3/s , velocità in m/s , altezza in m)

3.3 Taratura del modello

Una volta definito il modello di qualità, sorge il problema di come adattarlo al caso in esame sulla base dei dati già disponibili. E’ necessario precisare come la calibrazione dei parametri di un modello sia un’operazione estremamente delicata che necessita di conoscenze sistemiche approfondite per essere effettuata con successo.

Per ciascuna delle variabili relative alle equazioni dei costituenti sono state effettuate operazioni di taratura che consistono nella ricerca, per tentativi:

- dell’assetto ottimale dei coefficienti che regolano le cinetiche di reazione simulate nel corso dei calcoli;
- dell’assetto ottimale tra schema idraulico e masse veicolate;
- dell’assetto ottimale delle masse di soluto entranti nel sistema.

La combinazione migliore di questi tre requisiti è valutata sulla base degli scarti tra concentrazioni calcolate e concentrazioni osservate nelle sezioni dotate di monitoraggio chimico-fisico. In pratica il problema della calibrazione dei parametri può essere impostato come un problema di ottimizzazione: dato un insieme di dati sperimentali, si cerca il minimo di una funzione che rappresenta la discrepanza fra dati e risposta del modello.

Per quanto riguarda il bilancio termico, ogni simulazione è stata condotta assumendo, per ogni stazione di qualità, la media a scala mensile delle temperature rilevate nel periodo 2000-2004 presso le stazioni di qualità, e considerandola poi costante lungo ciascun tratto.

3.4 Il modello di qualità del fiume Tevere

3.4.1 Schematizzazione su base annua

Il tratto di fiume Tevere compreso tra l'invaso di Montedoglio e il Lago di Corbara è schematizzato tramite 32 reaches, ciascuno significativo di una porzione di corso d'acqua.

I tratti, che presentano lunghezze anche molto diverse, sono tutti discretizzati in elementi di 100 m, per un totale di 1686 elementi. Lo schema applicato è riportato Fig. 9.

La Tab. 1 riporta in sintesi la geometria adottata: nella prima colonna compare l'identificativo del tratto e la portata media annua in ingresso (m^3/s), la seconda colonna riporta il numero progressivo del tratto, quindi il nome o il codice della sezione trasversale da cui ha origine il tratto e le due lunghezze, parziale del reach e progressiva. Le ultime due colonne, infine, riportano le sorgenti significative, ossia quelle che forniscono un contributo sia in termini idraulici che di massa trasportata in soluzione, e le relative portate medie annue ricostruite.

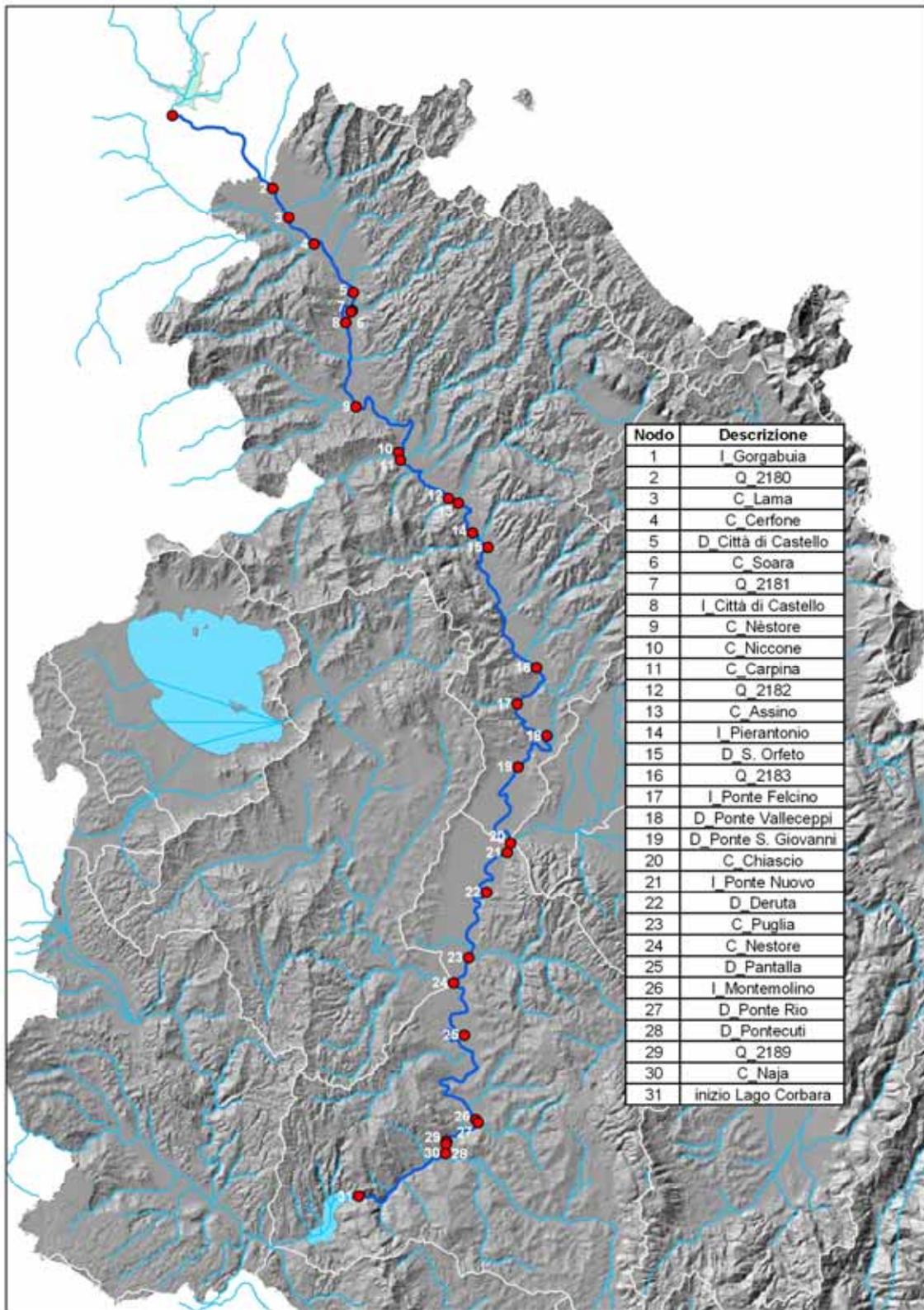


Fig. 9 – Schematizzazione del fiume Tevere

Tab. 1 - Schema dei deflussi medi annui, delle lunghezze e delle sorgenti del Tevere

Tratto e portata iniziale (m ³ /s)	Reach	Sezione: I=idrometro Q=stazione qualità C=confluenza D=depuratore	L [km]	L progr. [km]	Sorgenti	
					▼=torrenti 🚰=depuratori ▲= flusso base	Q [m ³ /s]
Montedoglio 3,58	1	I_Gorgabuia	12,9	12,9	🚰 S. Giustino	0,064
	2	Q_2180	2,5	15,4	▲ ▼ Lama	0,183 0,672
	3	C_Lama	3,9	19,3	▲	0,239
	4	C_Cerfone	6,7	26,0	▲ 🚰 Città di Castello ▼ Cerfone	0,415 0,119 2,59
	5	D_Città di Castello	1,8	27,8	▲ ▼ Soara	0,113 1,119
	6	C_Soara	2,8	30,6	▲	0,173
IDR. S.Lucia 9,267	7	I_Città di Castello	7,4	38,0	▲ ▼ Nèstore	0,355 0,865
	8	C_Nèstore	11,3	49,3	▲ ▼ Niccone	0,763 1,004
	9	C_Niccone	0,5	49,8	▲ ▼ Carpina	0,044 1,182
	10	C_Carpina	6,3	56,1	▲ 🚰 Umbertide	0,389 0,037
	11	Q_2182	0,7	56,8	▲ ▼ Assino	0,032 1,432
	12	C_Assino	4,3	61,1	▲	0,192
IDR. Pierantonio 15,562	13	I_Pierantonio	2,3	63,4	▲ 🚰 S. Orfeto	0,186 0,018
	14	D_S. Orfeto	13,2	76,6	▲	1,005
	15	Q_2183	4,8	81,4	▲	0,324
IDR. Ponte Felcino 17,095	16	I_Ponte Felcino	4,9	86,3	▲	0,007
	17	D_Ponte Valleceppi	5,7	92,0	▲ 🚰 P. Valleceppi	0,041 0,080
	18	D_Ponte S. Giovanni	10,3	102,3	▲ 🚰 Perugia P.S.G ▼ Chiascio	1,905 0,109 13,524
	19	C_Chiascio	1,3	103,6	▲ 🚰 Perugia S.M.C.	0,252 0,015
IDR. Ponte Nuovo 33,028	20	I_Ponte Nuovo	6,9	110,5	▲	0,98
	21	D_Deruta	9,0	119,5	▲ 🚰 Deruta ▼ Puglia	0,89 0,048 0,78
	22	C_Puglia	2,3	121,8	▲ ▼ Nestore	0,238 3,021
	23	C_Nestore	10,0	131,8	▲	1,014
	24	D_Pantalla	6,0	137,8	▲	0,537
	25	I_Montemolino	6,6	144,4	▲ 🚰 Todi P. Rio	0,087 0,014
IDR. Montemolino 40,637	26	D_Ponte Rio	3,7	148,1	▲	0,503
	27	D_Pontecuti	1,2	149,3	▲ 🚰 Todi Pontecuti	0,216 0,014
	28	C_Naja	10,1	159,4	▲ ▼ Naja	1,064 1,075
	29	inizio Lago Corbara	9,2	168,6	▲	1,135

Come descritto al paragrafo 3.2, sono state costruite 12 situazioni mensili, per ciascuna delle quali sono definite le concentrazioni dei costituenti oggetto di simulazione in corrispondenza di ciascun punto di ingresso di acqua nel sistema (Tab. 2).

Tab. 2 - Punti di carico applicati sull'asta del Tevere e relative concentrazioni dei costituenti (valori medi annui)

n	Point load	DO (mg/l)	BOD5 (mg/l)	CI (mg/l)	COLI (Cfu/100ml)	ORG N (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	ORG P (mg/l)
1	♣ S.Giustino	11,5	2,0	125,8	8.000	1,8	3,00	0,20	0,01	0,50
2	♥ Foce Lama	9,3	2,8	16,3	5.000	2,0	0,04	0,52	0,32	0,06
3	♥ Cerfone	11,8	2,4	22,3	16.650	1,0	0,04	1,48	0,34	0,02
4	♣ Città di Castello	9,9	2,8	108,5	20.000	2,1	10,00	0,30	3,00	0,01
5	♥ Foce Soara	12,9	2,8	24,1	20.000	4,0	0,04	1,54	1,74	0,04
6	♥ Foce Nèstore	18,3	1,7	22,3	3.633	2,0	0,04	0,75	0,05	0,04
7	♥ Foce Niccone	18,0	2,0	22,3	1.190	3,0	0,02	1,00	0,06	0,04
8	♥ Foce Carpina	18,1	2,0	22,3	5.367	2,0	0,05	0,96	0,04	0,02
9	♣ Umbertide	10,7	2,1	79,3	40.000	4,0	10,00	0,01	0,10	0,20
10	♥ Foce Assino	18,1	1,0	20,4	610	2,0	0,02	3,52	0,50	0,18
11	♣ S. Orfeto	12,2	1,5	28,3	30.000	2,0	0,30	0,01	3,00	0,20
12	♣ P. Valleceppi	11,6	2,6	46,4	5.000	3,0	0,05	0,01	20,00	1,00
13	♣ Perugia P.S.G	12,8	2,7	96,1	5.000	3,0	0,05	0,01	20,00	1,00
14	♣ Perugia S.M.C.	11,4	2,7	68,4	3.000	3,0	0,05	0,01	20,00	1,00
15	♥ Foce Chiascio	16,3	5,5	26,1	3.517	3,2	0,05	2,84	0,14	0,04
16	♣ Deruta	10,0	3,4	61,2	3.000	2,0	0,05	0,01	8,00	0,30
17	♥ Foce Puglia	17,5	6,4	31,4	90.000	3,0	9,14	4,64	0,04	0,04
18	♥ Foce Nestore	17,8	8,2	60,6	5.000	3,0	10,34	8,72	0,06	0,22
19	♣ Todi Ponte Rio	11,1	1,9	74,1	5.000	3,0	0,04	0,01	11,00	0,10
20	♣ Todi Pontecuti	10,3	1,8	74,8	60.000	5,0	11,00	0,07	8,40	0,46
21	♥ Foce Naja	16,0	0,3	60,0	90.000	3,0	12,40	0,20	0,08	0,38
22	♥ Foce Paglia	17,8	0,6	77,1	5.000	2,0	0,10	3,00	0,00	0,05

3.4.2 Taratura dei costituenti di qualità

Di seguito sono riportati i grafici di taratura dei costituenti simulati relativamente all'asta del Tevere. In ciascun grafico l'insieme dei valori osservati (12 dati medi mensili del periodo 2000-2004 per 7 stazioni disponibili, ciascuna rappresentata con un colore diverso) è posto a confronto con i corrispondenti valori stimati tramite il modello.

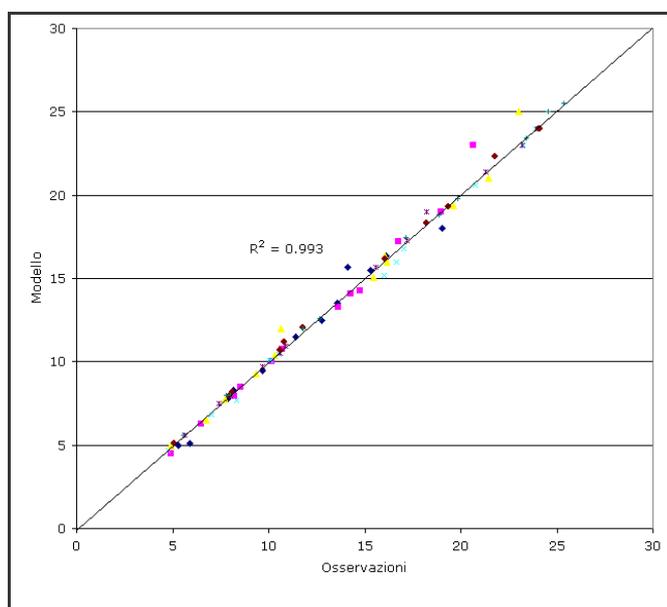


Fig. 10 - Taratura della temperatura sul Tevere

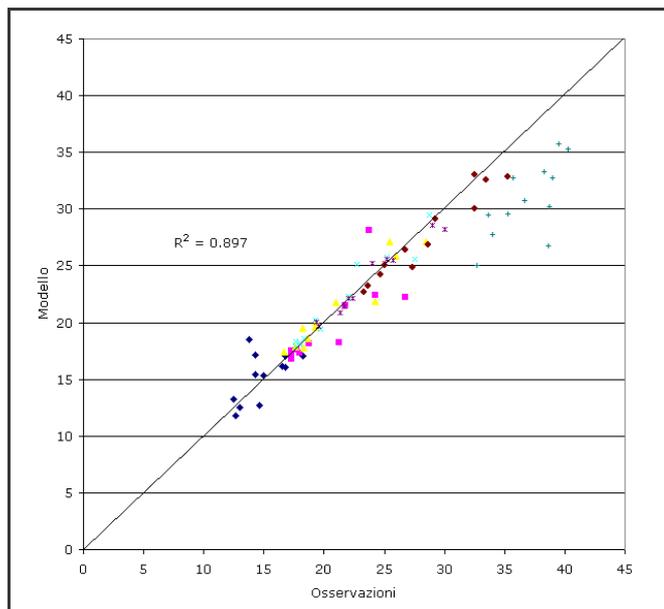


Fig. 11 - Taratura del Cloro sul Tevere

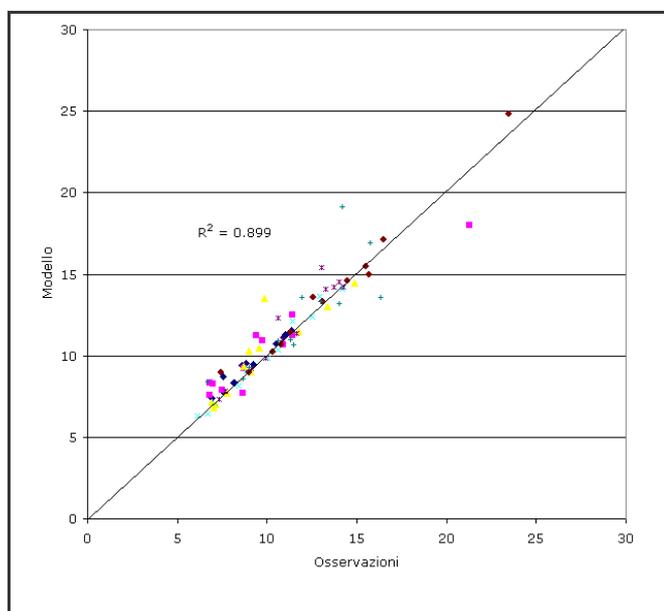


Fig. 12 - Taratura del COD sul Tevere

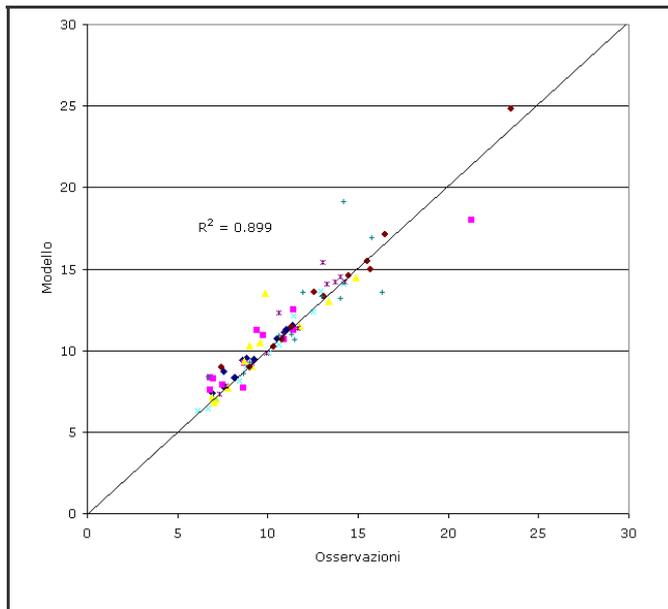


Fig. 13 - Taratura dell'ossigeno disciolto sul Tevere

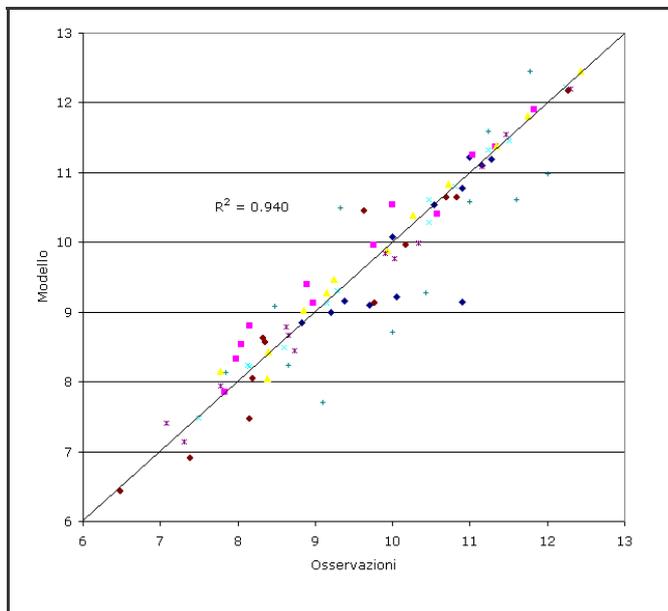


Fig. 14 - Taratura del BOD5 sul Tevere

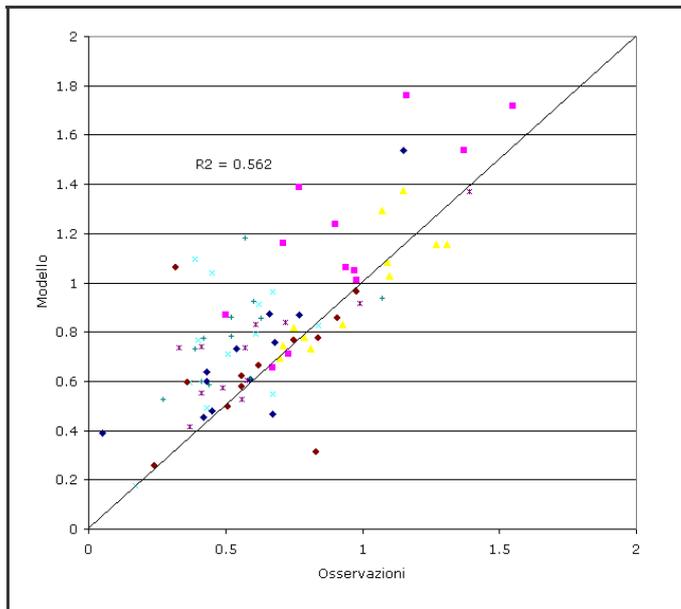


Fig. 15 - Taratura dell'azoto organico sul Tevere

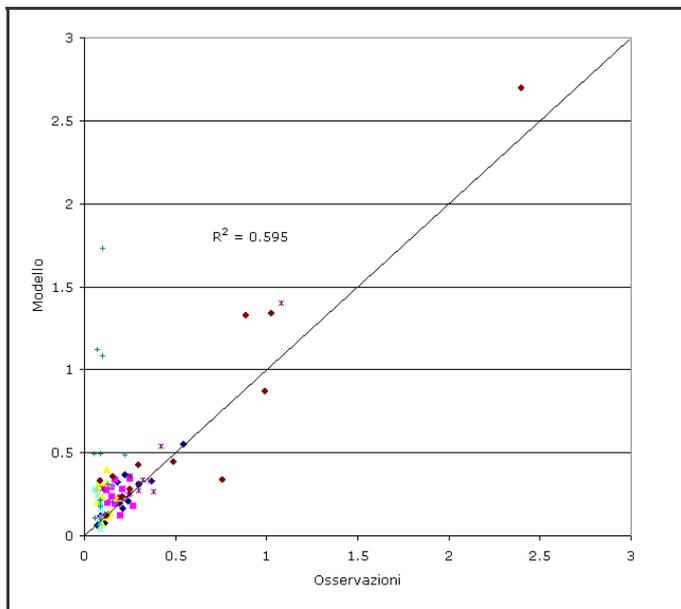


Fig. 16 - Taratura dell'ammoniaca sul Tevere

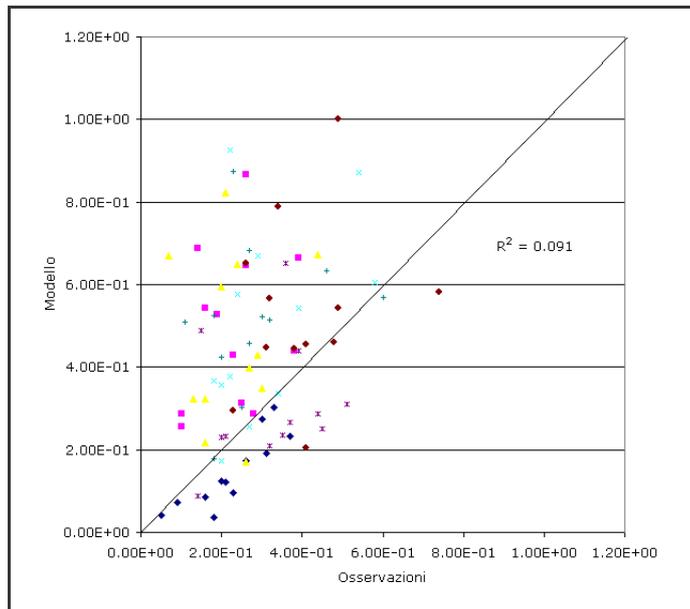


Fig. 17 - Taratura dei nitriti sul Tevere

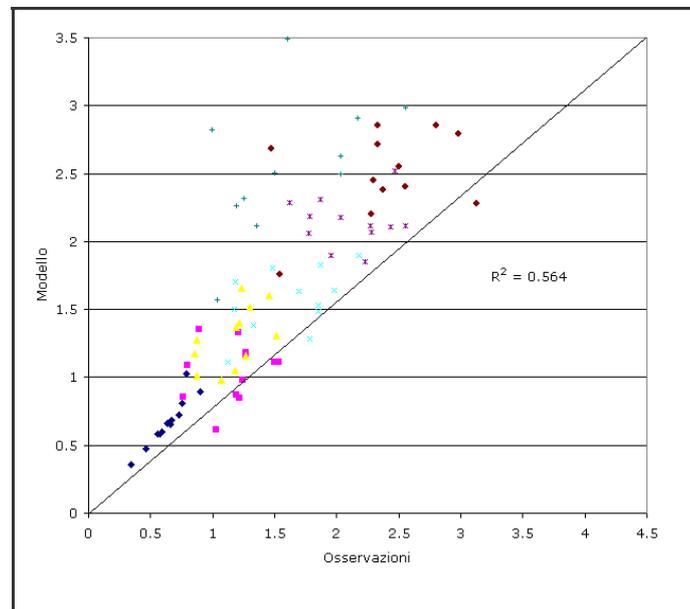


Fig. 18 - Taratura dei nitrati sul Tevere

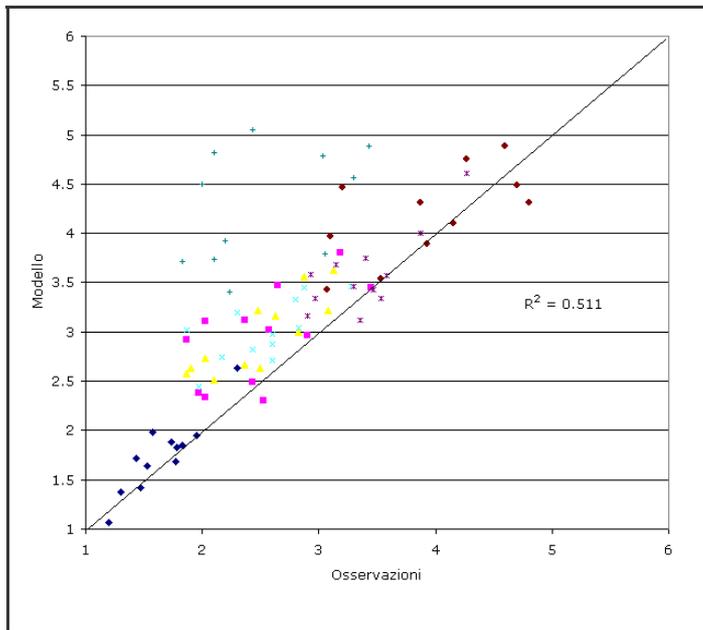


Fig. 19 – Taratura dell’azoto totale sul Tevere

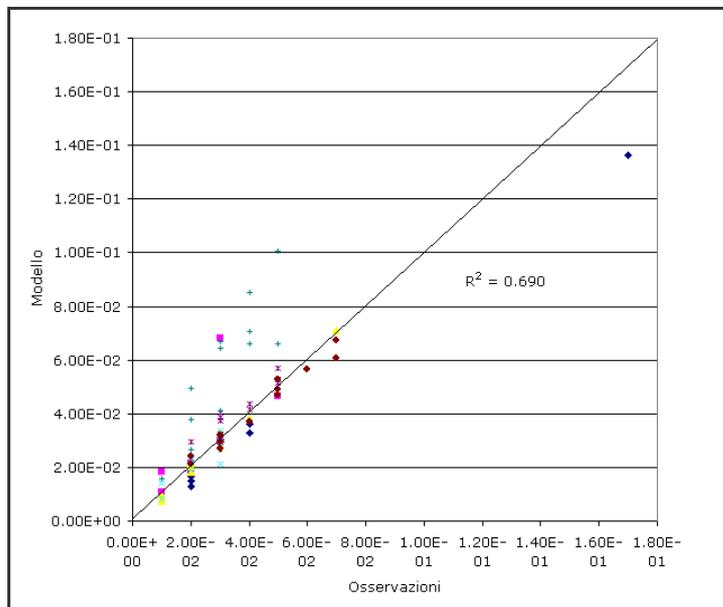


Fig. 20 - Taratura del fosforo organico sul Tevere

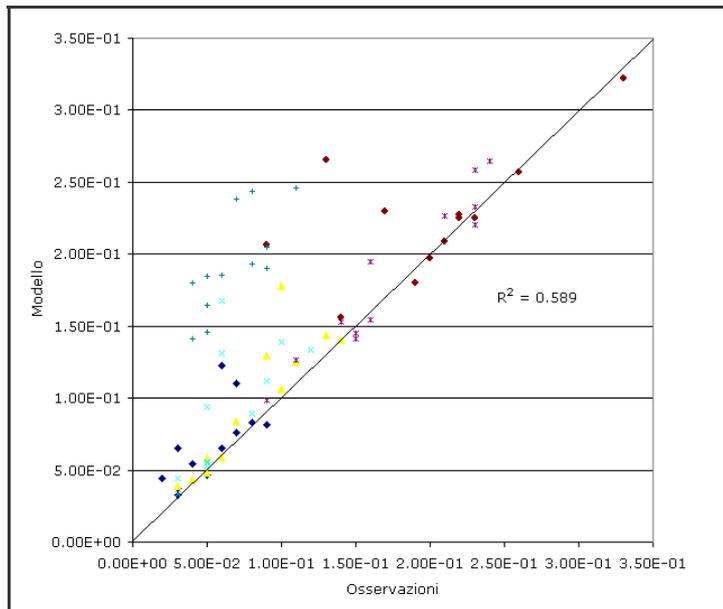


Fig. 21 - Taratura del fosforo disciolto sul Tevere

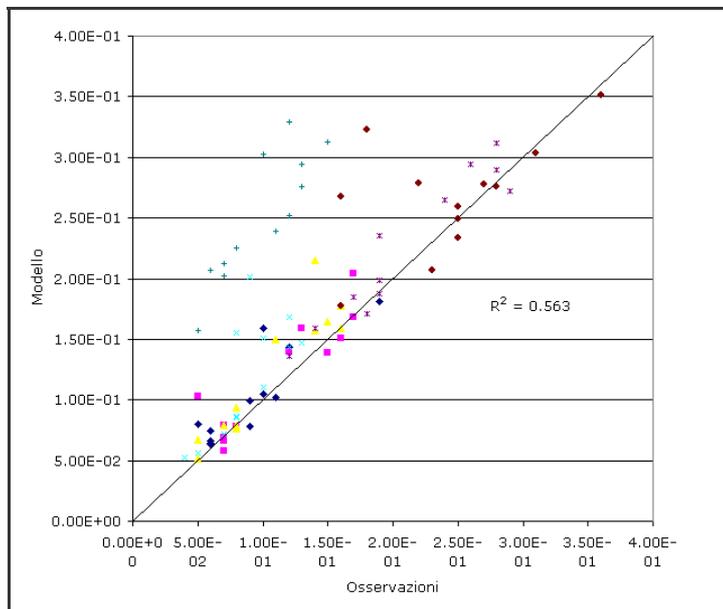


Fig. 22 - Taratura del fosforo totale sul Tevere

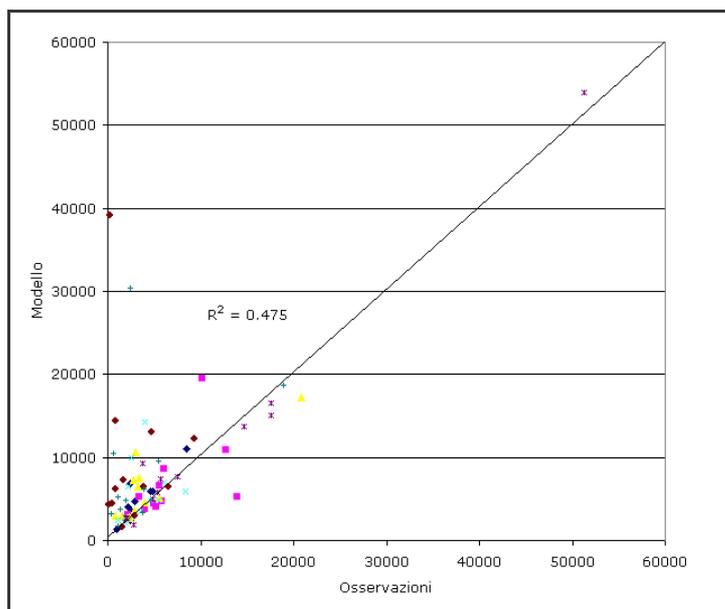


Fig. 23 - Taratura dei coliformi sul Tevere

Come si riconosce dalla Fig. 24, che riporta le misure della dispersione ottenute per tutte le variabili considerate, la temperatura rappresenta la variabile meglio riprodotta (valore della dispersione prossimo a 1); i peggiori risultati di taratura sono invece relativi al parametro nitriti (dispersione inferiore a 0,1). Più in generale, come già accennato, le variabili conservative e quelle che si riferiscono al ciclo dell'ossigeno sono state riprodotte al meglio, mentre i cicli di azoto e fosforo ed i coliformi mostrano una performance minore, con valori della dispersione che oscillano attorno a 0,5.

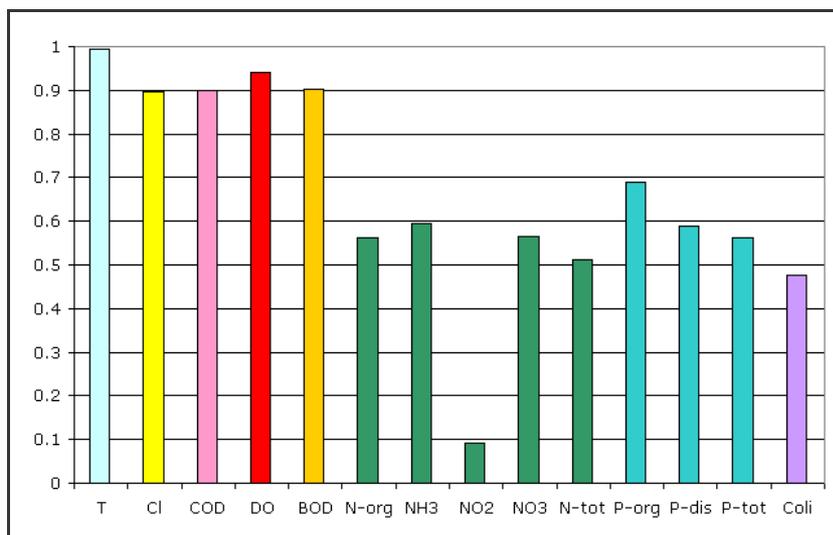


Fig. 24 - Sintesi della dispersione dei risultati in fase di taratura nel modello del Tevere

Nella Tab. 3 è riportata la schematizzazione delle stazioni di qualità utilizzate per la modellazione dell'asta del Tevere.

Tab. 3- Stazioni di qualità utilizzate per la simulazione dell'asta del Tevere

Stazione	Nome Stazione	Codice Stazione
1	Pistrino	TVR1
2	S.Lucia	TVR2
3	Montecorona	TVR3
4	P.Felcino	TVR4
5	Pontenuovo	TVR5
6	Pontecuti	TVR7

La Tab. 4 che segue riporta i risultati finali delle operazioni di taratura lungo l'asta del Tevere, in termini sia di concentrazioni che di carichi transitanti presso le stazioni di qualità, per ciascuno dei mesi dell'anno.

Nella terza colonna sono riportati i valori medi mensili di portata simulati attraverso il modello.

Per ciascun costituente, la colonna "osservato" riporta il valore medio delle concentrazioni rilevate nell'ambito delle attività di monitoraggio svolte da ARPA, ai sensi del D. Lgs. 152/99, nel periodo 2000-2004.

Nella colonna "Stato di fatto" sono riportate le corrispondenti concentrazioni simulate tramite il modello di qualità, mentre la colonna successiva, denominata "Carico transitante", riporta le tonnellate di costituente simulato che transitano mensilmente nella sezione, ottenute moltiplicando il valore di portata per il valore di concentrazione simulato, ossia quello desunto dalla colonna "Stato di fatto".

Tab. 4 – risultati della simulazione modellistica in corrispondenza delle stazioni di qualità del Tevere, in termini di concentrazioni e carichi transitori

Mese/Staz.	Portata (m3/s)	OD		BOD5		COD		NH3		NO2		NO3		N tot		P org		P dis		P tot		Coliformi			
		Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transigente (t/mese)	Stato di fatto (cfu/100ml)	Carico di transigente (cfu/100ml)		
1	4,4	11	1299	1,9	21,1	8,2	97,8	0,6	0,6	0,5	0,4	0,5	0,7	1,8	1,9	21,8	0,02	0,01	0,2	0,8	0,09	0,08	0,9	2,548	
	13,2	11,8	420	2,2	71,8	10,3	295,4	0,7	0,7	0,3	0,3	12,2	11,1	2,4	2,5	88,4	0,01	0,01	0,4	2,1	0,07	0,07	2,5	5,560	
	25,7	12,4	855,6	1,5	103,5	8,9	470,1	0,7	0,7	0,2	0,2	16,1	11,8	2,4	2,7	183,3	0,01	0,01	0,5	3	0,05	0,05	3,5	3,967	
	31,4	12,2	1027,7	1,5	129,2	11,4	633,0	0,4	0,6	0,1	0,2	17,3	13,9	2,6	2,9	242,1	0,01	0,01	0,7	3,7	0,04	0,05	4,4	4,617	
2	6,2	12,3	2031,3	3,6	34	13	9,9	1640,3	0,6	0,6	0,1	0,1	2,8	4,6	4,6	768	0,03	0,02	4,3	23,5	0,16	0,18	28,4	7,517	
	7,4	12,3	2420,3	2,4	2,5	489,2	10,6	9	1785,9	0,5	0,5	98,8	10,9	4,2	4,6	971,6	0,02	0,02	4,3	0,14	0,16	0,18	3,857		
	11,4	11,2	136	1,9	1,8	22,5	6,8	7,4	91,3	0,2	0,4	4,5	0,21	1,4	1,7	21	0,03	0,03	0,3	0,4	0,07	0,06	0,8	1,830	
	11,4	11,3	310,2	1,9	1,7	47,7	8,7	8,3	228,7	0,7	0,7	19,6	12,1	2,3	2,3	64,4	0,02	0,02	0,5	0,04	0,07	0,06	1,6	2,233	
3	17,4	11,8	118	2,6	109,2	11,6	7	294,7	0,8	0,8	34,5	11,2	49,2	1,9	2,6	110,6	0,02	0,02	0,9	2,5	0,07	0,08	3,3	2,267	
	21,2	11,5	116	1,4	72,1	9	6,5	331,6	0,8	0,8	42,5	1,4	1,4	2,8	4	145	0,03	0,03	1,5	0,05	0,08	0,09	4,4	2,300	
	42,6	11,5	116	2,3	254,3	9,2	7,3	753	0,4	0,4	141,3	2,4	2,4	3,9	4	412,3	0,03	0,03	3,3	0,14	0,17	0,19	19,1	1,967	
	52,3	10,8	106	4,3	536,2	14,5	10,2	1294,5	0,3	0,3	134,5	2,4	2,7	342,4	5,4	6,9	875,1	0,04	0,04	4,7	0,2	0,25	0,23	29,6	2,930
4	2,1	1,9	10,8	2	1,9	10,8	7	8,7	49,2	0,7	0,7	4,2	0,7	1,5	1,6	9,1	0,17	0,14	0,8	0,02	0,04	0,18	1	2,450	
	10,5	10,6	10,4	2,6	41,1	7,6	214,4	0,9	1,2	35,1	0,2	0,2	3,1	3,8	2	3,1	87,8	0,03	0,03	1	0,05	0,1	2,9	3,963	
	13,9	9,8	10	3,5	72,5	6,8	7,9	283	0,7	0,7	41,8	0,2	0,1	2,9	2,9	104,9	0,02	0,02	0,8	0,06	0,07	0,07	2,4	5,017	
	23,2	9,9	9,9	2	117,7	14	7,7	463,8	0,9	0,8	50	0,1	0,1	60,9	2,1	2,5	151	0,05	0,05	2,9	0,08	0,08	0,08	4,6	8,93
5	30	10,8	839,2	2	2,1	162,7	14,3	8,9	691,2	0,5	0,5	55,3	1,1	1,1	86,7	2	2,4	189,9	0,03	0,03	2,4	0,05	0,06	6,7	1,150
	59,2	9,9	9,8	3,7	560,8	11,8	11,4	1747,6	0,7	0,8	129	0,4	0,3	40,4	3,2	3,7	564,7	0,04	0,04	6,7	0,16	0,15	0,15	2,783	
	71,7	9,8	9,1	5,9	1693,8	5,9	6	1107,4	11,4	15	278,3	0,8	0,3	57,9	4,7	4,5	834,2	0,05	0,05	8,8	0,31	0,3	0,3	1,617	
	1,8	9,2	9,2	2,2	8,3	9,9	9,4	45,8	0,7	0,5	2,2	0,2	0,2	1,8	1,7	8,1	0,03	0,03	0,4	0,07	0,07	0,4	0,5		
6	6,7	9,1	162,8	3,7	3,2	57,7	6,9	18	322,5	0,8	0,8	1,4	24,9	0,3	0,2	3,1	55,9	0,05	0,05	0,8	0,15	0,14	2,5	10,163	
	12,1	9,3	302,2	2,9	3,3	78,5	8,6	13,6	359,9	1,3	1,2	30,9	0,2	0,2	6,1	0,16	0,22	5,8	1,2	0,16	0,18	4,7	20,813		
	4,1	10,9	9,1	2,1	22,4	6,7	10,7	116,8	0,5	0,7	8	0,1	0,1	1,4	0,3	3,3	7,9	0,07	0,07	1,9	0,1	0,15	4,9	3,968	
	4,7	7,8	97,6	2,1	2,2	27	9,1	11,2	140,7	1	1	12,6	0,1	1,1	1,9	2,9	3,7	89,1	0,03	0,03	3	0,1	0,15	2,6	1,946
7	5,2	8,4	111,6	2,9	36,8	9,9	14,5	200,2	1,1	1	14,2	0,1	1,1	3,9	3,6	49,3	0,04	0,04	0,5	0,1	0,14	0,22	3	1,539	
	5,8	8,1	8,2	2,2	34,1	10,5	13,6	210,4	0,7	0,7	14,9	0,3	4,4	2,9	3,4	336	0,05	0,05	2,6	0,06	0,17	0,17	2,6	1,850	
	9,2	7,8	7,9	3,8	93,8	16,5	14,2	350,5	1	0,9	22,6	0,1	0,3	7,1	1,9	46,8	0,05	0,05	1,3	0,23	0,22	5,4	4,835		
	10,9	8,2	7,9	5,6	130,3	11,4	15,5	453,3	0,9	0,9	25	0,2	0,4	10,4	4	11,6	20,5	0,07	0,06	1,8	0,09	0,21	6	1,13	
8	4,1	10,1	9,3	1,3	14	6,9	9,5	103	0,4	0,6	7	0,1	0,7	1,4	1,4	15	0,02	0,02	0,2	0,03	0,06	0,18	2,308		
	4,6	8,1	8,5	1,8	1,8	10,8	10,6	132	0,9	1,1	13,1	0,1	1,3	2,8	2,3	28,5	0,01	0,02	0,2	0,12	0,14	1,7	5,866		
	5,1	7,8	8,1	2,2	30	14,2	11,5	159,9	0,8	0,7	10	0,2	4,3	4,7	1,6	15,6	0,02	0,02	0,3	0,09	0,13	1,8	2,848		
	5,5	7,5	7,5	5,6	41,7	9,4	12,4	181,3	0,2	0,2	2,6	0,2	0,6	8,8	1,7	1,6	23,9	0,02	0,02	0,3	0,06	0,13	1,9	6,064	
9	10,9	7,3	7,1	3,8	39	103,4	15,8	14,1	375,1	0,4	0,4	11,1	0,3	3,2	84,5	0,05	0,05	1,4	0,23	0,26	0,28	8,3	5,363		
	13,8	6,5	6,4	4,3	158,2	14	17,1	633,2	1	1	35,7	0,3	10,3	10,3	4,5	165,6	0,06	0,06	2,1	0,13	0,27	9,8	4,409		
	3,1	9,4	9,1	1,8	14,6	7	11,2	88,9	1,2	1,5	12,1	0,2	1,3	0,3	0,27	2,2	2,2	20,8	0,02	0,02	0,1	0,08	0,08	0,6	4,563
	4,6	8,2	8,7	10,3	2,1	24,2	10,6	10,9	129,5	1,6	1,7	20,3	0,2	2,3	3,5	40,9	0,02	0,02	0,3	0,15	0,17	1,7	12,688		
10	5,1	8,9	9	1,9	1,8	23,3	13,1	10,5	138,4	1,2	1,4	18,2	0,1	0,1	1,5	1,3	42,6	0,02	0,02	0,3	0,13	0,14	1,9	3,025	
	5,6	8,6	8,5	124,2	1,7	16	24,1	14,9	9,9	144,6	0,5	1	15,3	0,1	1,1	22,2	0,38	0,38	5,5	1,9	0,22	0,22	0,4	2,588	
	11,7	8,7	8,7	262,2	2,7	2,8	85,1	10,9	12,3	373,7	0,6	0,8	25,1	0,2	0,2	6,8	0,32	0,21	6,3	2,2	1,9	56,1	5,683		
	15,7	8,4	8,6	349,1	3,2	3,2	129	13,1	14,6	592,6	0,8	0,8	31,1	0,1	4,9	38	0,45	0,45	18,1	2,3	2,2	89,5	7,88		
11	3,1	10	79,6	1,5	1,5	11,8	6,7	8,3	66,3	0,4	0,5	3,6	0,2	1,5	1,4	11,3	0,02	0,02	0,2	0,04	0,05	0,4	2,227		
	11,3	10,5	306,4	1,6	1,7	48,9	7,5	9,2	269,5	0,5	0,5	25,5	0,1	0,3	7,9	0,1	0,26	7,5	1,2	2,4	69,5	0,02	0,6	1,7	5,217
	16,4	10,3	10,4	441,1	1,8	1,5	65,1	14,2	9,3	397	0,7	0,7	29,6	0,1	0,3	13,6	0,07	0,07	28,4	1,2	1	44,5	2,903		
	19	10,5	10,6	521,4	1,4	1,3	64,5	13,8	9,1	445,4	0,7	0,5	25,9	0,1	0,3	16,6	0,22	0,22	10,8	2,4	2,3	157	3,557		
12	3,9	10	9,7	956,7	3	2,8	278,5	9,6	11	107,9	0,6	0,5	51,9	0,3	3,3	32,7	0,15	0,15	48,2	2,3	2,1	207,8	17,600		
	4,9	10,2	10	1266	3,7	3,7	468,3	8,1	11,4	1451,7	0,6	0,7	84,5	0,5	4,3	547,3	0,07	0,07	8,6	0,21	0,21	26,4	4,733		
	3,1	10,9	10,8	88,4	2,2	2,1	17,5	7,3	9,6	78,7	0,4	0,6	4,9	0,2	1,8	15	0,02	0,02	0,2	0,05	0,04	0,4	2,888		
	17	11	11,3	511,1	1,6	1,6	74,2	7,8	7,7	350,9	1,2	1,8	80,1	0,2	0,2	10,3	0,26	0,26	39,4	1	0,6	27,9	3,338		

L'elaborazione della precedente Tab. 4 ha consentito la stima dei carichi annui dei vari costituenti transitanti lungo l'asta del Tevere, che vengono rappresentati nel grafico seguente.

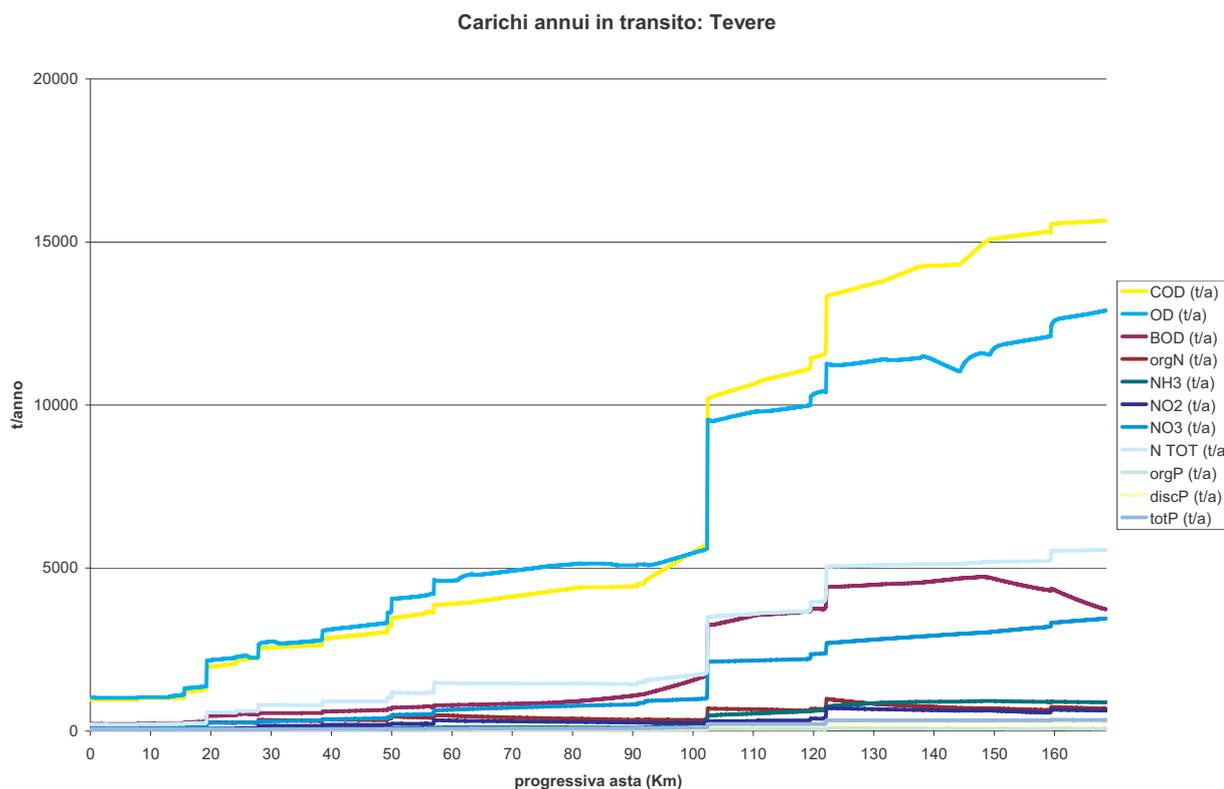


Fig. 25 – Carichi annui dei diversi costituenti transitanti alle stazioni di qualità

La Fig. 25 mostra come il valore dei carichi annui dei costituenti considerati cresca da monte verso valle, evidenziando in particolare come il contributo degli affluenti sia preponderante rispetto al fenomeno dell'autodepurazione. In particolare, se l'ingresso del Chiascio rappresenta una criticità in termini di carico soprattutto in considerazione dell'elevato volume d'acqua apportato, l'ingresso del Nestore, a valle di Marsciano, apporta un considerevole carico inquinante a causa non tanto della portata fluida quanto delle elevate concentrazioni dei costituenti simulati.

3.5 Il modello di qualità del fiume Chiascio

3.5.1 Schematizzazione su base annua

Il tratto di fiume Chiascio compreso tra l'invaso di Valfabbrica e la confluenza con il fiume Tevere è schematizzato tramite 7 reaches, ciascuno significativo di una porzione di corso d'acqua; i tratti intermedi sono stati appoggiati, ciascuno, ad una sezione trasversale nota, attraverso la quale è stato schematizzato il tratto corrispondente.

Come già descritto per la schematizzazione del Tevere, tutti i tratti sono stati discretizzati in elementi di 100 m, per complessivi 388 elementi.

Il tratto simulato presenta una lunghezza complessiva di circa 40 km. Lo schema adottato è riportato in Fig. 26.

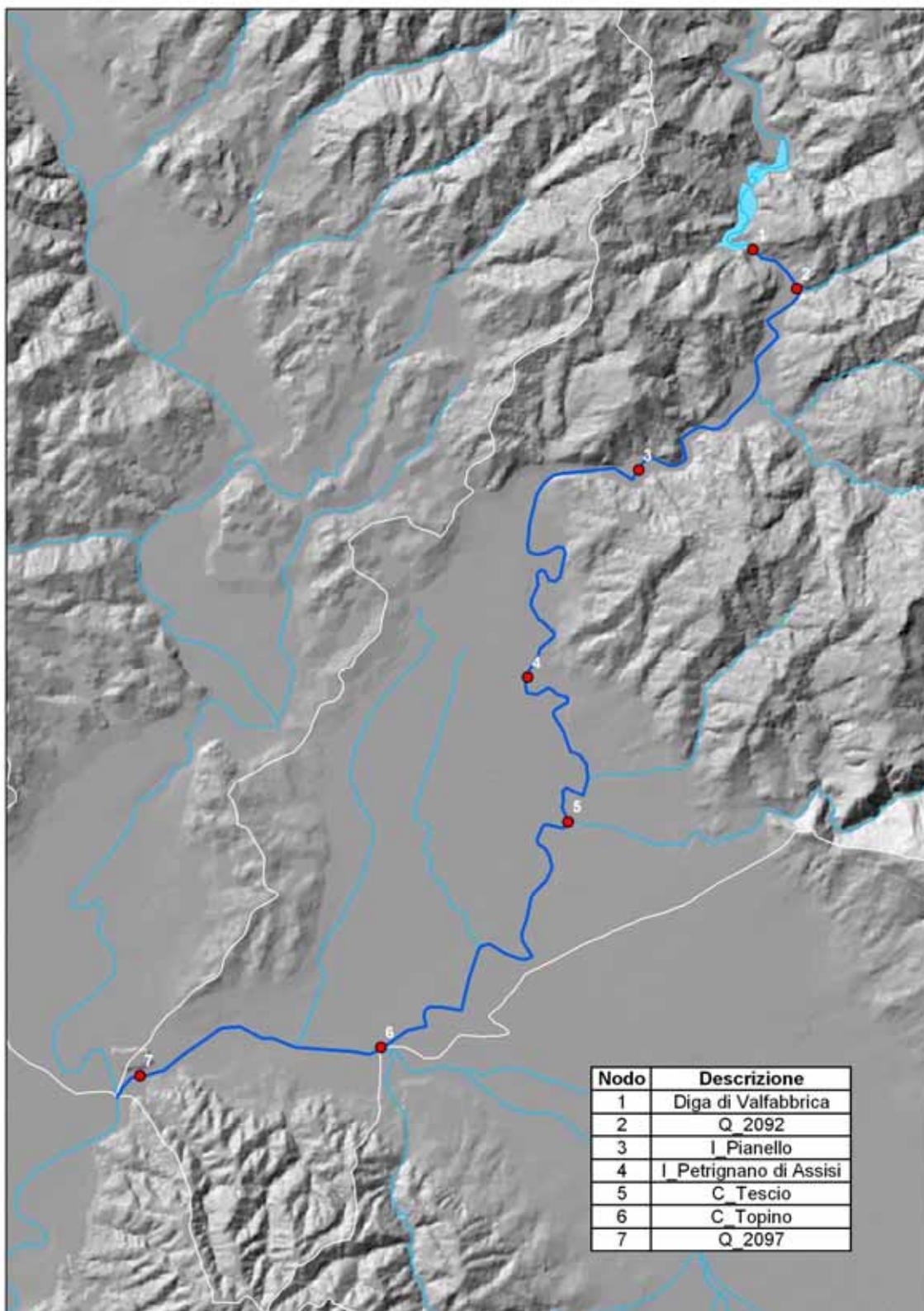


Fig. 26 - Layout del modello del Chiascio

La Tab. 5 riporta in sintesi la geometria adottata. Nella prima colonna compare un identificativo del tratto e la portata media annua in ingresso (m^3/s), quindi il progressivo del tratto, il nome o il codice della sezione trasversale corrispondente e le due lunghezze, parziale del reach e progressiva. Le ultime due colonne riportano infine le sorgenti significative, ossia quelle che forniscono un contributo sia in termini idraulici che di massa trasportata in soluzione, e le relative portate medie annue ricostruite.

Tab. 5 - Schema dei deflussi medi annui, delle lunghezze e delle sorgenti del Chiascio

Tratto e portata iniziale (m ³ /s)	Reach n°	Sezione	L [km]	L progr. [km]	Sorgenti	
					♥=torrenti ♣=depuratori ▲= flusso base	Q [m ³ /s]
Valfabbrica 3,75	1	Diga Valfabbrica	4,9	1,3 4,9	▲	0,27
	2	CH107	8,1	8,4 13,0	▲	0,45
	3	CH95	7,3	17,6 20,3	▲	0,4
	4	CH81	5,9	22,7 22,9 23,0 26,2	♥ Tescio ▲	0,59 0,33
	5	CH70	8,9	29,2 29,4 31,2 31,6 32,2 35,1	♥ Topino ♣ Costano ▲	8,54 0,14 0,49
	6	CH29	3,3	37,3 37,6 38,0	▲	0,18
	7	CH4	0,4	38,4 38,8	▲	0,02

Come descritto al paragrafo 3.2, sono state costruite 12 situazioni mensili, per ciascuna delle quali sono definite le concentrazioni dei costituenti oggetto di simulazione in corrispondenza di ciascun punto di ingresso di acqua nel sistema (Tab. 6).

Tab. 6 - Punti di carico applicati sull'asta del Chiascio e relative concentrazioni dei costituenti (valori medi annui)

n	Point load	DO (mg/l)	BOD5 (mg/l)	CI (mg/l)	COLI (cfu/100ml)	ORG N (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	ORG P (mg/l)
1	♥ Tescio	11,6	8,4	61,7	5.000	2,7	1,2	0,1	4,2	0,4
2	♣ Costano	10,5	10,3	102,9	5.983	3,3	1,6	0,2	4,1	0,4
3	♥ Topino	9,9	3,5	19,8	8.453	0,9	0,6	0,1	2,5	0,05

3.5.2 Taratura dei costituenti di qualità

Di seguito sono riportati i grafici di taratura dei costituenti simulati relativamente all'asta del Chiascio. In ciascun grafico l'insieme dei valori osservati (12 dati medi mensili del periodo 2000-2004 per 3 stazioni disponibili, ciascuna rappresentata con un colore diverso) è posto a confronto con i corrispondenti valori stimati tramite il modello.

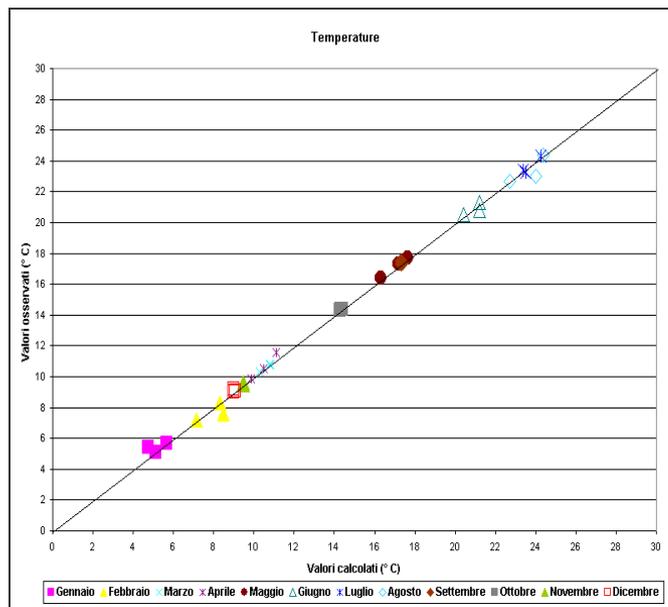


Fig. 27 - Taratura della temperatura sul Chiascio

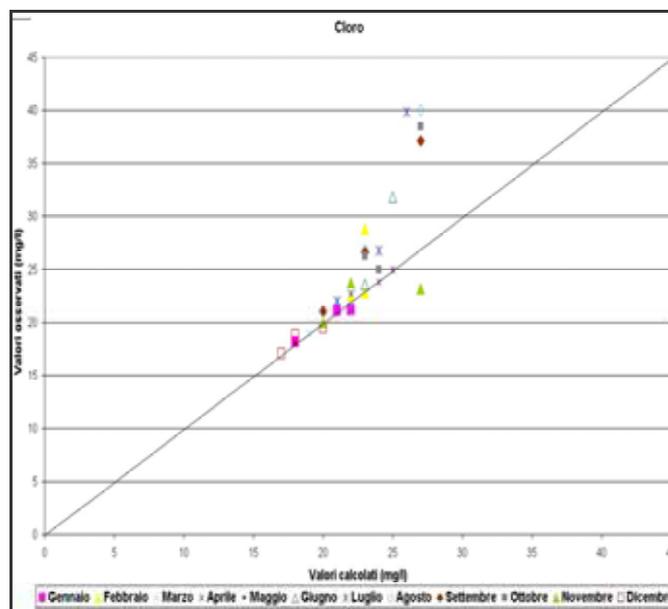


Fig. 28 – Taratura del cloro sul Chiascio

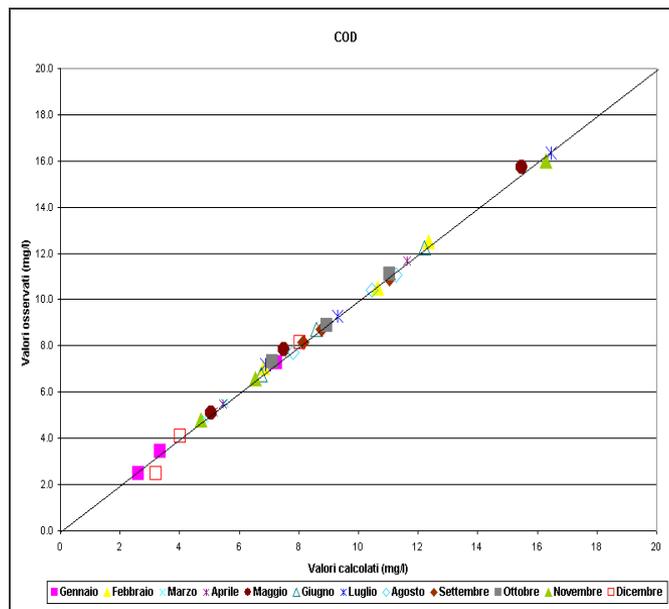


Fig. 29 - Taratura del COD sul Chiascio

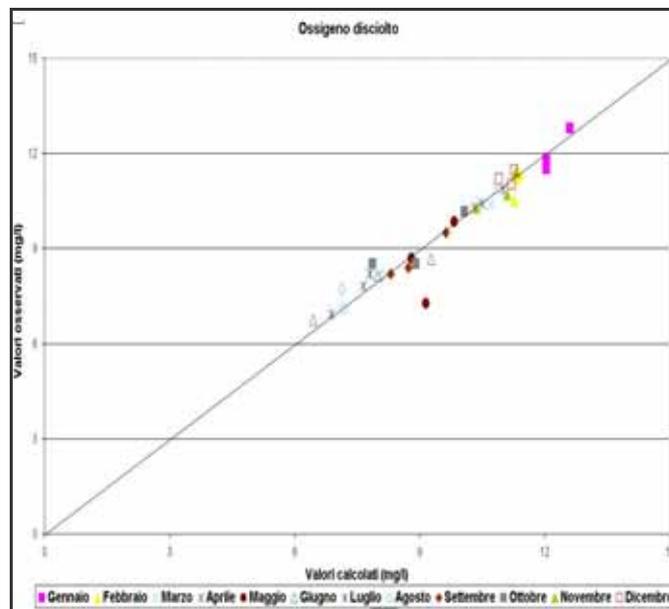


Fig. 30 – Taratura dell'ossigeno disciolto sul Chiascio

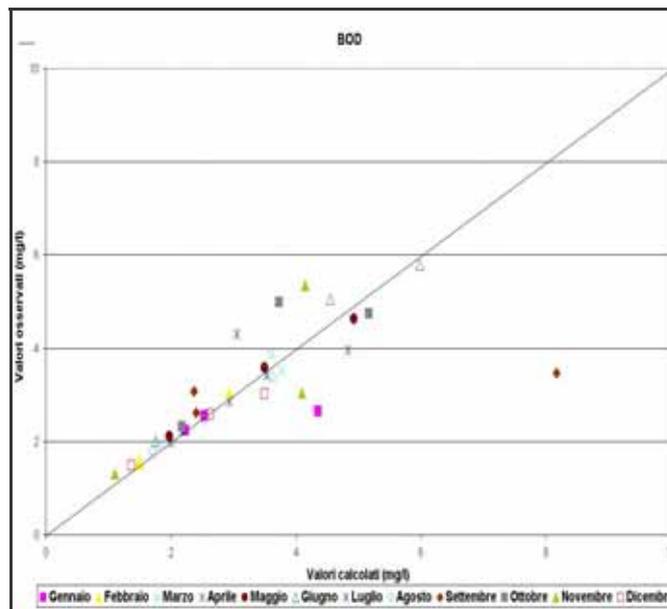


Fig. 31 - Taratura del BOD5 sul Chiascio

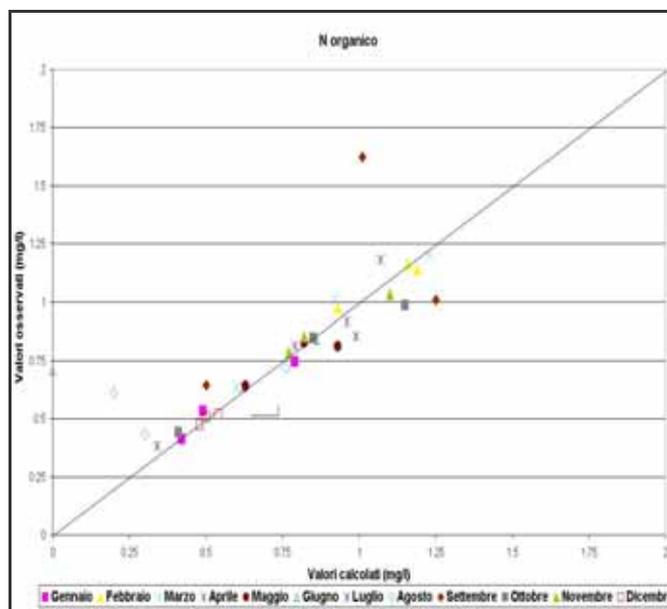


Fig. 32 - Taratura dell'azoto organico sul Chiascio

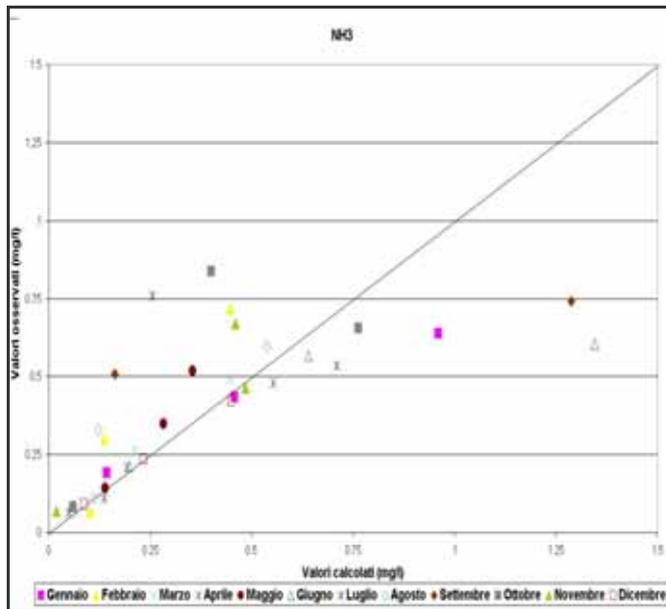


Fig. 33 - Taratura dell'ammoniaca sul Chiascio

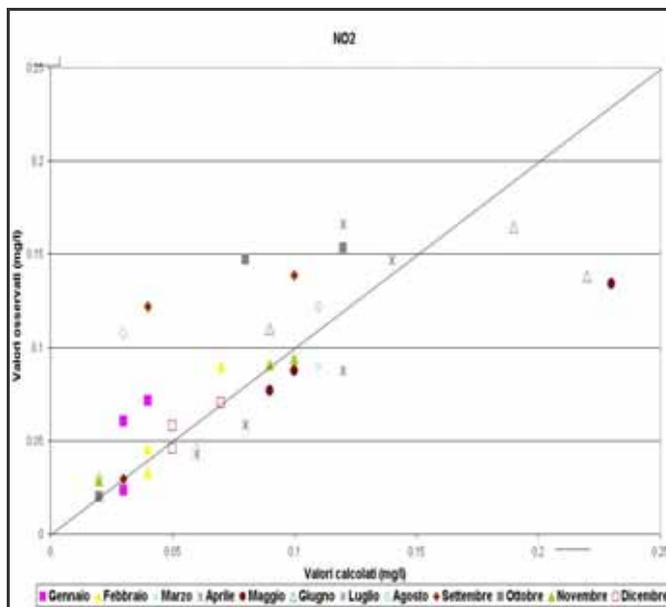


Fig. 34 - Taratura dei nitriti sul Chiascio

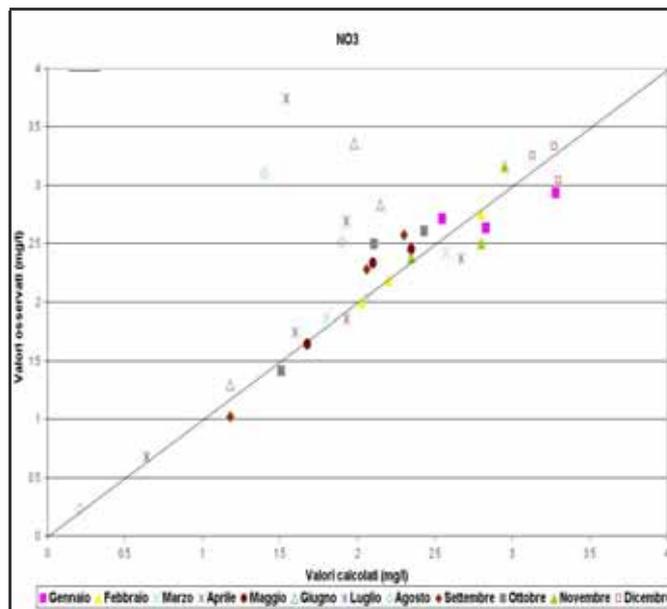


Fig. 35 - Taratura dei nitrati sul Chiascio

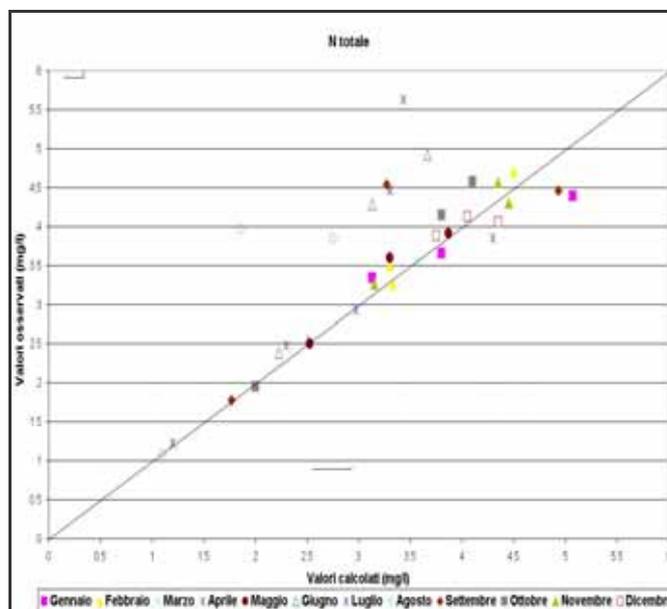


Fig. 36 - Taratura dell'azoto totale sul Chiascio

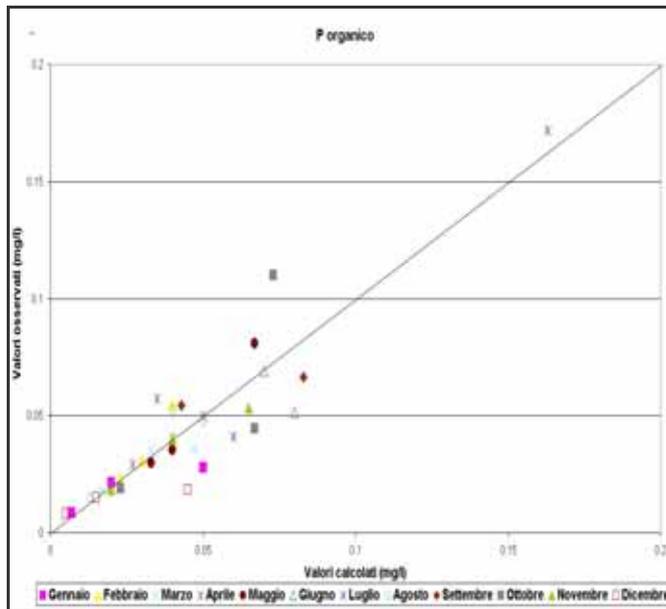


Fig. 37 - Taratura del fosforo organico sul Chiascio

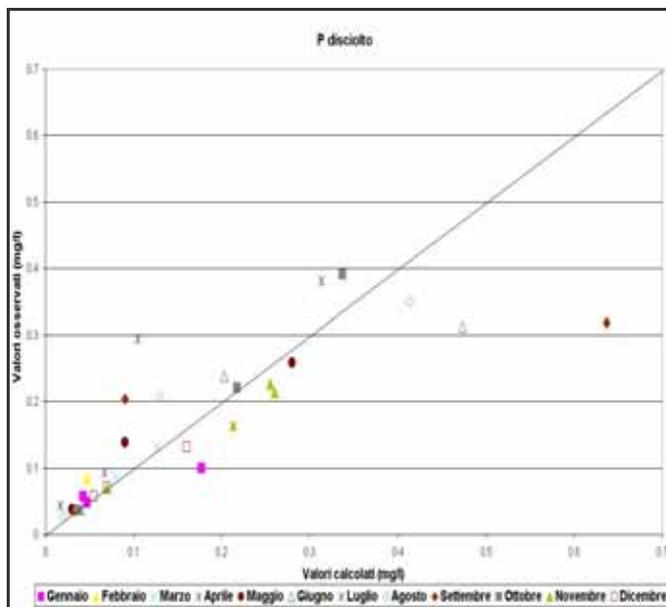


Fig. 38 - Taratura del fosforo disciolto sul Chiascio

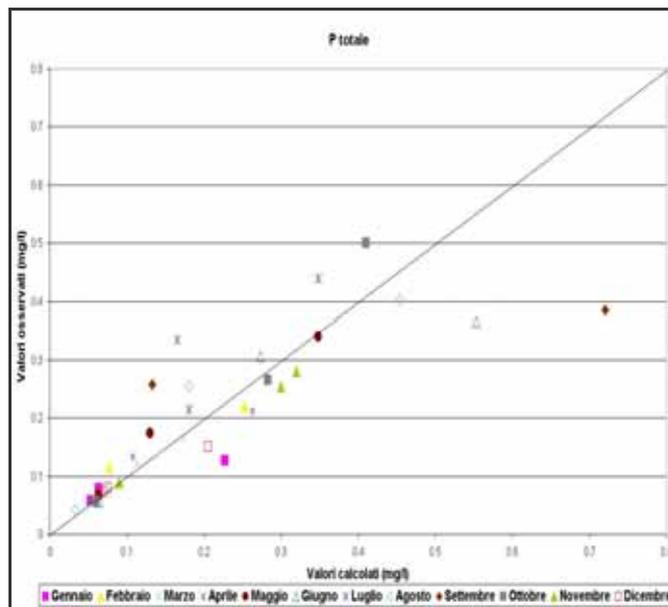


Fig. 39 - Taratura del fosforo totale sul Chiascio

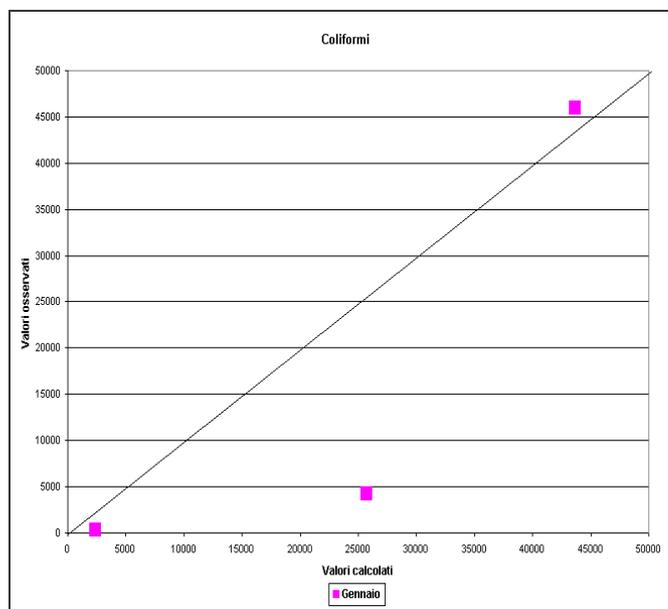


Fig. 40 - Taratura dei coliformi sul Chiascio

Come si riconosce dalla Fig. 41, che riporta le misure della dispersione ottenute per tutte le variabili considerate, la temperatura rappresenta la variabile meglio riprodotta (valore della dispersione prossimo a 1); tutti gli altri parametri mostrano una riproduzione dei valori accettabile, mentre i coliformi mostrano una performance minore.

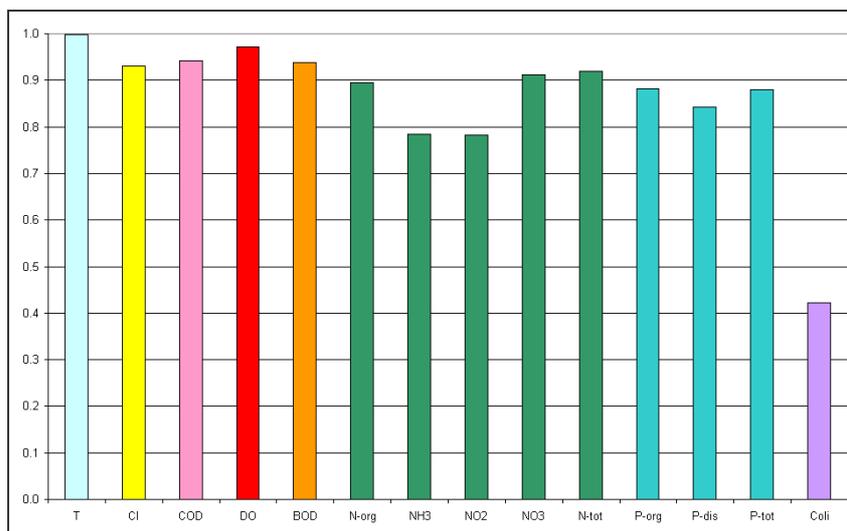


Fig. 41 - Sintesi della dispersione dei risultati in fase di taratura nel modello del Chiascio

Nella Tab. 7 è riportata la schematizzazione delle stazioni di qualità utilizzate per la modellazione dell'asta del Chiascio.

Tab. 7- Stazioni di qualità utilizzate per la simulazione dell'asta del Chiascio

Stazione	Nome Stazione	Codice Stazione
1	Stazione Barcaccia	CHS1
2	Ex passerella Segoloni	CHS2
3	A monte confluenza Tevere	CHS3

La Tab. 8 che segue riporta i risultati finali delle operazioni di taratura lungo l'asta del fiume Chiascio, in termini sia di concentrazioni che di carichi transitanti presso le stazioni di qualità, per ciascuno dei mesi dell'anno.

Nella terza colonna sono riportati i valori medi mensili di portata simulati attraverso il modello.

Per ciascun costituente, la colonna "osservato" riporta il valore medio delle concentrazioni rilevate nell'ambito delle attività di monitoraggio svolte da ARPA, ai sensi del D. Lgs. 152/99, nel periodo 2000-2004.

Nella colonna "Stato di fatto" sono riportate le corrispondenti concentrazioni simulate tramite il modello di qualità, mentre la colonna successiva, denominata "Carico transitante", riporta le tonnellate di costituente simulato che transitano mensilmente nella sezione, ottenute moltiplicando il valore di portata per il valore di concentrazione simulato, ossia quello desunto dalla colonna "Stato di fatto".

Tab. 8 - risultati della simulazione modellistica in corrispondenza delle stazioni di qualità del Chiascio, in termini di concentrazioni e carichi transittanti

Mese/Staz.	Portata (m3/s)	OD		BOD5		COD		NH3		NO2		NO3		N tot		P org		P dis		P tot		Coliformi											
		Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (cfu/100ml)	Carico di transitante (cfu/100ml)										
1	6.2	12.6	12.7	211.5	9.2	152.4	0.4	6.9	0.1	0.2	3.2	0.03	0.02	0.4	2.5	2.7	45.1	3.1	3.3	55.5	0.01	0.01	0.14	0.8	0.05	0.06	1	360	2.384	/			
	12.1	12	11.9	385.5	2.2	75.1	30.6	988.8	0.5	0.5	14.5	0.03	0.06	1.9	2.8	2.6	85.6	3.8	3.7	119.4	0.02	0.02	0.73	2	0.06	0.08	2.7	46.000	43.643	/			
	26.8	12	11.6	833.1	4.3	308.3	11.2	18.5	1329.2	0.8	0.7	65.6	0.04	0.09	6.4	3.3	3.2	228.7	5.1	4.9	354.3	0.05	0.05	3.84	12.4	0.23	0.23	16.3	4.300	25.690	/		
2	5	11.4	11.4	138.9	1.5	18.3	4.3	51.9	1.2	1.2	14.2	0.1	0.1	0.8	0.4	2	24.4	3.3	3.3	39.7	0.02	0.02	0.28	0.4	0.06	0.06	0.7	/	/	/			
	6.6	11.3	11.1	177	1.5	25.3	6.8	107.5	0.9	1	15.4	0.1	0.3	4.6	0.4	2.2	34.8	3.3	3.5	55.6	0.03	0.03	0.48	1.4	0.08	0.12	1.8	/	/	/			
	18.1	11.3	10.3	452.3	2.9	133.8	8.5	67	295.5	1.2	1.1	49.9	0.4	0.4	19.6	0.7	2.8	120.6	4.5	4.4	193	0.04	0.04	1.76	7.1	0.25	0.2	8.9	/	/	/		
3	5.3	10.8	11	156.7	1.8	28.4	5.8	81.2	0.6	0.6	9.1	0.1	0.1	0.9	0.3	1.8	19	26.6	2.5	2.6	37.1	0.02	0.02	0.26	0.5	0.05	0.05	0.8	/	/	/		
	9.3	10.7	10.4	258.4	3.8	87.7	8.6	213.1	1.2	1.2	30	0.2	0.3	6.6	0.06	2.1	50.9	3.6	3.6	88.8	0.03	0.04	0.88	2.2	0.11	0.12	3	/	/	/			
	21.8	10.4	10.4	608.6	3.6	225.5	10.4	87	509.4	0.9	1	59.9	0.4	0.5	28.8	0.11	2.5	148.2	4	4.1	241.8	0.05	0.04	2.6	7.7	0.17	0.18	10.3	/	/	/		
4	6.1	11	11	173.8	2	31.1	4.7	73.9	0.6	0.6	10	0.1	0.1	1	0.03	1.6	27.5	2.3	2.5	39	0.03	0.03	0.46	0.6	0.07	0.06	1	/	/	/			
	11.6	10.5	10.5	318.3	2.9	86.5	10	9.9	299.8	0.8	0.8	24.7	0.2	0.2	6.2	0.06	1.9	56.1	3	2.9	88.3	0.04	0.04	1.24	2.8	0.11	0.13	4.1	/	/	/		
	26	10.3	10.3	693.7	4.8	315.8	11	9.8	661	1	0.9	61.8	0.6	0.5	32.3	0.12	2.6	177.5	4.3	4.1	279.4	0.05	0.05	3.36	13.3	0.26	0.25	16.7	/	/	/		
5	3.8	9.8	10	101.4	2	21	7.6	7.5	76.3	0.6	0.6	6.5	0.1	0.1	1.5	0.09	1.7	16	2.5	2.5	25.4	0.03	0.03	0.3	0.4	0.06	0.07	0.7	/	/	/		
	4.5	8.8	8.6	104.4	3.5	36	43.4	12	11.9	144.6	0.8	0.8	10.1	0.3	0.3	4.1	0.1	2.3	3.6	3.6	43.4	0.04	0.04	0.43	1.7	0.13	0.17	2.1	/	/	/		
	13.2	9.1	7.3	255.6	4.9	46	163.2	18	18	634.1	0.9	0.9	32.3	0.4	0.4	13.9	0.23	2.4	84.3	3.9	3.9	137.2	0.07	0.07	2.55	9	0.35	0.33	11.6	/	/	/	
6	2.5	9.3	8.8	57.6	1.8	2	13.2	8.2	53.5	0.8	0.8	5	0.2	0.2	1.4	0.09	1.2	8.5	2.2	2.4	15.6	0.02	0.02	0.13	0.2	0.06	0.06	0.4	/	/	/		
	3.1	6.4	6.7	53.5	6	5.8	45.9	17.6	17.3	137.2	0.9	0.8	6.6	0.6	0.6	4.7	0.19	2	3.3	3.7	4.9	38.8	0.07	0.07	0.55	2.2	0.27	0.31	2.5	/	/	/	
	8.8	8	8	183.5	4.6	4.3	98.7	19.7	19	434	0	0.4	9.8	1.3	1.3	29.8	0.22	2.2	54	3.1	4.5	102	0.08	0.07	1.68	10.5	0.55	0.53	12.1	/	/	/	
7	1.6	7.8	8.1	35.7	2.2	2.2	9.8	11.4	11.3	49.7	0.3	0.4	1.7	0.1	0.1	0.5	0.08	0.6	0.7	3	1.2	1.2	5.5	0.16	0.17	0.76	0.2	0.18	0.22	1	/	/	/
	2	6.9	6.9	38.1	3.5	3.4	18.7	20	19.8	108.5	1.1	1.2	6.5	0.7	0.5	2.9	0.12	3.8	20.6	3.4	5.6	30.9	0.06	0.04	0.22	1.6	0.17	0.34	1.8	/	/	/	
	5.8	7.7	7.8	121.6	3	3	46.6	15.7	15	233.1	1	0.9	13.3	0.3	0.8	11.8	0.14	1.9	2.1	3.2	3.8	59.4	0.04	0.06	0.89	4.9	0.35	0.37	5.8	/	/	/	
8	1.8	8.1	8.1	38.7	1.7	1.8	8.7	10.4	10.3	49.5	0.8	0.7	3.5	0.1	0.1	0.5	0.02	0.2	1.1	1.1	1.1	5.2	0.01	0.01	0.07	0.1	0.03	0.04	0.2	/	/	/	
	2.2	7.2	7.3	43.5	2.5	2.5	14.6	11.3	11.3	66.8	0.3	0.4	2.6	0.1	0.3	2	0.03	1.4	2.9	17.3	1.9	3.8	22.6	0.05	0.05	0.3	1.2	0.18	0.26	1.5	/	/	/
	6.3	7.1	7.7	129.8	3.6	3.4	57	16.3	10	168.4	0.2	0.3	5.4	0.5	0.5	7.9	0.11	1.8	30.2	2.8	2.7	45.4	0.04	0.05	0.89	6.9	0.45	0.46	7.8	/	/	/	
9	2.4	9.6	9.5	59.6	2.4	2.6	16.5	10.9	11	69.2	0.5	0.6	4.1	0.1	0.1	0.5	0.03	1.2	1	6.4	1.8	11.2	0.02	0.02	0.12	0.2	0.06	0.06	0.4	/	/	/	
	2.9	8.3	8.2	62.6	2.4	3.1	23.9	14.3	14.4	109.8	1	1.6	12.4	0.2	0.5	4	0.04	2.1	2.3	17.4	3.3	4.5	34.7	0.04	0.05	0.41	1.6	0.13	0.26	2	/	/	/
	8.5	8.7	8.3	182.7	8.2	7.5	164.5	18.7	15	329.6	1.3	1	22.1	1.3	1.2	26.1	0.1	2.4	5.3	2.4	4.8	106.1	0.08	0.07	1.46	14.1	0.72	0.71	15.5	/	/	/	
10	2.4	10.1	10.2	64.1	2.2	2.3	14.6	35.3	35.3	222.4	0.4	0.4	2.8	0.1	0.1	0.5	0.02	1.5	1.4	8.9	2	2	12.3	0.02	0.02	0.06	0.4	0.06	0.06	0.4	/	/	/
	2.9	7.9	8.5	65.3	5.2	4.7	36.3	15.3	15.3	117.4	0.9	0.9	6.5	0.8	0.6	5	0.08	2.1	2.5	19.2	3.8	4.1	31.8	0.07	0.04	0.34	1.7	0.28	0.26	2	/	/	/
	8.2	8.9	8.6	188.8	3.7	3.6	80.3	12	15.3	337.3	1.1	1.1	24	0.4	0.6	12.6	0.12	2.4	2.6	56.5	4.1	4.3	95.3	0.07	0.08	1.86	7.3	0.41	0.42	9.2	/	/	/
11	3.8	11.3	11.4	112.7	1.1	1.3	12.9	4.5	4.5	44.4	0.8	0.8	7.8	0.7	0.7	0.7	0.02	2.3	2.4	23.5	3.2	3.3	32.2	0.02	0.02	0.18	0.7	0.09	0.09	0.9	/	/	/
	5.7	11.1	10.7	159.4	4.1	3	4.5	11	10.9	162.5	0.8	0.9	12.8	0.5	0.5	6.9	0.09	3	3.2	47.1	4.3	4.6	68.1	0.04	0.04	0.6	3.2	0.3	0.26	3.8	/	/	/
	14.6	10.4	10.3	388.8	4.2	4.4	167.1	11.5	11.1	417.7	1.1	1.1	40.8	0.5	0.7	25.6	0.1	2.7	101.1	4.4	4.5	170.9	0.06	0.07	2.53	10	0.32	0.33	12.5	/	/	/	
12	4.9	11.3	11.4	149.5	1.4	1.5	19.4	5.3	5.3	68.8	0.5	0.5	6.2	0.1	0.1	1.2	0.05	3.1	3.3	42.5	3.8	3.9	50.7	0.01	0.01	0.2	0.5	0.07	0.07	1	/	/	/
	11.5	11.2	11	338.4	2.6	2.6	79.8	7.5	7.4	228.6	0.5	0.5	15.5	0.2	0.3	7.8	0.05	3.3	3.3	102.7	4.1	4.1	127.4	0.005	0.01	0.29	2.2	0.08	0.08	2.5	/	/	/
	23.2	10.9	11.1	693.6	3.5	3.4	210.1	8.7	7.6	471.7	0.5	0.5	29.9	0.4	0.8	50.7	0.07	3.3	3.3	204.9	4.3	4.7	292.2	0.05	0.04	2.49	9.9	0.2	0.2	12.4	/	/	/

L'elaborazione della precedente Tab. 8 ha consentito la stima dei carichi annui dei vari costituenti transitanti lungo l'asta del Chiascio, che vengono rappresentati nel grafico seguente.

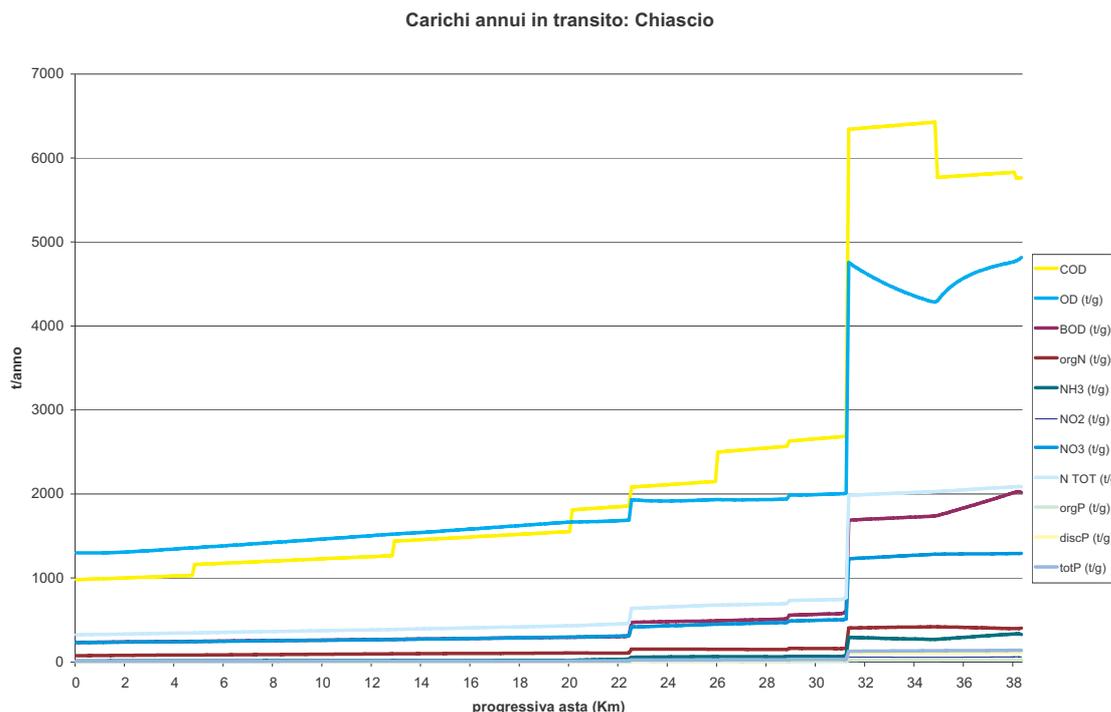


Fig. 42 - Carichi annui dei diversi costituenti transitanti alle stazioni di qualità

Il grafico di Fig. 42 evidenzia come i carichi aumentino in maniera contenuta lungo l'asta, mentre l'ingresso del Topino comporta un significativo e repentino aumento di carico; come si evince dalla lettura della Tab. 8 ciò è spesso dovuto, oltre all'aumentata portata, anche alle elevate concentrazioni di inquinanti veicolati dal Topino.

3.6 Il modello di qualità del fiume Topino

3.6.1 Schematizzazione su base annua

Il tratto del fiume Topino oggetto di simulazione è compreso tra la località Nocera Le Case e la confluenza con il fiume Chiascio.

Tale tratto è schematizzato tramite 11 reaches di diverse lunghezze; anche in questo caso, come nei precedenti, ogni reach è discretizzato in elementi di 100 m, per un totale di 456 elementi. Lo schema adottato è riportato in Fig. 43.

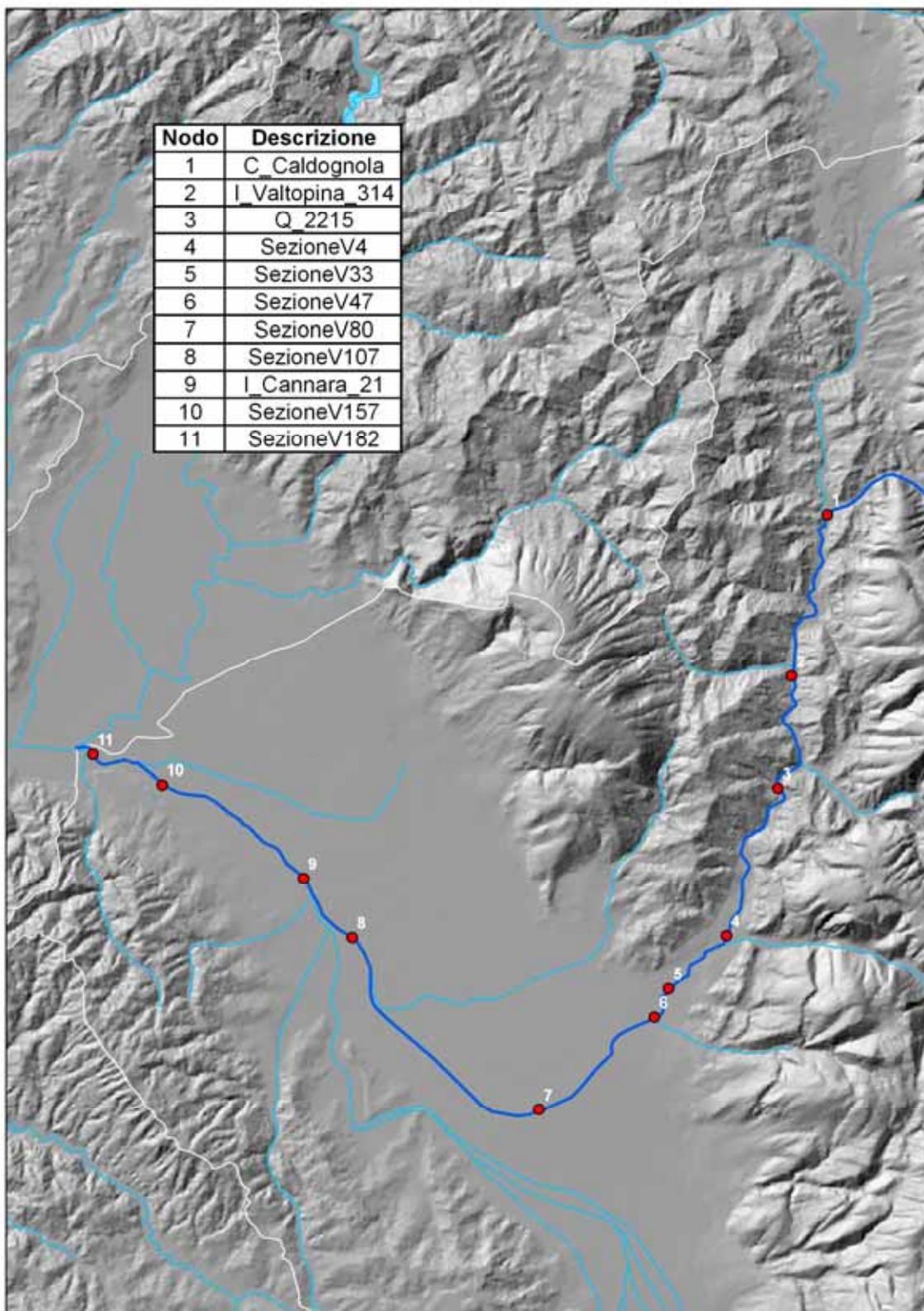


Fig. 43 - Layout del modello del Topino

La Tab. 9 riporta in sintesi la geometria adottata: nella prima colonna compare un identificativo del tratto e la portata media annua in ingresso (m^3/s), quindi il progressivo del tratto, il nome o il codice della sezione trasversale corrispondente (i codici sono quelli derivati dai rilievi topografici del Consorzio della Bonificazione Umbra) e le due lunghezze, parziale del reach e progressiva lungo l'asta. Le ultime due

colonne riportano invece le sorgenti significative, ossia quelle che forniscono un contributo sia in termini idraulici che di massa trasportata in soluzione, con le relative portate medie annue ricostruite.

Tab. 9 - Schema dei deflussi medi annui, delle lunghezze e delle sorgenti del Topino

Portata iniziale (m ³ /s)	Reach	Sezione	L [km]	L progr. [km]	Sorgenti	
					▼=torrenti ✱=depuratori ▲= flusso base	Q [m ³ /s]
Nocera Le Case 0,98	1	M23	1,6	1,62	▲	0,07
	2	M79	6,5	1,66 8,15	▼ Caldognola ▲	1,5 0,03
	3	M116	4,4	12,5	▲	0,02
	4	V4	6,1	12,6 18,6	▲	0,03
	5	V33	3,3	18,7 21,9	▼ Menotre ▲	0,9 0,02
	6	V47	3,7	25,5 25,6	▲	0,02
	7	V80	8,4	34,1	▲	0,04
	8	V107	2,7	36,7	▼ Chiona ▲	1,5 0,01
	9	V123	2,2	39,0	▼ Timia ▲	3,8 0,01
	10	V157	4,0	39,5 43,0	✱ Cannara ▲	0,014 0,02
	11	V182	2,7	43,2 44,6 45,6	▼ Ose ▲	1,2 0,01

Come descritto al paragrafo 3.2, sono state costruite 12 situazioni mensili, per ciascuna delle quali sono definite le concentrazioni dei costituenti oggetto di simulazione in corrispondenza di ciascun punto di ingresso di acqua nel sistema (Tab. 10).

Tab. 10 - Punti di carico applicati sull'asta del Topino e relative concentrazioni dei costituenti (valori medi annui)

n	Point load	DO (mg/l)	BOD5 (mg/l)	CI (mg/l)	ORG N (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	ORG P (mg/l)	DIS P (mg/l)
1	▼ Caldognola	3,1	1,3	17,3	1,14	0,03	0,02	1,60	0,03	0,01
2	▼ Menotre	7,1	0,9	8,6	1,63	0,05	0,01	0,85	0,04	0,01
3	▼ Chiona	7,6	1,2	22,1	1,37	0,33	0,15	1,82	0,08	0,54
4	▼ Timia	9,6	3,7	19,8	1,25	1,07	0,09	4,00	0,05	0,28
5	▼ Ose	6,2	3,1	41,6	1,36	1,39	0,26	3,90	0,14	0,60
6	✱ Cannara	3,6	10,8	46,3	0,20	2,99	0,10	0,40	0,20	0,10

3.6.2 Taratura dei costituenti di qualità

Di seguito sono riportati i grafici di taratura dei costituenti simulati lungo l'asta del Topino. In ciascun grafico l'insieme dei valori osservati (12 dati medi mensili del periodo 2000-2004 per 3 stazioni disponibili, ciascuna rappresentata con un colore diverso) è posto a confronto con i corrispondenti valori stimati tramite il modello.

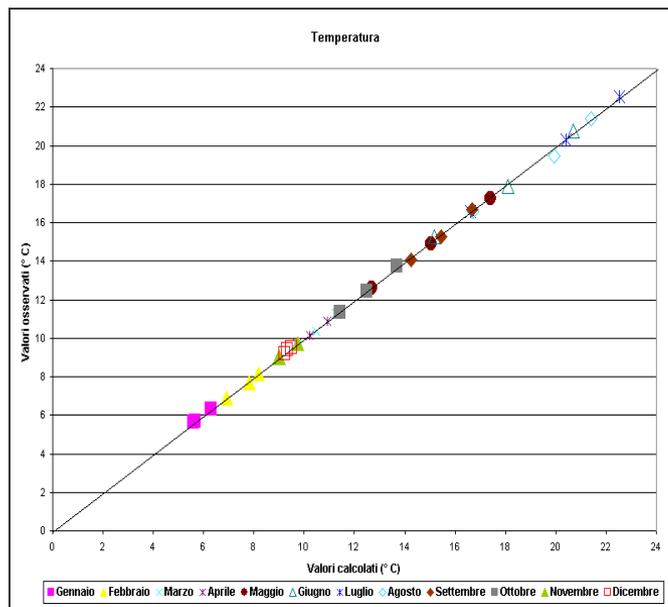


Fig. 44 - Taratura della temperatura sul Topino

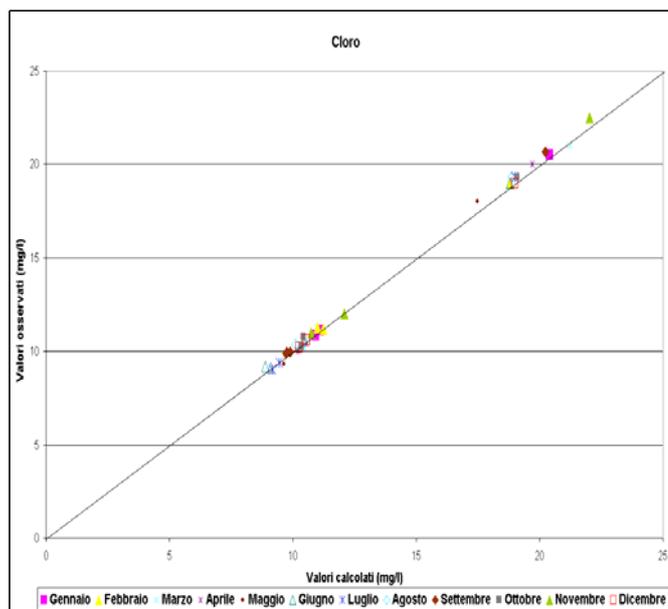


Fig. 45 - Taratura del cloro sul Topino

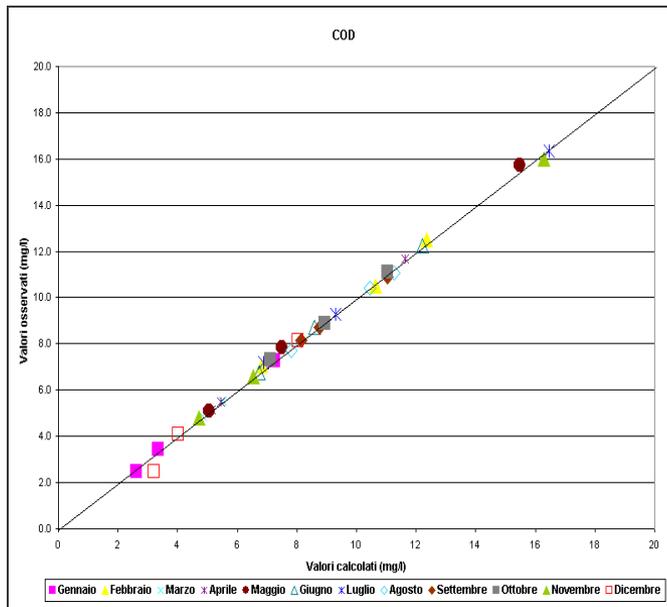


Fig. 46 - Taratura del COD sul Topino

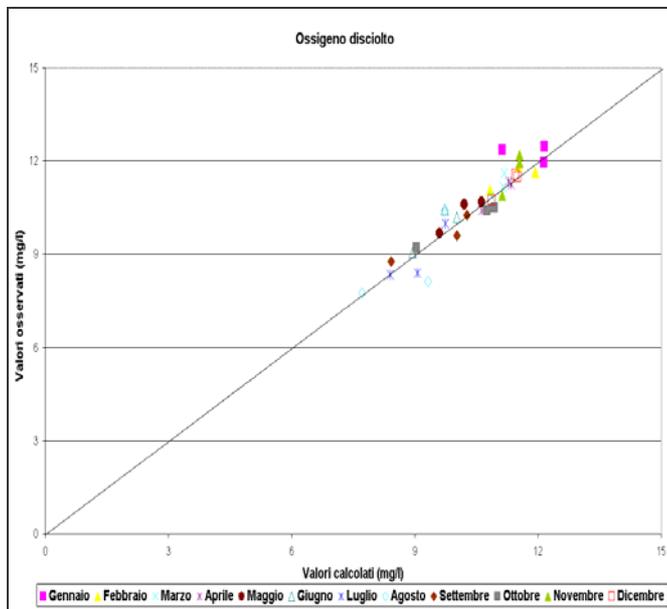


Fig. 47 - Taratura dell'ossigeno disciolto sul Topino

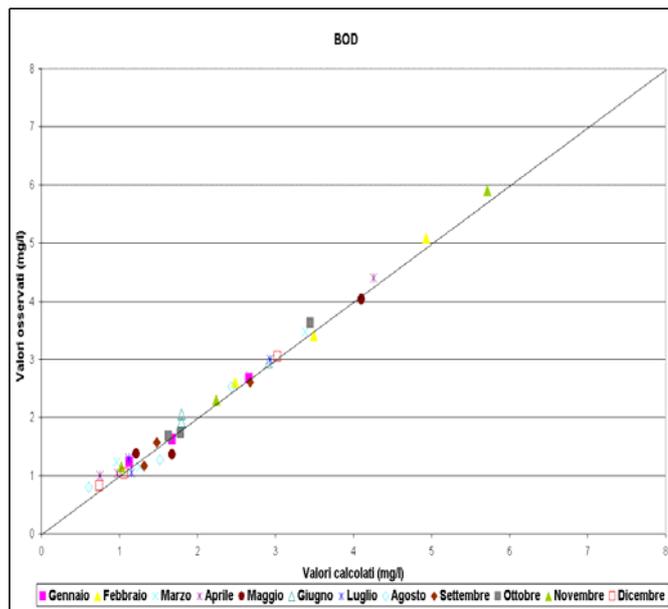


Fig. 48 - Taratura del BOD5 sul Topino

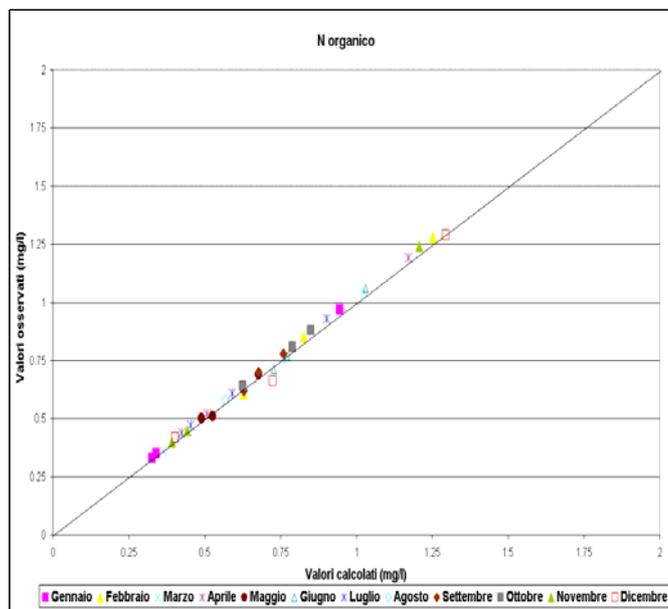


Fig. 49 - Taratura dell'azoto organico sul Topino

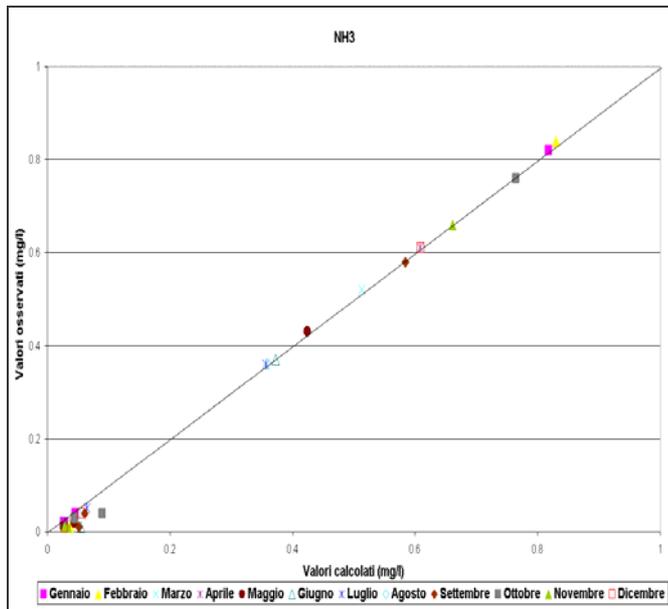


Fig. 50 - Taratura dell'ammoniaca sul Topino

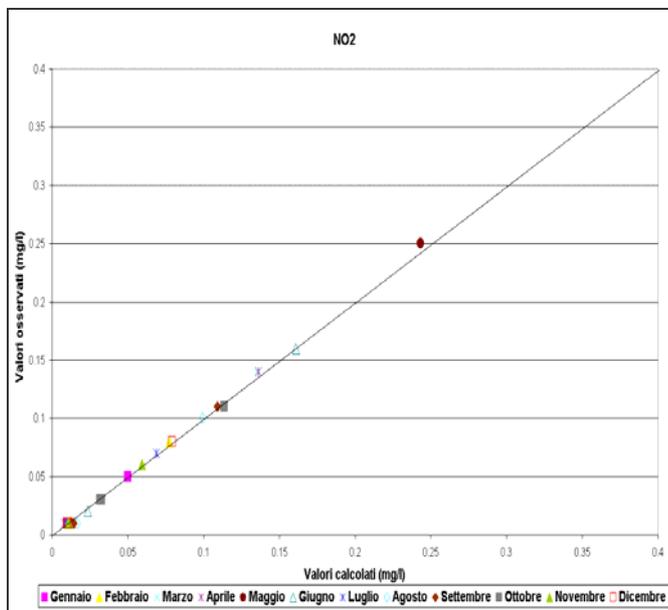


Fig. 51 - Taratura dei nitriti sul Topino

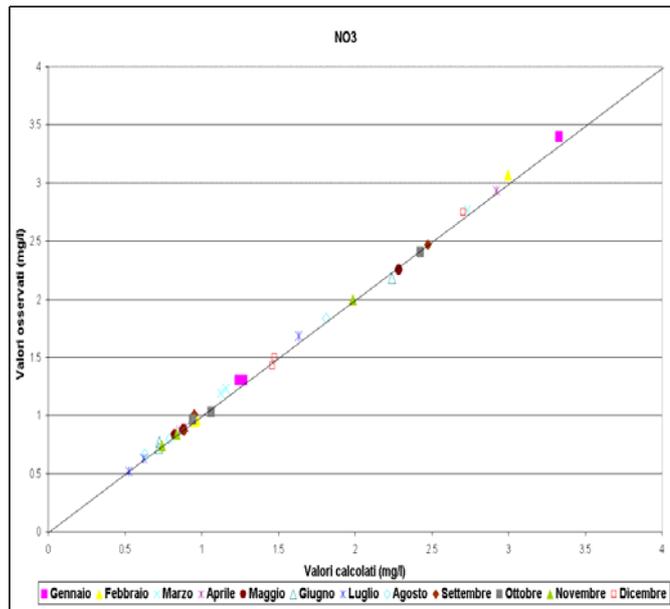


Fig. 52 - Taratura dei nitrati sul Topino

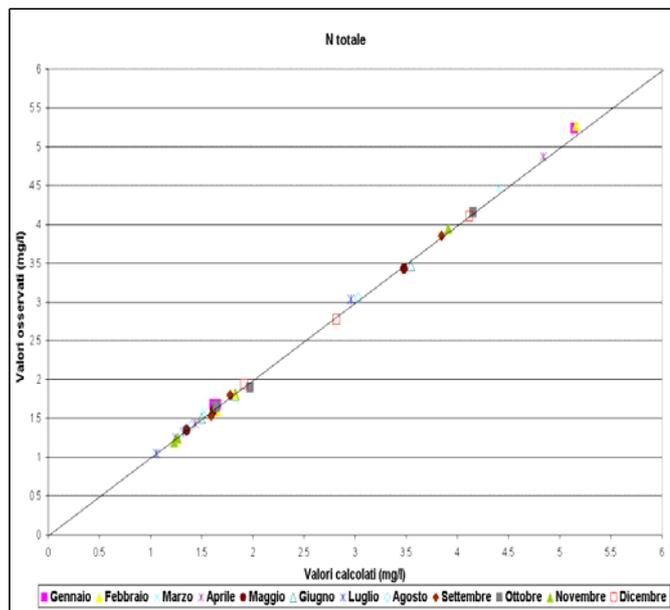


Fig. 53 - Taratura dell'azoto totale sul Topino

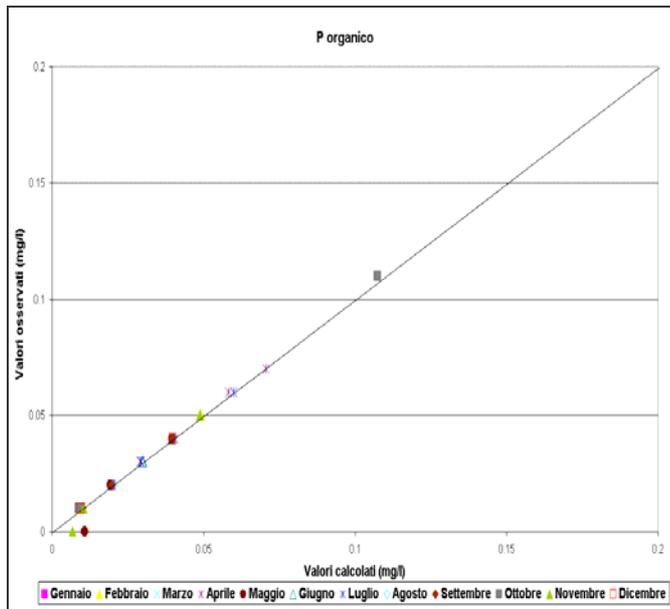


Fig. 54 - Taratura del fosforo organico sul Topino

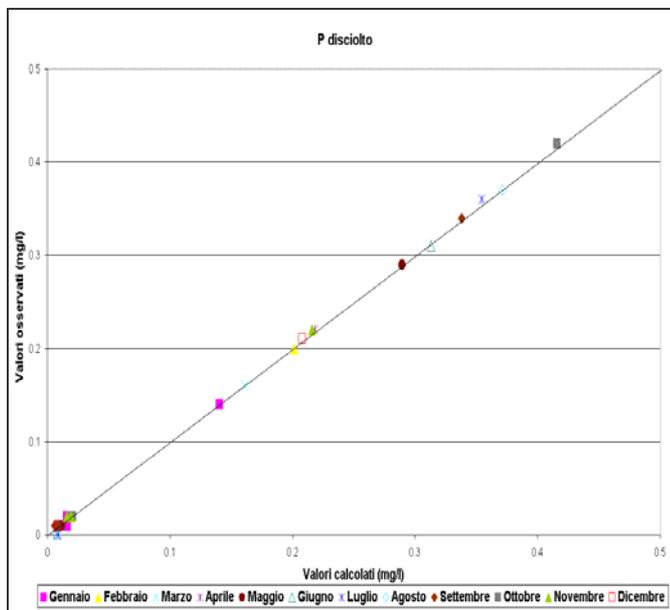


Fig. 55 - Taratura del fosforo disciolto sul Topino

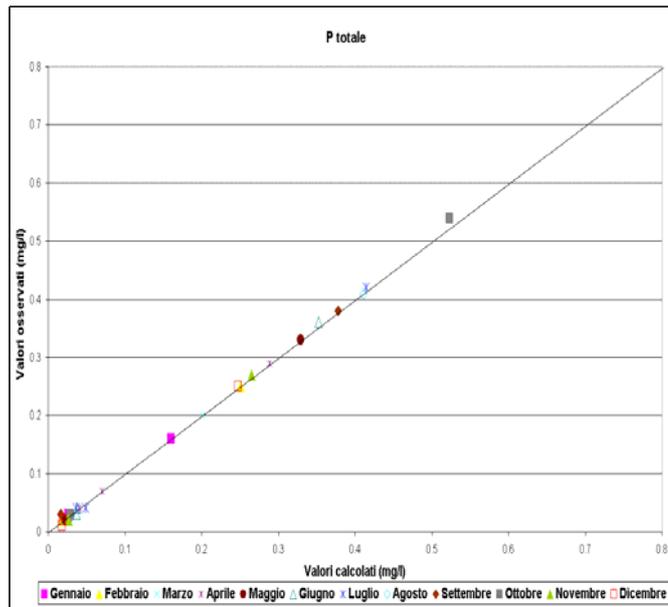


Fig. 56 - Taratura del fosforo totale sul Topino

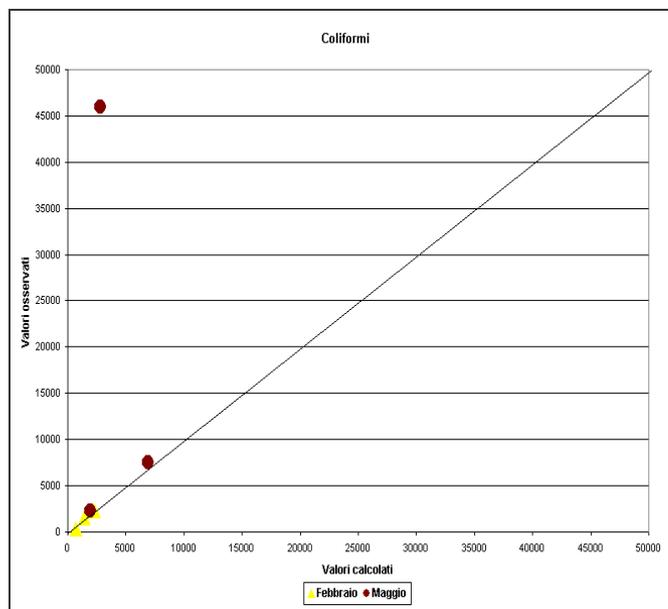


Fig. 57 - Taratura dei coliformi sul Topino

Come si riconosce dalla Fig. 58, che riporta le misure della dispersione ottenute per tutte le variabili considerate, la riproduzione può essere considerata accettabile per tutte le variabili considerate, salvo che per l'ammoniaca e i coliformi.

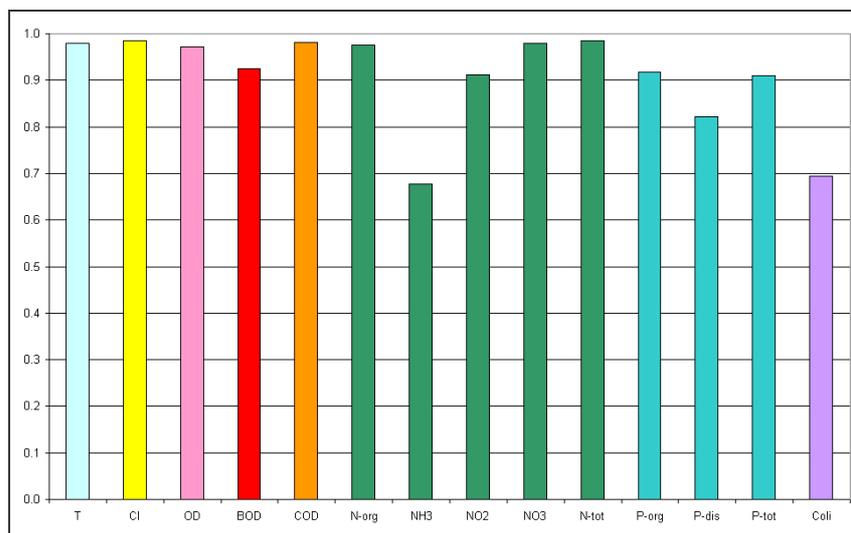


Fig. 58 - Sintesi della dispersione dei risultati in fase di taratura nel modello del Topino

Nella Tab. 11 è riportata la schematizzazione delle stazioni di qualità utilizzate per la modellazione dell'asta del Topino.

Tab. 11 - Stazioni di qualità utilizzate per la simulazione dell'asta del Topino

Stazione	Nome Stazione	Codice Stazione
1	A monte di Foligno, Capodacqua	TOP1
2	A valle di Foligno, Corvia	TOP2
3	Passaggio di Bettona	TOP3

La Tab. 12 che segue riporta i risultati finali delle operazioni di taratura lungo l'asta del fiume Chiascio, in termini sia di concentrazioni che di carichi transitanti presso le stazioni di qualità, per ciascuno dei mesi dell'anno.

Nella terza colonna sono riportati i valori medi mensili di portata simulati attraverso il modello.

Per ciascun costituente, la colonna "osservato" riporta il valore medio delle concentrazioni rilevate nell'ambito delle attività di monitoraggio svolte da ARPA, ai sensi del D. Lgs. 152/99, nel periodo 2000-2004.

Nella colonna "Stato di fatto" sono riportate le corrispondenti concentrazioni simulate tramite il modello di qualità, mentre la colonna successiva, denominata "Carico transitante", riporta le tonnellate di costituente simulato che transitano mensilmente nella sezione, ottenute moltiplicando il valore di portata per il valore di concentrazione simulato, ossia quello desunto dalla colonna "Stato di fatto".

Tab. 12 - risultati della simulazione modellistica in corrispondenza delle stazioni di qualità del Topino, in termini di concentrazioni e carichi transistanti

Mese/Staz.	Portata		OD		BOD5		COD		N org		NH ₃		NO ₂		NO ₃		N tot		P org		P dis		P tot		Coliformi												
	(m ³ /s)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)	Osservato (mg/l)	Carico di transitante (t/mese)	Stato di fatto (mg/l)						
1	3.5	12	114.2	1.2	1.1	10.6	3.4	3.3	31.5	0.4	0.3	3.2	0.02	0.03	0.25	0.01	0.01	0.09	1.3	1.2	11.7	1.7	1.6	15.2	0.01	0.01	0.09	0.02	0.02	0.15	0.03	0.03	0.24	/	/	/	
2	4.5	12.5	146.9	1.6	1.7	20.2	2.5	2.6	31.5	0.3	0.3	3.9	0.04	0.05	0.55	0.01	0.01	0.12	1.3	1.3	15.4	1.7	1.7	20	0.01	0.01	0.12	0.02	0.02	0.2	0.02	0.03	0.31	/	/	/	
3	13.4	12.4	399.7	2.7	2.7	95.5	7.3	7.2	259.8	1	0.9	33.9	0.82	0.82	29.35	0.05	0.05	1.79	3.4	3.3	119.6	5.2	5.1	184.6	0.02	0.02	0.71	0.14	0.14	5.05	0.16	0.16	5.75	/	/	/	
1	2.9	11.6	82.6	2.6	2.5	17.2	7.1	6.8	47.2	0.9	0.8	5.7	0.01	0.04	0.26	0.01	0.01	0.08	1	1	6.6	1.8	1.8	12.7	0.01	0.01	0.06	0.01	0.01	0.06	0.02	0.02	0.12	1.500	1.428	/	
2	3.8	11.8	105.4	5.1	4.9	45.1	12.5	12.4	113.1	0.6	0.6	5.7	0.02	0.05	0.43	0.01	0.01	0.1	1	1	8.8	1.6	1.7	15.1	0.01	0.01	0.09	0.01	0.01	0.08	0.02	0.02	0.17	2.300	2.273	/	
3	12.5	11.1	327.7	3.4	3.5	105.6	10.5	10.6	321.8	1.3	1.3	37.9	0.84	0.83	25.11	0.08	0.08	2.35	3.1	3	90.7	5.3	5.2	156.1	0.05	0.05	1.49	0.2	0.2	6.1	0.25	0.25	7.58	300	730	/	
1	4	11.2	118.7	1.2	1	10.3	5.5	5.5	58.5	0.4	0.4	4.4	0.02	0.02	0.26	0.01	0.01	0.09	1.2	1.2	12.3	1.7	1.6	17.1	0.02	0.02	0.2	0.01	0.01	0.12	0.03	0.03	0.33	/	/	/	
2	5.2	11.6	155.2	1.2	1.3	17.5	4.9	4.8	66.9	0.4	0.4	5	0.02	0.03	0.41	0.01	0.01	0.14	1.2	1.1	15.6	1.6	1.5	21.2	0.02	0.02	0.27	0.01	0.01	0.14	0.03	0.03	0.4	/	/	/	
3	13.8	10.9	402.7	3.5	3.4	125.1	8.9	8.9	329.9	1	1	37.9	0.52	0.51	19.01	0.14	0.14	5.01	2.8	2.7	101.3	4.5	4.4	163.2	0.04	0.04	1.47	0.16	0.16	5.97	0.2	0.2	7.44	/	/	/	
1	4.3	11.3	127.5	1	0.8	8.4	5.1	5.1	57.8	0.4	0.4	4.8	0.02	0.03	0.33	0.01	0.01	0.12	0.9	0.9	9.6	1.3	1.3	14.8	0.03	0.03	0.33	0.01	0.01	0.13	0.04	0.04	0.45	/	/	/	
2	5.8	11.3	168.9	1	1	14.6	5.5	5.5	81.7	0.5	0.5	7.6	0.02	0.03	0.49	0.01	0.01	0.12	0.9	0.9	13.4	1.4	1.4	21.6	0.06	0.06	0.87	0.01	0.01	0.18	0.07	0.07	1.05	/	/	/	
3	15.6	10.4	429.6	4.4	4.3	17.2	11.7	11.6	470.5	1.2	1.2	47.4	0.61	0.61	24.58	0.14	0.14	5.51	2.9	2.9	118.1	4.9	4.8	195.6	0.07	0.07	2.85	0.22	0.22	8.82	0.29	0.29	11.67	/	/	/	
1	2.7	10.7	106	7.3	1.4	1.2	8.8	5.1	36.7	0.5	0.5	3.6	0.01	0.03	0.19	0.01	0.01	0.09	0.8	0.8	6	1.4	1.4	9.8	0.02	0.02	0.14	0.01	0.01	0.08	0.03	0.03	0.22	46.000	2.817	/	
2	4	10.6	102	108.5	1.4	1.7	17.8	7.8	7.5	79.6	0.7	0.7	7.2	0.02	0.04	0.46	0.01	0.01	0.13	0.9	0.9	9.4	1.6	1.6	17.2	0	0.01	0.12	0.01	0.01	0.12	0.02	0.02	0.24	2.300	1.930	/
3	10.5	9.7	9.6	269.3	4	4.1	115.1	15.7	15.5	434.4	0.5	0.5	14.8	0.43	0.42	11.92	0.25	0.24	6.83	2.3	2.3	64.1	3.4	3.5	97.6	0.04	0.04	1.11	0.29	0.29	8.13	0.33	0.33	9.24	7.500	6.892	/
1	1.5	10.2	10	38.2	2.1	1.8	6.9	6.8	6.7	25.7	0.7	0.7	2.8	0.01	0.03	0.13	0.01	0.01	0.04	0.8	0.7	2.8	1.5	1.5	5.7	0.03	0.03	0.11	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04	0.14	/	/	/
2	2.5	10.4	9.7	61.8	1.9	1.8	11.4	8.7	8.6	54.7	1.1	1	6.5	0.01	0.06	0.35	0.02	0.02	0.15	0.7	0.7	4.6	1.8	1.8	11.6	0.03	0.03	0.19	0	0.01	0.05	0.03	0.04	0.24	/	/	/
3	6.9	9.1	8.9	160.9	3	2.9	52.4	12.2	12.2	219.8	0.8	0.8	13.9	0.37	0.37	6.71	0.16	0.16	2.89	2.2	2.2	40.3	3.5	3.5	63.8	0.04	0.04	0.71	0.31	0.31	5.63	0.36	0.35	6.34	/	/	/
1	1.1	10	9.7	28	1.3	1.1	3.2	7.2	6.9	19.8	0.6	0.6	1.7	0.01	0.03	0.08	0.01	0.01	0.03	0.6	0.6	1.8	1.3	1.2	3.6	0.03	0.03	0.08	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.11	/	/	/
2	1.9	8.4	9.1	45.2	1.1	1.2	5.8	9.3	9.3	46.4	0.5	0.5	2.3	0.05	0.06	0.32	0.01	0.01	0.06	0.5	0.5	2.6	1.1	1.1	5.3	0.04	0.04	0.2	0	0.01	0.04	0.04	0.05	0.24	/	/	/
3	5.3	8.4	8.4	118.7	3	2.9	41.4	16.3	16.5	232.5	0.9	0.9	12.7	0.36	0.36	5.04	0.07	0.07	0.97	1.7	1.6	23	3	3	41.8	0.06	0.06	0.85	0.36	0.35	5	0.42	0.41	5.85	/	/	/
1	1.1	10.4	9.7	27.7	0.8	0.6	1.7	7.7	7.8	22.2	0.6	0.6	1.6	0.01	0.03	0.08	0.01	0.01	0.03	0.8	0.8	2.2	1.4	1.4	4	0.02	0.02	0.06	0	0.01	0.02	0.03	0.08	/	/	/	
2	1.7	8.1	9.3	42.8	1.3	1.5	7	10.4	10.5	47.9	0.6	0.6	2.9	0.04	0.05	0.23	0.01	0.02	0.08	0.7	0.6	2.9	1.4	1.3	6.1	0.02	0.02	0.09	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.13	/	/	/
3	5.6	7.8	7.7	116.6	2.5	2.4	36.9	11.1	11.3	170	0.8	0.8	11.5	0.36	0.36	5.43	0.1	0.1	1.5	1.8	1.8	27.4	3.1	3	45.8	0.04	0.04	0.6	0.37	0.37	5.61	0.41	0.41	6.21	/	/	/
1	1.1	10.3	10.3	28.6	1.6	1.5	4.1	8.7	8.8	24.4	0.8	0.8	2.1	0.01	0.05	0.14	0.01	0.01	0.04	1	1	2.7	1.8	1.8	5	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.05	/	/	/
2	1.7	9.6	10	43.5	1.2	1.3	5.7	8.1	8.1	35.3	0.6	0.6	2.7	0.04	0.06	0.26	0.01	0.01	0.06	0.9	0.9	3.8	1.5	1.6	6.9	0.02	0.02	0.09	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.12	/	/	/
3	7.1	8.8	8.4	155.4	2.6	2.7	49.4	10.9	11	203.5	0.7	0.7	12.5	0.58	0.58	10.77	0.11	0.11	2.01	2.5	2.5	45.6	3.9	3.8	70.9	0.04	0.04	0.73	0.34	0.34	6.24	0.38	0.38	6.97	/	/	/
1	1	10.5	10.9	29.1	1.7	1.8	4.7	7.3	7.1	18.9	0.6	0.6	1.7	0.03	0.04	0.12	0.03	0.03	0.08	1	0.9	2.5	1.7	1.6	4.4	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.03	0.08	/	/	/
2	1.5	10.4	10.8	43.1	1.7	1.6	6.5	8.9	8.9	35.8	0.8	0.8	3.2	0.04	0.09	0.36	0.03	0.03	0.13	1	1.1	4.2	1.9	2	7.9	0.01	0.01	0.04	0.02	0.02	0.08	0.03	0.03	0.11	/	/	/
3	6.3	9.2	9	151.4	3.6	3.4	57.7	11.1	11	184.8	0.9	0.8	14.2	0.76	0.76	12.81	0.11	0.11	1.9	2.4	2.4	40.7	4.2	4.2	69.6	0.11	0.11	1.8	0.42	0.42	6.96	0.54	0.52	8.76	/	/	/
1	2.8	12.2	11.6	83	1.2	1	7.4	4.8	4.7	33.8	0.4	0.4	2.8	0.01	0.03	0.2	0.01	0.01	0.08	0.8	0.8	6	1.3	1.3	9.1	0.01	0.01	0.07	0.02	0.02	0.12	0.02	0.03	0.19	/	/	/
2	3.5	12	11.5	104.4	2.3	2.2	20.3	6.6	6.5	59.2	0.5	0.4	4	0.01	0.03	0.3	0.01	0.01	0.1	0.7	0.7	6.7	1.2	1.2	11.1	0	0.01	0.06	0.02	0.02	0.17	0.02	0.03	0.24	/	/	/
3	10.7	10.9	11.1	309.9	5.9	5.7	159.1	16	16.3	453.5	1.2	1.2	33.6	0.66	0.66	18.41	0.06	0.06	1.65	2	2	55.3	4	3.9	108.9	0.05	0.05	1.36	0.22	0.22	6.02	0.27	0.27	7.38	/	/	/
1	4.6	11.6	11.5	141.2	0.8	0.7	9.2	4.1	4	49.5	0.4	0.4	5	0.01	0.03	0.33	0.01	0.01	0.13	1.5	1.5	18.2	1.9	1.9	23.6	0.01	0.01	0.12	0.01	0.01	0.12	0.02	0.02	0.24	/	/	/
2	5.8	11.5	11.5	178.2	1	1.1	16.5	2.5	3.2	49.5	1.3	1.3	20.1	0.04	0.05	0.85	0.01	0.01	0.15	1.4	1.5	22.6	2.8	2.8	43.7	0.01	0.01	0.14	0.01	0.01	0.13	0.01	0.02	0.27	/	/	/
3	14.4	10.8	10.9	419.9	3.1	3	117	8.1	8	310.1	0.7	0.7	28	0.61	0.61	23.52	0.08	0.08	3.06	2.8	2.7	104.5	4.1	4.1	159.1	0.04	0.04	1.53	0.21	0.21	8.04	0.25	0.25	9.57	/	/	/

L'elaborazione della precedente Tab. 12 ha consentito la stima dei carichi annui dei vari costituenti lungo l'asta del Topino, che vengono rappresentati nel grafico seguente.

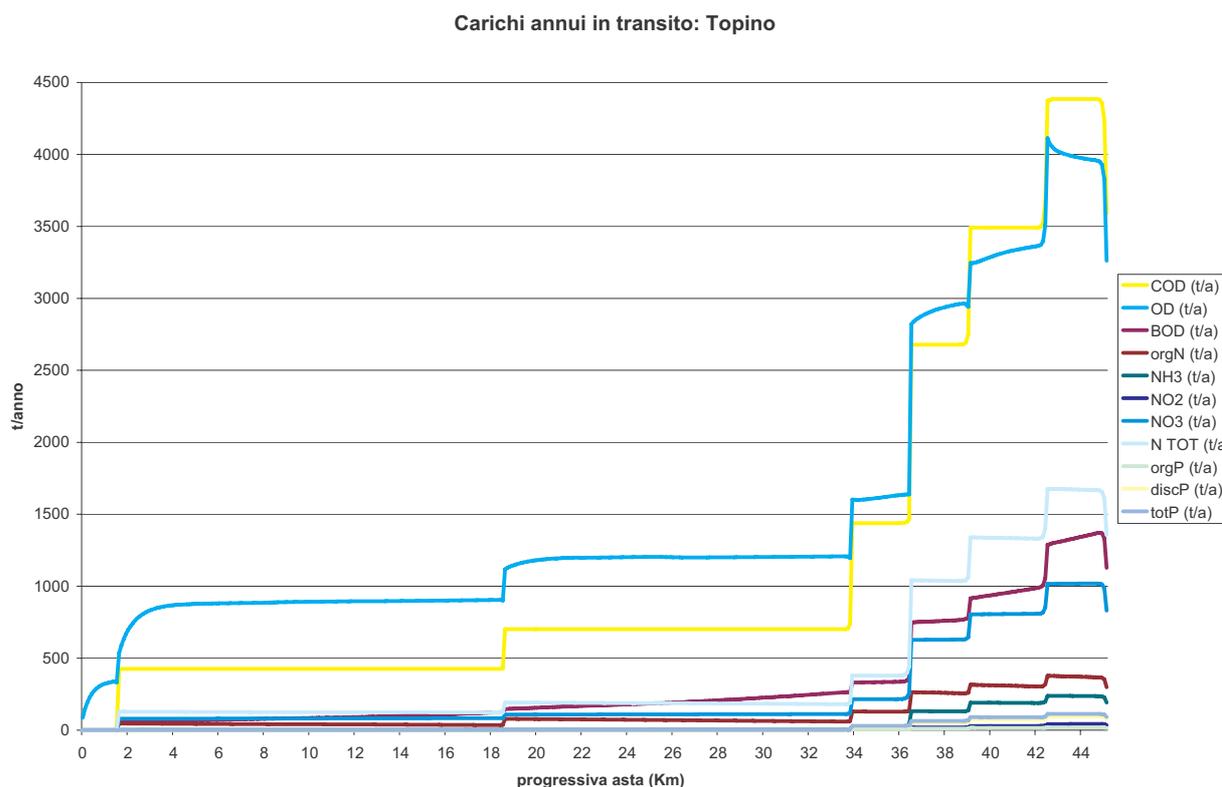


Fig. 59 - Carichi annui dei diversi costituenti transitanti alle stazioni di qualità

I carichi lungo l'asta del Topino si mantengono costanti o, nel caso di alcuni costituenti, decrescono. Solo in corrispondenza delle sorgenti di massa (in particolare l'ingresso del Timia) si rilevano dei gradini in cui il carico aumenta considerevolmente.

3.7 Il modello di qualità del sistema Marroggia-Teverone-Timia

3.7.1 Schematizzazione su base annua

Il sistema modellato (di seguito sistema Marroggia Teverone-Timia) comprende i tre corpi idrici seguenti:

- torrente Marroggia dalla località Camposalese di Spoleto fino alla confluenza con il torrente Teverone,
- torrente Teverone dalla confluenza con il torrente Marroggia alla confluenza con il fiume Timia,
- fiume Timia dalla confluenza con il torrente Teverone alla confluenza con il fiume Topino,

per un totale di circa 30 km di asta complessiva.

L'intero sistema è schematizzato tramite 10 reaches di diverse lunghezze; anche in questo caso, come nei precedenti, ogni reach è discretizzato in elementi di 100 m, per un totale di circa 300 elementi. Lo schema adottato è riportato in Fig. 60.

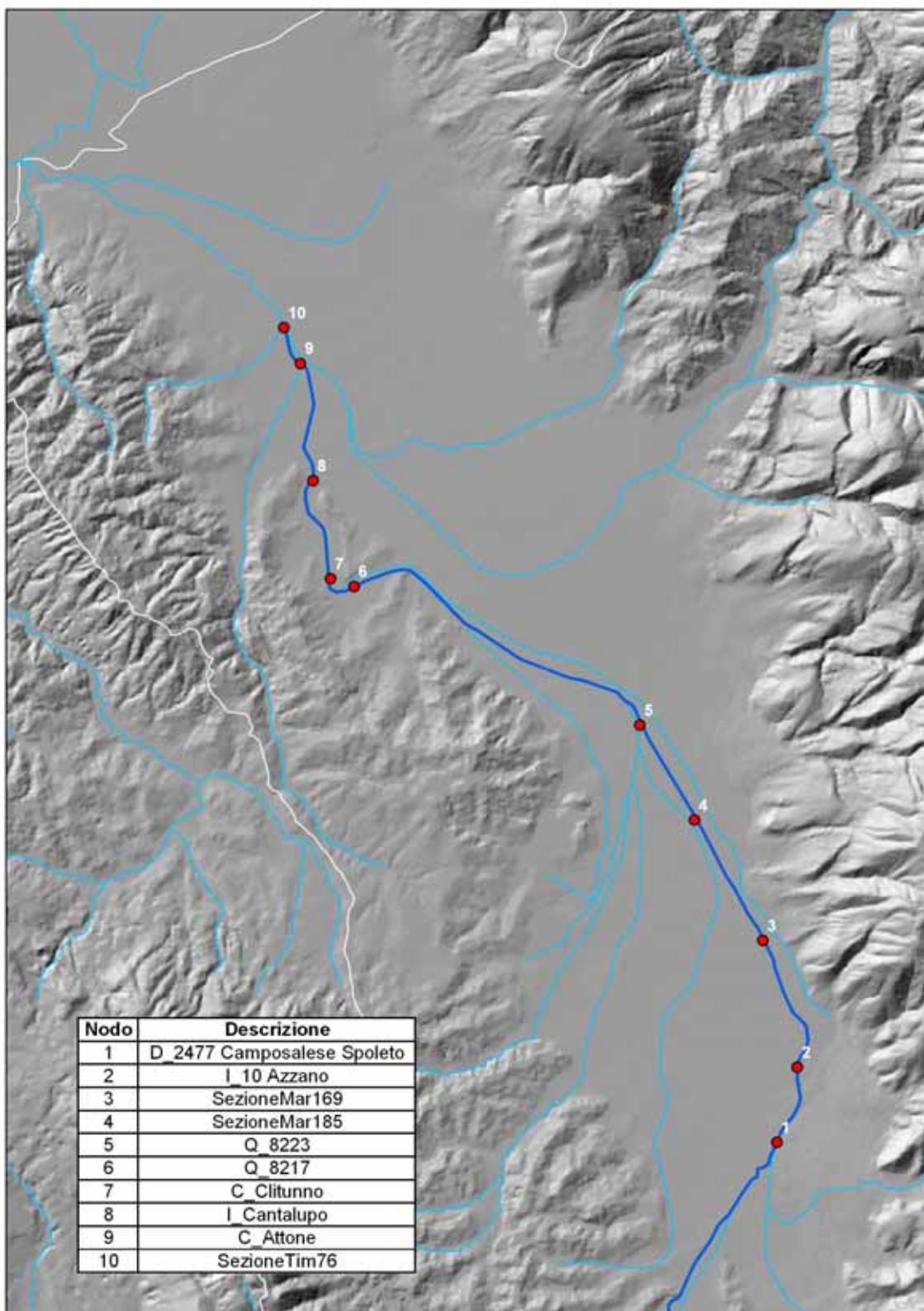


Fig. 60 - Layout del modello del Marroggia -Teverone- Timia

La Tab. 13 riporta in sintesi la geometria adottata: nella prima colonna compare un identificativo del tratto e la portata media annua in ingresso (m^3/s), quindi il progressivo del tratto, il nome o il codice della sezione trasversale corrispondente (i codici sono quelli derivati dai rilievi topografici del Consorzio della Bonificazione Umbra) e le due lunghezze, parziale del reach e progressiva lungo l'asta. Le ultime due

colonne riportano invece le sorgenti significative, ossia quelle che forniscono un contributo sia in termini idraulici che di massa trasportata in soluzione, con le relative portate medie annue ricostruite.

Tab. 13 - Schema dei deflussi medi annui, delle lunghezze e delle sorgenti del Timia-Teverone-Marroggia

Portata iniziale (m ³ /s)	Reach	Sezione	L [km]	L progr. [km]	Sorgenti	
					♥=torrenti ♣=depuratori ▲= flusso base	Q [m ³ /s]
Camposalese Spoleto 0,41	1	MAR-136	2,0	0 0,7 1,2 2,0	♣ Camposalese Spoleto	0,11 0,02
	2	MAR-151	2,7	4,7	▲	0,027
	3	MAR-169	3,7	8,4	▲	0,037
	4	MAR-185	3,6	12,0	▲	0,036
	5	MAR-196	2,1	13,1 14,1	▲	0,021
	6	TIM-34	8,4	22,2 22,5	♥ Tatarena ▲	0,41 0,084
	7	TIM-43	1,9	23,0 24,4	♥ Clitunno ▲	2,27 0,019
	8	TIM-56	3,0	25,8 27,4	▲	0,03
	9	TIM-69	2,1	29,0 29,1 29,5	♥ Attone ▲	0,41 0,021
	10	TIM-76	0,5	30,0	▲	0,005

Come descritto al paragrafo 3.2, sono state costruite 12 situazioni mensili, per ciascuna delle quali sono definite le concentrazioni dei costituenti oggetto di simulazione in corrispondenza di ciascun punto di ingresso di acqua nel sistema (Tab. 14).

Tab. 14 - Punti di carico applicati sull'asta del sistema Marroggia-Teverone-Timia e relative concentrazioni dei costituenti (valori medi annui)

n	Point load	DO (mg/l)	BOD5 (mg/l)	CI (mg/l)	COLI (cfu/100ml)	ORG N (mg/l)	NH ₃ (mg/l)	NO ₂ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	ORG P (mg/l)	DIS P (mg/l)
1	♣ Camposalese Spoleto	7,8	43.6	74.6	227.000	2.6	21.9	0.5	2.3	2.39	4.2
2	♥ Tatarena	9,1	4.4	16.5	7.300	0.8	0.6	0.2	2.7	0.07	0.3
3	♥ Clitunno	9,2	2.1	16.6	1.809	0.7	0.2	0.1	2.3	0.02	0.3
4	♥ Attone	10,4	3.8	25.0	2.725	1.3	1.3	0.2	3.1	0.04	0.3

3.7.2 Taratura dei costituenti di qualità

Di seguito sono riportati i grafici di taratura dei costituenti simulati lungo l'asta del sistema Marroggia-Teverone-Timia.

In ciascun grafico l'insieme dei valori osservati (12 dati medi mensili del periodo 2000-2004 per 3 stazioni disponibili, ciascuna rappresentata con un colore diverso) è posto a confronto con i corrispondenti valori stimati tramite il modello.

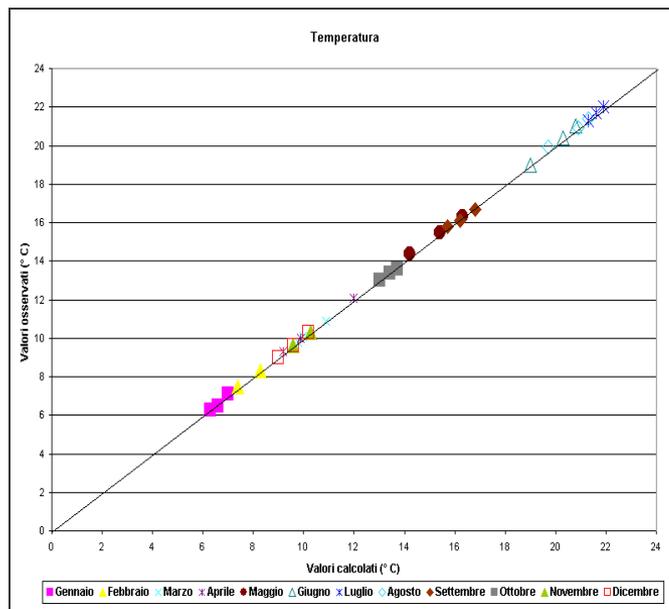


Fig. 61 - Taratura della temperatura sul Timia-Teverone-Marroggia

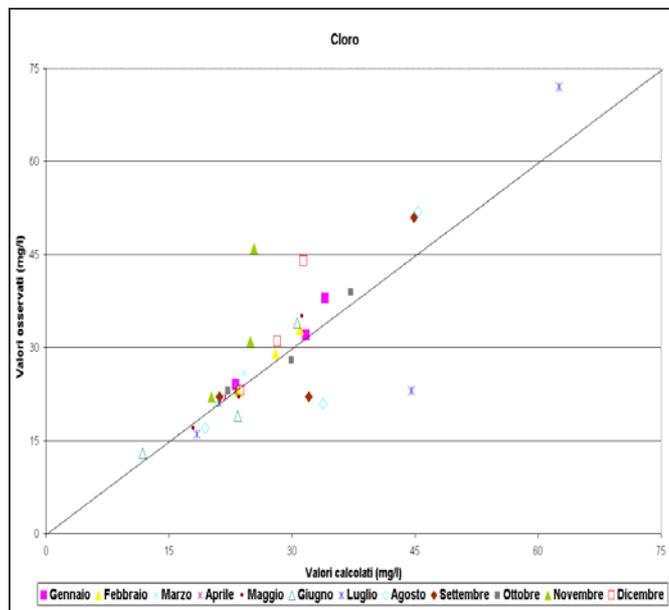


Fig. 62 - Taratura del cloro sul Timia-Teverone-Marroggia

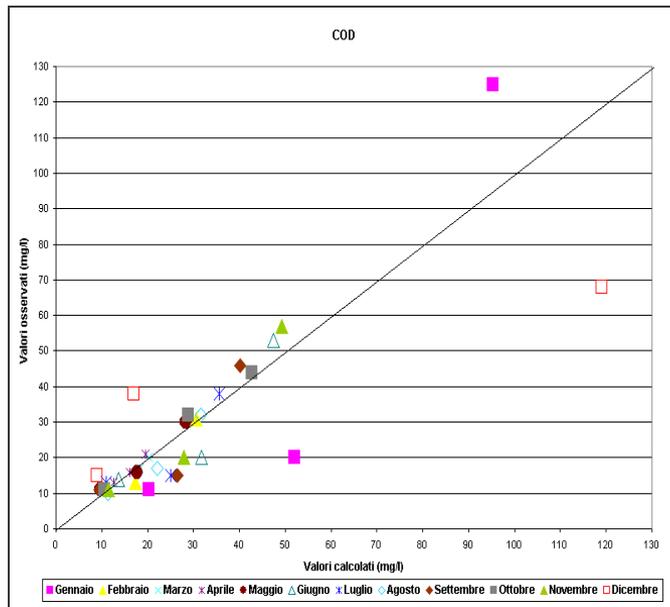


Fig. 63 - Taratura del COD sul Timia-Teverone-Marroggia

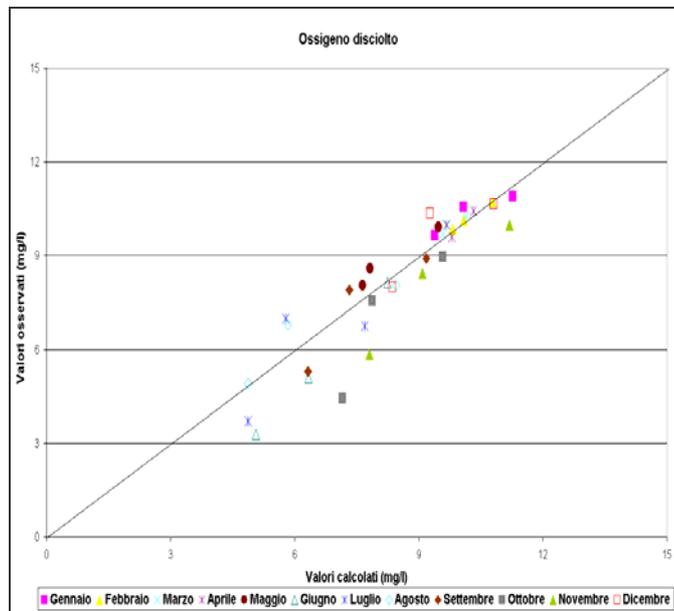


Fig. 64 - Taratura dell'ossigeno disciolto sul Timia-Teverone-Marroggia

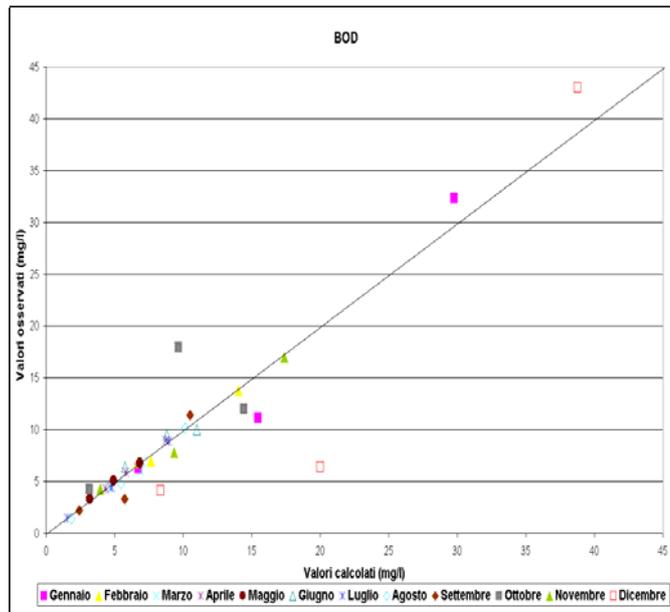


Fig. 65 - Taratura del BOD5 sul Timia-Teverone-Marroggia

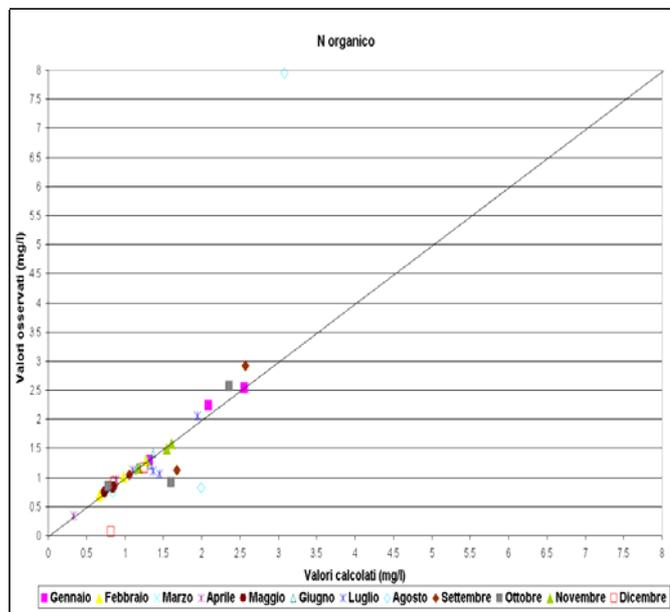


Fig. 66 - Taratura dell'azoto organico sul Timia-Teverone-Marroggia

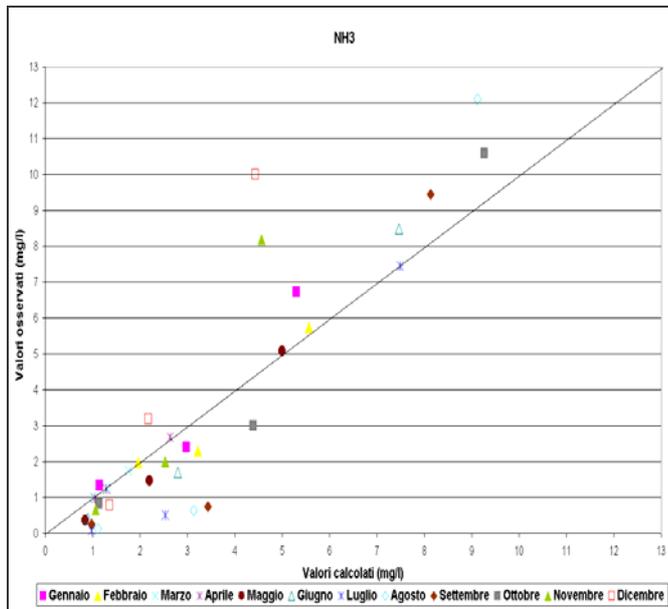


Fig. 67 - Taratura dell'ammoniaca sul Timia-Teverone-Marroggia

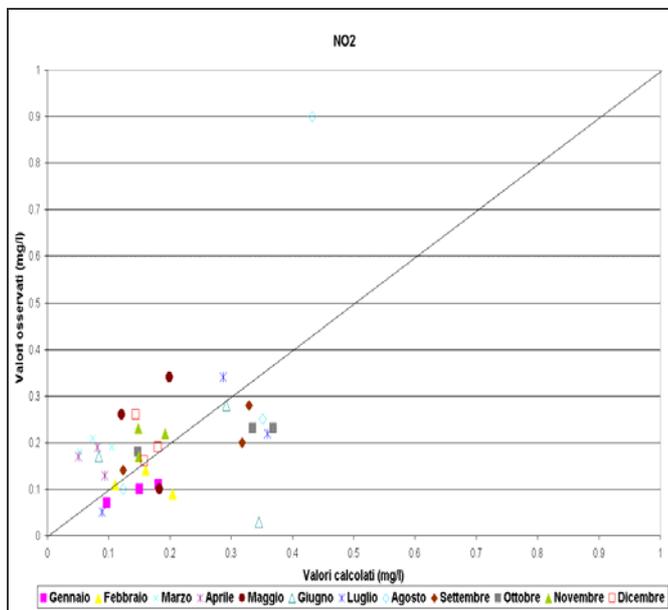


Fig. 68 - Taratura dei nitriti sul Timia-Teverone-Marroggia

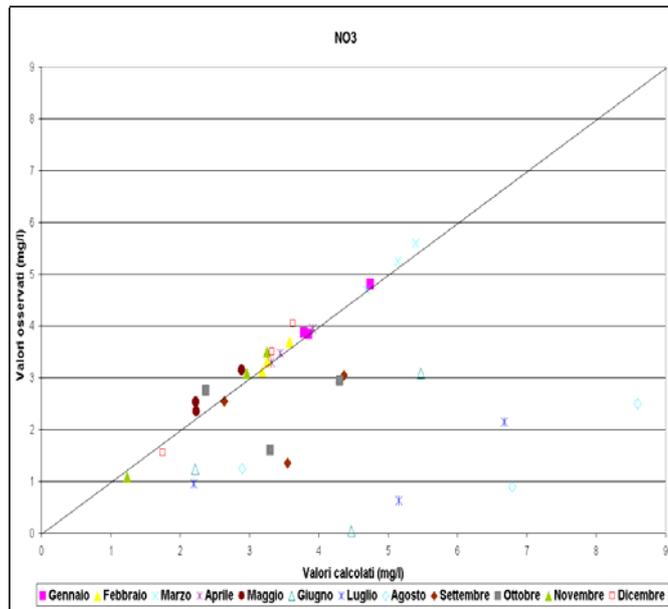


Fig. 69 - Taratura dei nitrati sul Timia-Teverone-Marroggia

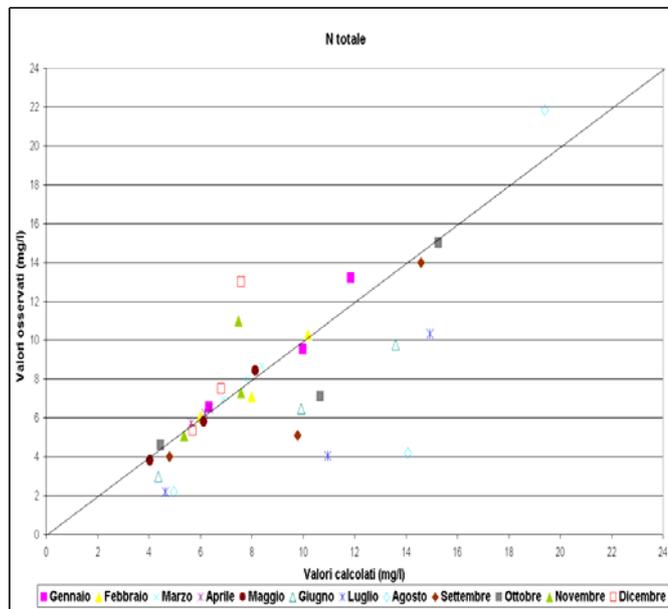


Fig. 70 – taratura dell' azoto totale sul Timia-Teverone-Marroggia

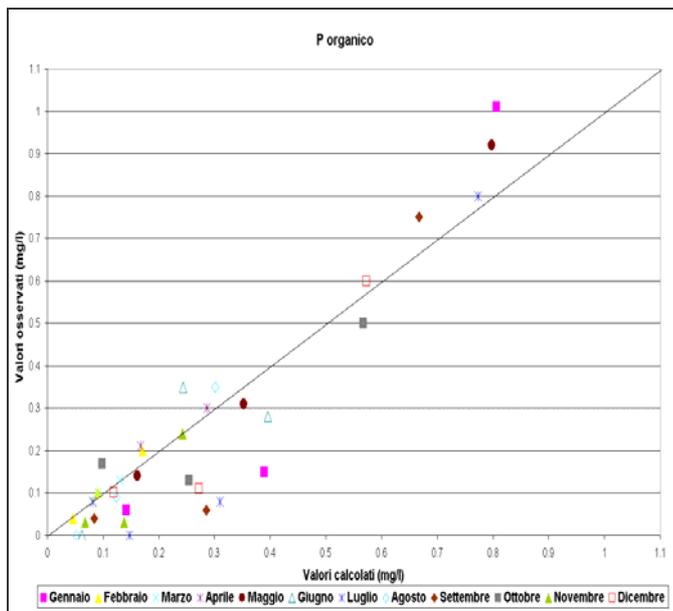


Fig. 71 - Taratura del fosforo organico sul Timia-Teverone-Marroggia

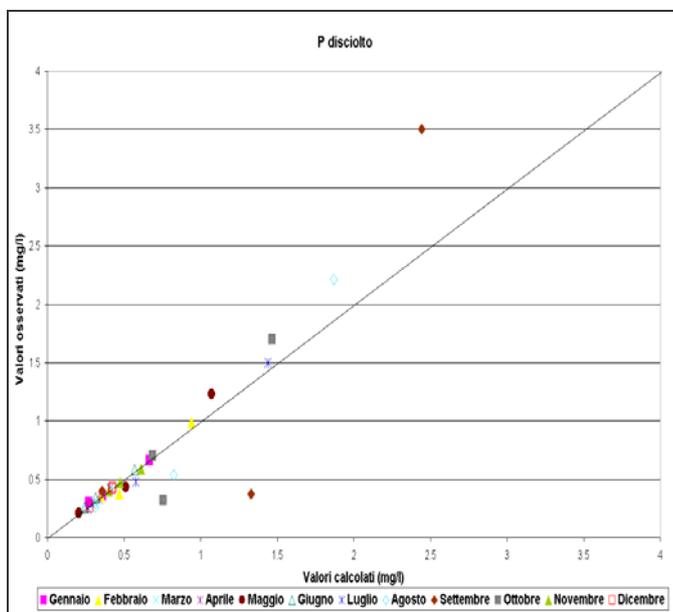


Fig. 72 - Taratura del fosforo disciolto sul Timia-Teverone-Marroggia

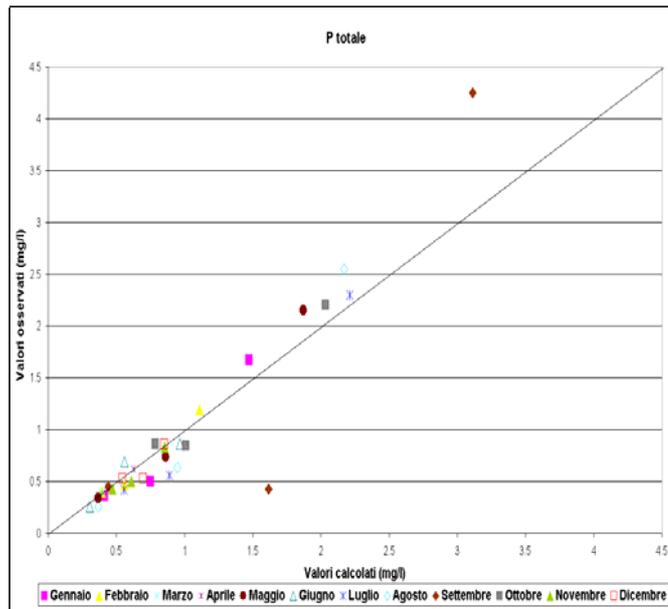


Fig. 73 – taratura del fosforo totale sul Timia-Teverone-Marroggia

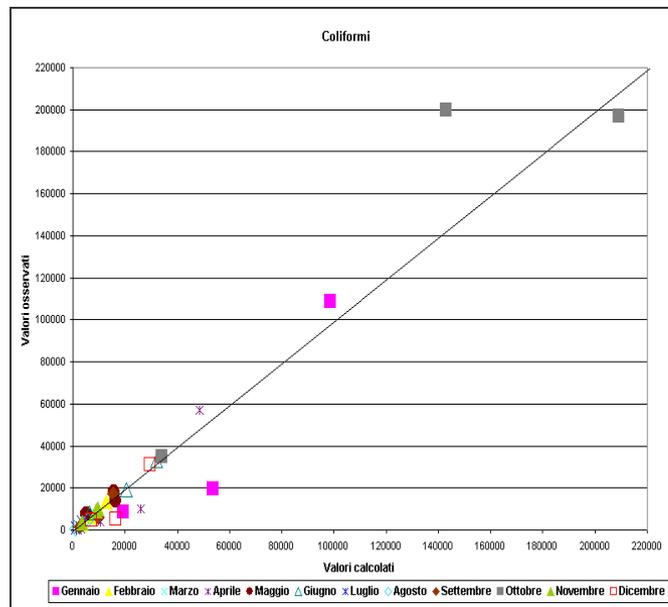


Fig. 74 - Taratura dei coliformi sul Timia-Teverone-Marroggia

Come si riconosce dalla Fig. 75, che riporta le misure della dispersione ottenute per tutte le variabili considerate, la riproduzione può essere considerata accettabile per gran parte dei parametri, ad eccezione dell'azoto ammoniacale, dei nitriti e del fosforo organico.

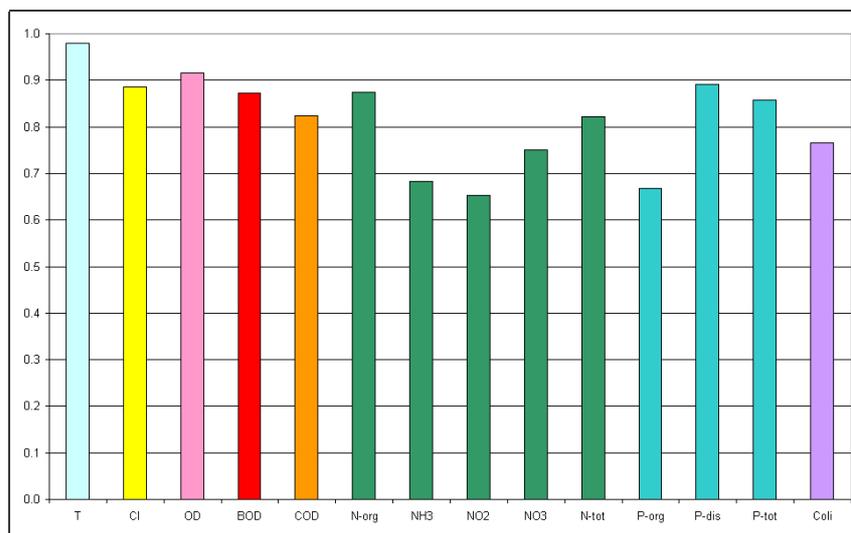


Fig. 75 - Sintesi della dispersione dei risultati in fase di taratura nel modello del sistema Marroggia-Teverone-Timia

Nella tabella successiva è riportata la schematizzazione delle stazioni di qualità utilizzate per la modellazione del sistema Marroggia-Teverone-Timia.

Tab. 15 - Stazioni di qualità utilizzate per la simulazione del sistema Marroggia-Teverone-Timia

Stazione	Nome Stazione	Codice Stazione
1	Casco dell'Acqua	MAR1
2	Bevagna	TVN1
3	Cannara	TIM1

La Tab. 16 che segue riporta i risultati finali delle operazioni di taratura per il sistema Marroggia-Teverone-Timia, in termini sia di concentrazioni che di carichi transitanti presso le stazioni di qualità, per ciascuno dei mesi dell'anno.

Nella terza colonna sono riportati i valori medi mensili di portata simulati attraverso il modello.

Per ciascun costituente, la colonna "osservato" riporta il valore medio delle concentrazioni rilevate nell'ambito delle attività di monitoraggio svolte da ARPA, ai sensi del D.Lgs. 152/99, nel periodo 2000-2004.

Nella colonna "Stato di fatto" sono riportate le corrispondenti concentrazioni simulate tramite il modello di qualità, mentre la colonna successiva, denominata "Carico transitante", riporta le tonnellate di costituente simulato che transitano mensilmente nella sezione, ottenute moltiplicando il valore di portata per il valore di concentrazione simulato, ossia quello desunto dalla colonna "Stato di fatto".

Tab. 16 - risultati della simulazione modellistica in corrispondenza delle stazioni di qualità del sistema Timia-Teverone-Marroggia, in termini di concentrazioni e carichi transittanti

Mese/Staz.	Portata (m ³ /s)	OD		BOD5		COD		NH ₃		NO ₂		NO ₃		N tot		P org		P dis		P tot		Coliformi													
		Osservato (mg/l)	Carico di transittante (t/mese)	Osservato (cfu/100ml)	Carico transittante (cfu/100ml)																														
1	1	9,7	26,2	32,4	83	125	285,6	2,5	2,6	7,1	6,7	5,3	14,8	0,1	0,2	0,4	3,8	3,9	10,7	13,2	11,9	33,1	1,01	0,81	2,25	0,66	0,67	1,86	1,67	4,11	108,600	98,719	/		
	2	1,9	10,6	11,2	15,5	80,1	52,1	289,5	2,2	2,1	10,8	2,4	3	15,4	0,1	0,2	0,9	4,8	4,7	24,6	9,6	10	51,7	0,15	0,39	2,01	0,36	0,36	1,87	0,5	0,75	3,89	19,850	53,520	/
	3	5,6	10,9	11,3	16,9	6,3	6,7	101	11	13,3	19,8	1,4	1,1	17,1	0,1	0,1	1,5	3,9	3,8	56,8	6,6	6,3	95,1	0,06	0,14	2,13	0,3	0,27	4,07	0,36	0,41	6,21	8,567	19,151	/
2	1	0,9	9,9	13,8	14	30,6	31	30,7	66,9	1,3	1,3	2,8	5,6	0,1	0,2	0,4	3,1	3,2	6,9	10,3	10,2	22,2	0,2	0,17	0,37	0,99	0,94	2,05	1,19	1,11	2,42	13,500	12,755	/	
	2	1,7	10,2	10,1	40,3	7	7,7	30,6	13	1	3,9	2,3	3,2	12,9	0,1	0,2	0,8	3,7	3,6	14,3	7,1	8	31,9	0,1	0,09	0,36	0,37	0,47	1,87	0,47	0,56	2,24	6,350	7,783	/
	3	4,9	10,7	10,8	128,4	6,8	6,7	79,5	11	11,5	137	0,7	0,7	2	2	23,5	0,1	1,3	3,3	3,3	38,8	6,1	6	71,5	0,04	0,05	0,55	0,36	0,35	4,16	0,4	0,4	4,71	2,917	3,118
3	1	0,8	10	9,7	20,5	6,1	6,9	14,5	17	18,3	38,8	1,2	1,2	2,5	1,8	1,8	3,7	0,2	0,1	11,4	8,7	8,4	17,8	0,13	0,13	0,28	0,23	0,23	0,48	0,36	0,76	16,450	15,572	/	
	2	1,4	9,7	9,6	36,8	6,9	7	26,8	20	20,3	78	1,3	1,3	5	1,3	1,3	5	0,2	0,1	19,7	8	7,8	30,1	0,1	0,09	0,35	0,29	0,31	1,19	0,39	0,4	1,54	7,710	9,018	/
	3	4,5	10,3	10,1	122,5	4,4	4,6	56	12	10,7	129,4	1,1	1,1	13,6	1	12,3	0,2	0,1	0,9	4,7	56,7	7	6,9	83,4	0,08	0,08	0,99	0,31	0,31	3,7	0,4	0,39	4,69	7,417	5,955
4	1	1,2	9,6	9,8	30	9	8,7	26,8	21	19,6	59,9	0,3	0,3	1	2,7	2,6	8,1	0,2	0,1	10,2	6,5	6,4	19,5	0,3	0,29	0,88	0,33	0,34	1,04	0,62	0,63	1,92	57,050	48,418	/
	2	2,2	10	9,7	55,5	5,9	5,8	33,3	16	16	91,6	1	0,9	5	1,2	1,3	7,4	0,1	0,1	22,4	6,3	6,2	35,4	0,21	0,17	0,96	0,25	0,26	1,51	0,46	0,43	2,47	9,900	26,049	/
	3	5,9	10,4	10,3	157,8	4,4	4,3	65,9	13	12,6	192,6	1,1	1,1	16,1	0,2	0,1	0,8	3,5	3,4	52,6	5,7	5,6	86,3	0,08	0,08	1,25	0,29	0,29	4,49	0,36	0,38	5,74	3,937	10,452	/
5	1	0,5	8,6	7,8	10,7	6,8	6,8	9,3	30	28,3	38,8	0,7	0,7	1	5,1	5	6,8	0,1	0,2	3	8,5	8,2	11,2	0,92	0,8	1,09	1,23	1,07	1,47	2,15	1,87	2,56	14,050	16,312	/
	2	0,9	8,1	7,6	17,8	5,1	4,9	11,5	16	17,7	41,3	0,8	0,9	2	1,5	2,2	5,1	0,3	0,2	6,7	5,8	6,1	14,3	0,31	0,35	0,82	0,43	0,51	1,19	0,74	0,86	2,02	18,300	15,748	/
	3	3,6	9,9	9,5	92,1	3,3	3,2	31,1	11	9,7	94,2	0,8	0,8	8,1	0,4	0,8	8,3	0,3	0,1	21,8	3,8	4	39,3	0,14	0,16	1,57	0,21	0,21	2,01	0,34	0,37	3,58	7,800	5,245	/
6	1	0,4	3,3	5,1	4,6	10	11	10	53	47,5	43,2	1,2	1,3	1,2	8,5	7,5	6,8	0	0,3	4,1	9,8	13,6	12,4	0,28	0,4	0,36	0,58	0,57	0,52	0,86	0,97	0,88	33,000	31,990	/
	2	0,6	5,1	6,3	9,1	9,5	8,8	12,6	20	31,8	45,6	1,4	1,4	2	1,7	2,8	4	0,3	0,3	7,8	6,5	9,9	14,2	0,35	0,24	0,35	0,34	0,32	0,45	0,69	0,56	0,8	19,000	20,448	/
	3	3	8,2	8,2	64,8	6,4	5,8	45,3	14	13,8	108	1,2	1,2	9,1	0,4	0,9	7	0,2	0,1	17,4	3	4,4	34,3	0	0,06	0,49	0,26	0,24	1,92	0,26	0,31	2,41	8,000	6,445	/
7	1	0,3	3,7	4,9	4,2	8,9	8,9	7,7	38	35,6	30,6	2,1	1,9	1,7	7,5	7,5	6,4	0,2	0,4	4,4	10,4	14,9	12,8	0,8	0,77	0,66	1,5	1,44	1,24	2,3	2,21	1,9	4,008	3,686	/
	2	0,5	7	5,8	7,6	4,5	4,8	6,3	15	25,1	33,1	1,1	1,5	1,9	0,5	2,5	3,3	0,3	0,3	8,8	4,1	10,9	14,4	0,08	0,31	0,41	0,48	0,58	0,76	0,56	0,89	1,17	1,315	2,454	/
	3	2,4	6,8	7,7	48,6	1,5	1,5	9,8	13	10,9	69,1	1,1	1,4	8,6	0,1	1	6,2	0,1	0,1	13,9	2,2	4,6	29,3	0	0,15	0,93	0,42	0,41	2,58	0,42	0,56	3,51	765	1,155	/
8	1	0,3	4,9	4,9	4,3	10,2	9	32	31,5	27,9	8	3,1	2,7	12,1	9,1	8,1	8,1	0,9	0,4	6	21,9	19,4	17,2	0,35	0,3	0,27	2,21	1,87	1,66	2,55	2,17	1,92	4,980	5,635	/
	2	0,5	6,8	5,8	8	4,8	5,5	7,5	17	22,2	30,4	0,8	2	2,7	0,6	3,1	4,3	0,3	0,4	11,8	4,2	14,1	19,3	0,09	0,12	0,17	0,54	0,82	1,13	0,63	0,95	1,3	3,348	3,819	/
	3	2,5	8,1	8,5	56,8	1,4	1,8	12,4	10	11,3	75,9	0,7	0,8	5,7	0,1	1,1	7,5	0,1	0,1	19,5	2,2	5	33,4	0	0,05	0,35	0,26	0,31	2,11	0,26	0,37	2,46	440	1,091	/
9	1	0,4	5,3	6,3	6,2	11,4	10,5	10,4	46	40,2	39,7	2,9	2,6	2,5	9,5	8,1	8	0,3	0,3	3,5	14	14,6	14,4	0,75	0,67	0,66	3,5	2,44	2,41	4,25	3,11	3,07	17,350	15,284	/
	2	0,6	7,9	7,3	11,6	3,3	5,7	9,1	15	26,5	42,1	1,1	1,7	2,7	0,7	3,4	5,4	0,2	0,3	6,9	5,1	9,8	15,5	0,06	0,29	0,45	0,37	1,33	2,11	0,43	1,62	2,57	6,455	9,635	/
	3	3,2	8,9	9,2	75	2,2	2,4	19,8	11	9,6	78,1	1,1	1,1	8,6	0,3	1	8	0,1	0,1	21,5	4	4,8	39,2	0,04	0,08	0,69	0,4	0,36	2,91	0,45	0,44	3,59	1,225	2,462	/
10	1	0,4	4,5	7,2	6,7	12	14,4	13,6	44	42,8	40,2	2,6	2,4	2,2	10,6	9,3	8,7	0,2	0,3	3,1	15	15,3	14,3	0,5	0,57	0,53	1,7	1,47	1,38	2,2	2,03	1,91	197,000	209,220	/
	2	0,6	7,6	7,9	11,6	18	9,6	14,2	32	28,9	42,7	0,9	1,6	2,4	3	4,4	6,5	0,2	0,4	6,4	7,1	10,7	15,8	0,13	0,25	0,38	0,32	0,75	1,12	0,85	1,01	1,49	200,000	143,038	/
	3	2,9	9	9,6	74,1	4,3	3,2	24,5	11	10,5	81,5	0,9	0,8	6,1	0,8	1,1	8,8	0,2	0,1	18,4	4,6	4,4	34,4	0,17	0,1	0,76	0,7	0,69	5,32	0,86	0,79	6,08	35,000	34,162	/
11	1	0,8	5,9	7,8	16,4	17	17,4	36,6	57	49,2	103,5	1,5	1,5	3,2	8,2	4,6	9,6	0,2	0,1	2,6	11	7,5	15,7	0,24	0,24	0,51	0,59	0,61	1,28	0,83	0,85	1,8	9,000	8,927	/
	2	1,5	8,5	9,1	34,7	7,8	9,3	35,6	20	27,9	106,3	1,6	1,6	6,1	2	2,5	9,7	0,2	0,2	12,4	7,3	7,6	28,9	0,03	0,14	0,53	0,47	0,47	1,8	0,5	0,61	2,33	10,200	9,558	/
	3	4	10	11,2	116	4,3	4	41	11	11,5	119,3	1,2	1,2	12,3	0,7	1,1	11,1	0,2	0,1	30,7	5,1	5,4	55,6	0,03	0,07	0,71	0,4	0,4	4,17	0,43	0,47	4,88	3,400	3,691	/
12	1	0,8	8	8,4	18,8	4,3	38,8	87,3	119	68	153,2	1,2	1,3	2,8	10	4,4	10	0,3	0,1	3,9	13	7,6	17,1	0,6	0,57	1,29	0,26	0,28	0,62	0,86	0,85	1,91	31,000	29,694	/
	2	1,5	10,4	9,3	38	6,4	20	82,1	17	38,1	156,3	0,1	0,8	3,4	3,2	2,2	8,9	0,2	0,2	14,9	7,5	6,8	27,9	0,11	0,27	1,12	0,42	0,42	1,73	0,53	0,69	2,85	5,500	16,410	/
	3	4,3	10,7	10,8	12																														

L'elaborazione della precedente Tab. 16 ha consentito la stima dei carichi annui dei vari costituenti transitanti lungo l'asta del sistema Marroggia-Teverone-Timia, che vengono rappresentati nel grafico seguente.

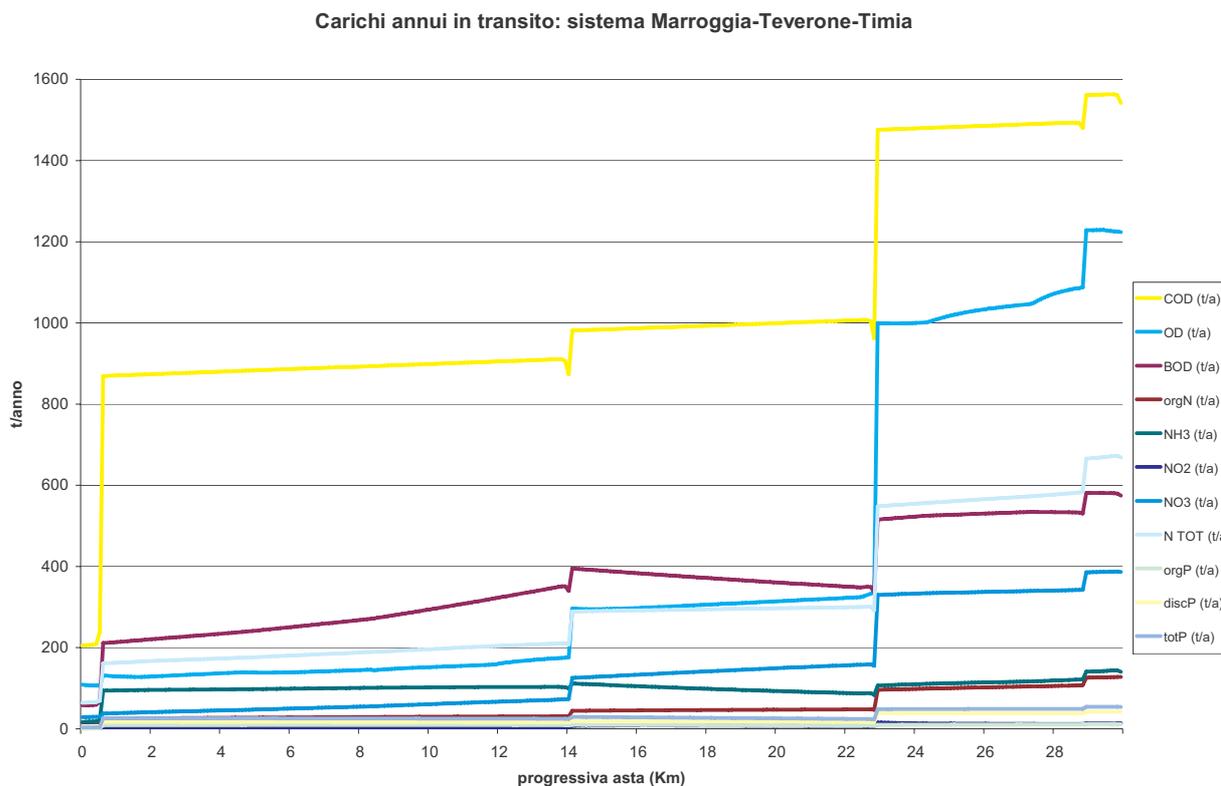


Fig. 76 - Carichi annui dei diversi costituenti transitanti alle stazioni di qualità

Dal confronto tra la Tab. 16 e la Fig. 76 emerge chiaramente come il Clitunno aumenti considerevolmente il carico del Timia, a fronte comunque di un miglioramento generalizzato in termini di concentrazioni dei parametri inquinanti coinvolti.

4 DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Per valutare correttamente la precisione del modello, è necessario tenere conto di due fattori: il primo è l'aderenza dei risultati rispetto ai dati osservati disponibili, l'altro è il grado di rappresentatività dei dati osservati rispetto alla fenomenologia fisica nella sua interezza e complessità.

Quest'ultimo aspetto, in particolare, dipende strettamente dal livello con cui il monitoraggio riesce ad esprimere il fenomeno osservato; nel caso specifico del monitoraggio idrochimico di un corpo idrico fluviale, i problemi derivano dalla mancanza di informazioni riguardanti gli stati estremi del fiume, a causa della bassa frequenza con cui avvengono di norma i campionamenti.

La taratura è stata condotta associando le informazioni di carattere idraulico ad informazioni di concentrazione che non sono del tutto allineate tra loro; infatti, i valori medi mensili di portata hanno in sé tutti gli stati del fiume, sia quelli effettivamente vicini al deflusso medio, sia gli stati più lontani da esso, con particolare riferimento alle piene. Poiché questo assetto medio viene posto poi in relazione con le osservazioni chimico fisiche, difficilmente rilevate in coincidenza delle piene, è evidente che il modello nasce subito con una certa quantità di distorsioni. E' quindi possibile che i carichi siano sovrastimati o sottostimati, in relazione alla variabilità delle concentrazioni dei parametri inquinanti in condizioni di piena.

Un altro aspetto significativo nell'analisi dei risultati del modello, è rappresentato dai processi di sedimentazione. Come è ben visibile dallo schema di Fig. 5, il sistema acqua-sedimento viene considerato abbastanza chiuso e rigido in sé, nel senso che può ricevere contributi dall'esterno sotto forma di carico organico e può smaltire questo carico solo attraverso la sezione di uscita di valle. Le uscite avvengono sotto forma di carico veicolato in soluzione e di particelle che aderiscono ai sedimenti in transito.

Tuttavia, QUAL2E non consente di simulare in dettaglio il trasporto per adesione, ma solo l'interazione acqua-sedimento dove quest'ultimo è visto semplicemente come una riserva da cui estrarre il carico o in cui riversarlo, a seconda delle velocità di flusso. In ogni caso l'effetto di particolari condizioni di assetto idromorfologico, nell'ambito del bacino, porta ad una maggiore o minore propensione a fermare quantità variabili di carico e che il tempo destinato alla sosta dipende pure dalla morfologia locale e dall'intensità delle piene che possono invece rimuovere quantità significative di sedimento.

Va rilevato che, lungo le aste considerate, le condizioni locali non sono apparse tali da far supporre la presenza di ammassi sedimentari e velocità di flusso così basse da favorire una dinamica elevata di cessione del carico dall'acqua al sedimento.

È apparso evidente dalle simulazioni che le velocità di flusso considerate sono probabilmente abbastanza elevate per limitare gli scambi ed il deposito sul fondo di quantità rilevanti di sostanze trasportate. A questo proposito, sono stati eseguiti alcuni controlli, imponendo al modello i fattori di scambio verso il sedimento al livello massimo previsto da Brown & Barnwell (1987), ottenendo tuttavia variazioni nella massa veicolata in acqua alla sezione di chiusura dell'ordine del 2-3 % appena.

Come è noto vi sono poi altri meccanismi attraverso i quali una certa quantità del carico può essere trattenuto: uno di questi è quello delle piante ripariali, ma in questa sede non vi è stato alcun elemento per poterne tentare una stima specifica. Sarebbe opportuno tuttavia approfondire la conoscenza dei processi di rimozione del sedimento, e conseguentemente del carico, durante gli eventi di piena.

A posteriori, cioè al termine della taratura, è invece possibile eseguire taluni controlli incrociati, attraverso i quali verificare la coerenza generale dei risultati.

In questo caso, le principali informazioni che sono state utilizzate per il controlli incrociati derivano:

- dalle stime del carico eseguite mediante l'analisi delle fonti: in particolare è stato utile poter disporre dei carichi sversati a scala di sottobacino, ottenuti a partire dai carichi generati indagando la loro veicolazione nell'ambiente secondo tutte le forme e le modalità possibili;
- dalle stime dei carichi presenti in alveo, derivati invece dall'identificazione delle masse trasportate in ciascuna sezione di monitoraggio attraverso le concentrazioni in acqua e delle portate fluide ricostruite nel modo già descritto. In questo secondo caso, le masse veicolate sono entrate in qualche modo nella fase di calibrazione, nel senso che la ricerca della configurazione più stabile e più aderente ai valori osservati ha riguardato anche la stima dei carichi in ingresso.

Questi ultimi, come detto, sono stati schematizzati nel modo seguente:

- a) contributi di tipo puntuale, che in questo caso si riferiscono ai depuratori; essi sono stati considerati come noti a priori e, una volta imputati al sistema, non hanno subito modifiche;
- b) contributi legati all'ingresso di alvei non monitorati, che sono stati stimati inizialmente per analogia rispetto ad alvei analoghi ma provvisti di monitoraggio, per poi modificarne i valori fino a riscontrare i risultati migliori possibili;
- c) contributi legati all'ingresso di acque del flusso di base, che sono pure stati inizializzati con valori di primo tentativo, e poi modificati fino ad ottenere la configurazione finale.

Attraverso il confronto tra i carichi sversati per sottobacino e quelli transitanti presso le sezioni di valle delle aste simulate è possibile ottenere una preziosa informazione riguardante le possibili destinazioni delle masse coinvolte.

L'equazione che permette di tenere in considerazione i trasferimenti di massa significativi verso sistemi isolati, sotterranei non drenati e di stimare gli abbattimenti di carico lungo le aste si può esprimere come segue:

$$MT = MA + MF$$

in cui *MT* è la stima della massa sversata nel bacino in esame, *MA* la massa stimata in alveo in uscita dal bacino, *MF* la massa immagazzinata in sistemi "isolati" (privi di drenaggio verso gli alvei, o comunque con drenaggi talmente ritardati da poter considerare isolato il sistema di appartenenza: acquiferi sotterranei, per esempio, laghi, vegetazione ecc.) o degradata e depurata lungo le aste.

Per i valori da assegnare al termine *MT* si fa riferimento ai carichi sversati per sottobacino stimati nell'ambito del Piano di Tutela delle acque della Regione Umbria e riportati di seguito:

Tab. 17 - Carichi di BOD5 sversati in corpo idrico superficiale da tutte le fonti

Nome sottobacino	Da Fonti Puntuali						Da Fonti Diffuse		Totale
	Depuratori	Eccedenze	Reti non depurate	Scaricatori di piena	Attività produttive in c.i.s.	Scarichi puntuali su suolo	Agricolo	Zootecnico	
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	
Alto Tevere	172,9	0	277,6	597,3	539	28,6	0,0	232,3	1847,7
Medio Tevere	97,0	20,4	155,8	228,4	257,6	21,3	0,0	294,0	1074,5
Basso Tevere	59,8	52,4	74,8	94,2	23,4	10,4	0,0	131,4	446,4
Chiascio	121,1	243,6	100,1	359,2	145,7	15,6	0,0	203,1	1188,4
Topino - Marroggia	268,4	539	102	565,6	296,2	32,8	0,0	390,2	2194,2
Trasimeno	38,5	7,3	29,8	176,4	88,3	6,4	0,0	150,8	497,5
Nestore	189,0	75,5	466,2	522,2	739,9	21,7	0,0	136,2	2150,7
Paglia - Chiani	81,8	10,1	51,7	131,4	94	10,5	0,0	79,0	458,5
Nera	342,7	97,6	51,2	542	767,0	31,3	0,0	329,4	2161,2
Arno	3,6	4,3	0	10,3	7,5	1,8	0,0	41,9	69,4
TAMA	11,1	0	0	8	31,4	1,4	0,0	43,0	94,9
Totale	1.385,9	1.050,2	1.309,2	3.235,0	2.990,0	181,9	0,0	2.031,3	12183,5

Tab. 18 - Carichi di azoto sversati in corpo idrico superficiale da tutte le fonti

Nome sottobacino	Da Fonti Puntuali						Da Fonti Diffuse		Totale
	Depuratori	Eccedenze	Reti non depurate	Scaricatori di piena	Attività produttive in c.i.s.	Scarichi puntuali su suolo	Agricolo	Zootecnico	
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	
Alto Tevere	106,4	0	57	64,4	16,6	26,66	886,2	192,9	1350,2
Medio Tevere	73,5	4,2	32	24,6	5,1	19,84	1.121,9	265,9	1547,0
Basso Tevere	45,6	10,8	15,4	10,1	2	9,72	593,9	80,4	767,9
Chiascio	74,1	50,1	20,6	38,7	13,7	14,56	447,3	226,9	886,0
Topino - Marroggia	170,9	110,8	21	60,9	20,7	30,56	1.191,2	366,0	1972,1
Trasimeno	28,7	1,5	6,1	19	2,7	5,92	390,7	97,2	551,8
Nestore	116,1	15,5	95,8	56,3	15,4	20,20	638,2	174,7	1132,2
Paglia - Chiani	52,2	2,1	10,6	14,2	2	9,84	592,9	57,6	741,4
Nera	178,9	20,1	10,5	58,4	124,1	29,24	668,5	219,9	1309,6
Arno	4,1	0,9	0	1,1	0,2	1,70	110,2	24,7	142,9
TAMA	9,8	0	0	0,9	0,2	1,34	95,5	29,2	136,9
Totale	860,2	216,0	269,0	348,6	202,7	169,6	6.736,6	1.735,4	10538,1

Tab. 19 - Carichi di fosforo sversati in corpo idrico superficiale da tutte le fonti

Nome sottobacino	Da Fonti Puntuali						Da Fonti Diffuse		Totale
	Depuratori	Eccedenze	Reti non depurate	Scaricatori di piena	Attività produttive in c.i.s.	Scarichi puntuali su suolo	Agricolo	Zootecnico	
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	
Alto Tevere	23,6	0	7,4	20,1	1,2	0,549	45,8	8,6	107,2
Medio Tevere	6,4	0,5	4,2	7,7	0,4	0,408	54,3	13,1	87,0
Basso Tevere	4,7	1,4	2	3,2	0,1	0,201	28,2	4,2	44,0
Chiascio	15,9	6,5	2,7	12,1	1	0,3	23,1	7,4	69,0
Topino - Marroggia	21,9	14,4	2,7	19	1,5	0,63	52,0	17,6	129,7
Trasimeno	2,1	0,2	0,8	5,9	0,2	0,123	16,0	5,2	30,5
Nestore	27,7	2	12,4	17,6	1,1	0,417	33,4	5,1	99,7
Paglia - Chiani	6,8	0,3	1,4	4,4	0,1	0,201	35,8	3,0	52,0
Nera	34,5	2,6	1,4	18,2	14,9	0,6	30,7	11,4	114,3
Arno	0,3	0,1	0	0,3	0	0,036	4,4	1,5	6,6
TAMA	0,9	0	0	0,3	0	0,027	4,6	1,5	7,3
Totale	144,7	28,0	35,0	108,8	20,5	3,5	328,3	78,5	747,3

In Tab. 20 e successive vengono stimate le masse MF per le aste simulate; va sottolineato che i valori delle masse immagazzinate in sistemi isolati (MF) del Fiume Tevere contengono al loro interno quelli del Fiume Chiascio che a loro volta contengono quelli relativi al sottobacino Topino-Marroggia.

Tab. 20 - Stima della distribuzione delle masse di nutrienti nel bacino del Tevere (t/anno)

Descrizione	Azoto (t/anno)	Fosforo (t/anno)
Stima dello sversato su corpo idrico superficiale (MT)	7988	539
In transito nel Tevere in ingresso a Corbara calcolato da modello (MA)	6017	331
Trattenuto da falde, vegetazione fluviale, alghe ecc. (MF)	1971 (25% di MT)	208 (39% di MT)

Tab. 21 - Stima della distribuzione delle masse di nutrienti nel bacino del Chiascio (t/anno)

Descrizione	Azoto (t/anno)	Fosforo (t/anno)
Stima dello sversato su corpo idrico superficiale (MT)	3006	201
In transito nel Chiascio prima della confluenza nel Tevere calcolato da modello (MA)	2087	140
Trattenuto da falde, vegetazione fluviale, alghe ecc. (MF)	919 (31% di MT)	61 (30% di MT)

Tab. 22 - Stima della distribuzione delle masse di nutrienti nei bacini di Topino e Marroggia (t/anno)

Descrizione	Azoto (t/anno)	Fosforo (t/anno)
Stima dello sversato su corpo idrico superficiale (MT)	2079	129
In transito nel Topino prima della confluenza nel Chiascio calcolato da modello (MA)	1357	93
Trattenuto da falde, vegetazione fluviale, alghe ecc. (MF)	722 (35% di MT)	36 (28% di MT)

Considerando valide tutte le assunzioni fatte sia nella costruzione del modello, sia nella stima dei carichi sversati per sottobacino, le tre tabelle precedenti suggeriscono che i carichi di nutrienti in uscita dalle aste fluviali simulate risultano di circa il 30% inferiori rispetto a quelli sversati sui corpi idrici superficiali dei corrispondenti bacini drenanti.

Come detto in precedenza, essendo questo 30% di carico "non transitante" imputabile anche ai fenomeni depurativi che avvengono lungo le aste non simulate, si potrebbe cercare di simulare queste ultime per ottenere di conseguenza un'informazione di maggior dettaglio sugli scambi di carico con i sistemi sotterranei isolati.

In conclusione la realizzazione del modello ha consentito di stimare con discreta approssimazione i carichi veicolati attraverso il sistema fluviale e di fornire una stima altrettanto coerente sia del carico

diffuso, sia dei rapporti tra il carico generato all'origine e le presumibili destinazioni dello stesso. In particolare, è risultato utile lo schema medio mensile, dato che tale discretizzazione consente di simulare bene la dinamica fluviale.

Un'ultima considerazione riguarda il controllo dei coefficienti che regolano le equazioni utilizzate nel modello; si tratta di un insieme non trascurabile di valori dai quali pure dipende il corretto impiego del sistema di calcolo e l'aderenza delle soluzioni alla fisica del problema. Quelli qui impiegati sono molto vicini al valore centrale degli intervalli suggeriti da Brown & Barnwell (1987), valori che hanno mostrato di fornire risultati accettabili. Sarebbe tuttavia auspicabile in futuro poter disporre di un livello più approfondito di conoscenze per poter migliorare anche questo aspetto.

Il lavoro svolto può essere considerato un livello di prima approssimazione, dal quale è possibile ricavare utili considerazioni anche per quello che riguarda l'assetto delle conoscenze sperimentali da ipotizzare per il futuro, con particolare riferimento alla possibilità di:

- analizzare la qualità fluviale durante gli eventi di piena;
- caratterizzare gli affluenti minori sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo;
- completare il quadro idrologico per le stazioni prive di scala di deflusso.

5 APPLICAZIONE DEL MODELLO D'ASTA NEL PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLA REGIONE UMBRIA

5.1 Il modello di qualità e la generazione degli scenari del Piano di Tutela delle Acque

Come accennato in precedenza, il modello QUAL2E della U.S. E.P.A. può essere validamente impiegato a supporto della pianificazione, per studiare l'impatto di scarichi inquinanti lungo i fiumi, oppure per verificare l'effetto di cambiamenti dei deflussi idrologici sui parametri di qualità; esso offre infatti la possibilità di sviluppare, in base ai dati in ingresso al modello, scenari specifici.

Sulla base dei dati disponibili e delle operazioni di taratura effettuate, è stato possibile generare scenari di grande dettaglio su scala temporale mensile.

Ciò ha comportato un notevole studio preliminare per individuare l'insieme dei dati necessari al funzionamento del modello: si è trattato infatti di predisporre una grande quantità di informazioni da utilizzare come dati di input, sia dal punto di vista idraulico (definizione della morfologia d'asta, delle caratteristiche idrauliche, etc.) che di qualità (ingressi concentrati e diffusi, coefficienti delle varie cinetiche, etc.).

L'applicazione di QUAL2E alla realtà umbra si prefigge l'obiettivo di integrazione fra il modello di qualità fluviale e lo schema DPSIR (Determinanti – Pressioni – Stati – Impatti – Risposte) introdotto dalla Direttiva Acque della Comunità Europea (2000/60/CE) per la salvaguardia delle acque.

Lo schema DPSIR risulta di difficile applicazione soprattutto per l'impossibilità di valutare scenari ipotetici, diversi dall'attuale, in mancanza di strumenti modellistici in grado di effettuare simulazioni che tengano conto delle possibili oscillazioni di determinanti e/o conseguenti pressioni. Attraverso l'integrazione fra i due ambienti si possono invece analizzare sia gli scenari attuali, sia quelli ipotetici applicabili al modello già tarato su un insieme di dati attuali.

Un esempio di schema di integrazione di QUAL2E nel contesto DPSIR è illustrato nella seguente Fig. 77:



Fig. 77 - Esempio di schema di integrazione di QUAL2E nel contesto DPSIR

QUAL2E può allora essere visto come uno strumento di collegamento tra le pressioni e gli stati. Resta tuttavia da chiarire in quale modo QUAL2E possa essere in grado di fornire una rappresentazione dello stato del sistema fluviale.

L'opportunità per effettuare questo passaggio concettuale è direttamente offerta dalla normativa, che stabilisce gli indici utili a rappresentare lo stato di qualità di un fiume.

Tra questi, quello che presenta le migliori caratteristiche ai fini dell'integrazione del modello QUAL2E nello schema DPSIR è rappresentato dal Livello di Inquinamento da Macrodescrittori (LIM).

Tale indice, la cui definizione è contenuta nel D.Lgs. 152/99, All.1, è infatti direttamente ricavabile in funzione di parametri chimico-fisici che possono essere simulati da QUAL2E.

In particolare, il LIM è calcolato a partire dai seguenti parametri macrodescrittori: OD (% saturazione), BOD5 (mg/l), COD (mg/l), Azoto ammoniacale (mg/l N), Azoto nitrico (mg/l N), Fosforo totale (mg/l), Escherichia coli (UFC/100ml), tutti parametri che vengono restituiti in output da QUAL2E.

In conformità a quanto previsto dall'All. 1 al D. Lgs. 152/99 e s.m.i., il livello di qualità relativa ai macrodescrittori viene attribuito utilizzando la tab. 7 del medesimo allegato, sulla base del procedimento di seguito descritto:

- sull'insieme dei risultati ottenuti durante la fase di monitoraggio bisogna calcolare, per ciascun parametro macrodescrittore il valore del 75° percentile. a tale scopo deve essere effettuato un

monitoraggio a cadenza mensile per un periodo di tempo pari a 12 o 24 mesi. Ai fini della classificazione devono essere disponibili almeno il 75% dei risultati delle misure eseguibili nel periodo considerato.

- si individua la colonna in cui ricade il risultato ottenuto, individuando così il livello di inquinamento da attribuire a ciascun parametro e, conseguentemente, il suo punteggio;
- si ripete tale operazione per ciascun parametro e si sommano i punteggi ottenuti;
- si individua il livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori in base all'intervallo in cui ricade il valore della somma dei livelli ottenuti dai diversi parametri.

La tabella seguente mostra i punteggi da attribuire per ogni valore dei parametri macrodescrittori:

Tab. 23 - Tabella per il calcolo del LIM

Parametro	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
100-OD (%sat)	≤ 10	≤ 20	≤ 30	≤ 50	≤ 50
BOD5 (O2 mg/l)	<2.5	≤4	≤8	≤15	>15
COD (mg/l)	<5	≤10	≤15	≤25	>25
NH4 (N mg/l)	<0.03	≤0.10	≤0.50	≤1.50	>1.50
NO3 (N mg/l)	<0.3	≤1.5	≤5.0	≤10.0	>10.0
Fosforo totale (P mg/l)	<0.07	≤0.15	≤0.30	≤0.60	>0.60
Escherichia coli (UFC/100 ml)	<100	≤1000	≤5000	≤20000	>20000
Punteggio	80	40	20	10	5

In Tab. 24 viene invece presentato il Livello di Inquinamento espresso dai Macrodescrittori in funzione della somma dei singoli punteggi.

Tab. 24 – Punteggi e Livello di Inquinamento espresso dai macrodescrittori

LIM	Punteggio
Livello 1	560-480
Livello 2	475-240
Livello 3	235-120
Livello 4	115-60
Livello 5	<60

Il LIM è stato quindi scelto come unità di misura degli effetti delle misure di Piano proposte sullo stato di qualità delle aste simulate.

Dal confronto tra il LIM allo stato attuale (LIM 2002-2003) e il LIM corrispondente allo scenario derivante dall'applicazione delle misure di Piano è stato possibile valutare l'efficacia delle misure stesse.

Sono tuttavia necessarie alcune precisazioni. Innanzitutto, l'impiego del LIM quale indicatore unico dello stato di qualità di un sistema fluviale fornisce una rappresentazione solo parziale.

In realtà il LIM rappresenta soltanto una delle due componenti che definiscono lo stato ecologico (SECA) ai sensi del D. Lgs. 152/99: il SECA è infatti determinato dal livello peggiore tra LIM e Indice Biotico Esteso (IBE).

Lo stato ambientale (SACA), così come definito nel medesimo decreto, deve inoltre tenere conto anche dello stato chimico, determinato dalla presenza degli inquinanti chimici di cui alla tab. 1, All. 1.

In definitiva, il raggiungimento di un valore del livello di LIM inferiore o pari a 2 rappresenta quindi una condizione necessaria ma non sufficiente al raggiungimento del buono stato ambientale.

Nell'impossibilità di effettuare valutazioni affidabili sugli effetti delle misure previste sui valori di IBE, si è quindi necessariamente scelto di fare riferimento al solo LIM, assumendo come obiettivo il Livello LIM compatibile con il buono stato di qualità. Risulta comunque verosimile che variazioni positive del LIM siano accompagnate da miglioramenti dell'IBE, in particolare in considerazione del fatto che un progressivo miglioramento della gestione degli scarichi, dovrebbe ridurre la possibilità di sversamenti fuori controllo anche solo occasionali, che, se non sembrano incidere significativamente sui macrodescrittori, possono compromettere lo stato biologico, oltre ovviamente a quello chimico.

Inoltre, con l'introduzione del D. Lgs. 152/06, che attua quanto previsto dalla Direttiva Europea sulle Acque 2000/60/CE, i criteri per la valutazione dello stato ambientale vengono radicalmente modificati; il

Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori viene abbandonato, lasciando il posto ad altri elementi che contribuiscono a definire la classificazione dello stato ecologico. In particolare, il monitoraggio risulta obbligatorio per un numero ridotto di parametri chimici e chimico fisici e con frequenze ridotte rispetto alle attuali; l'obbligatorietà del monitoraggio e la frequenza mensile vengono stabilite per gli inquinanti e le sostanze pericolose che possono compromettere il raggiungimento dell'obiettivo di qualità sui corpi idrici a rischio.

Un'ulteriore precisazione riguarda l'analisi dei carichi generati allo stato attuale e allo stato di scenario ed impiegati quali dati di input nel modello QUAL2E.

Allo stato attuale, i carichi sversati possono ritenersi sottostimati, in quanto non tengono conto di fenomeni di inquinamento accidentale o doloso che possono pregiudicare l'attuale stato di qualità. Allo stato di scenario, invece, occorre sottolineare che è stata considerata l'applicazione delle sole misure obbligatorie (O) e di Piano (P) previste nelle Sezz. II, III e IV della Parte III del Piano di tutela e i cui effetti, in termini di carichi sversati in corpo idrico superficiale, erano quantificabili e sono stati quantificati nelle tabelle di cui alla Parte III, Sez. III, di seguito richiamate in forma sintetica (Tab. 25, Tab. 26 e Tab. 27).

I benefici apportati da alcune misure di tutela, anche a carattere obbligatorio, risultano invece di difficile o impossibile quantificazione. Ne consegue che gli effetti valutati potrebbero essere sottostimati, e che i benefici derivanti dalle misure non quantificate potrebbero risultare decisivi ai fini del raggiungimento degli obiettivi di Piano.

Ne sono un esempio le misure finalizzate all'abbattimento dei coliformi in uscita dagli impianti di depurazione, che rappresentano una delle principali criticità del reticolo umbro allo stato attuale. A tal proposito, anche in considerazione di alcune difficoltà mostrate dal modello di qualità nella simulazione del parametro E. Coli, è stata fatta l'ipotesi che le specifiche misure di Piano previste possano essere ritenute sufficienti alla riduzione della carica batterica fecale fino a valori compatibili con l'obiettivo di qualità; per tutte le stazioni oggetto di simulazione è stato quindi assunto un punteggio del parametro E. Coli sempre pari a 40.

L'effetto delle misure a scenario è stato simulato sotto forma di variazioni percentuali dei carichi sversati rispetto alla configurazione rappresentativa dello stato attuale utilizzata per la taratura, ottenute a partire dalle variazioni percentuali a scala di sottobacino stimate nella Parte III, Sez. III del Piano di tutela.

Di seguito si riportano le tabelle dei carichi sversati per sottobacino a seguito dell'applicazione delle misure di Piano. Da queste si ricavano, per confronto con le Tab. 17, Tab. 18 e Tab. 19, le percentuali di riduzione rispetto ai carichi attuali: tali riduzioni percentuali sono quelle che sono state fornite in alimentazione al modello per la generazione degli scenari (Fig. 78, Fig. 79 e Fig. 80).

Tab. 25 – Carichi di BOD₅ sversati, a seguito dell'adozione delle misure, dalle tipologie di scarico puntuali e diffuse, suddivisi per sottobacino

Nome sottobacino	Da Fonti Puntuali					Da Fonti Diffuse	Totale
	Depuratori	Reti non depurate	Scaricatori di piena	Industria	Non serviti da rete	Zootecnico	
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	
Alto Tevere	171.97	0.00	460.61	539.00	27.67	203.00	1402.25
Medio Tevere	88.00	0.00	200.95	257.60	19.01	256.40	821.96
Basso Tevere	57.68	0.00	94.20	23.40	9.02	118.30	302.60
Chiascio	119.72	0.00	293.02	145.70	14.96	165.80	739.20
Topino - Marroggia	191.45	0.00	452.59	296.20	29.29	336.70	1306.23
Trasimeno	37.78	0.00	161.90	88.30	5.90	119.40	413.28
Nestore	189.13	0.00	435.03	739.90	20.86	108.10	1493.02
Paglia - Chiani	57.06	0.00	118.60	94.00	7.85	71.10	348.61
Nera	305.47	0.00	447.20	767.00	28.60	296.40	1844.67
Arno	3.15	0.00	10.30	7.50	1.65	37.20	59.80
T.A.M.A.	10.34	0.00	8.00	31.40	1.37	38.70	89.81
Totale	1231.75	0.00	2682.40	2990.00	166.18	1751.10	8821.43

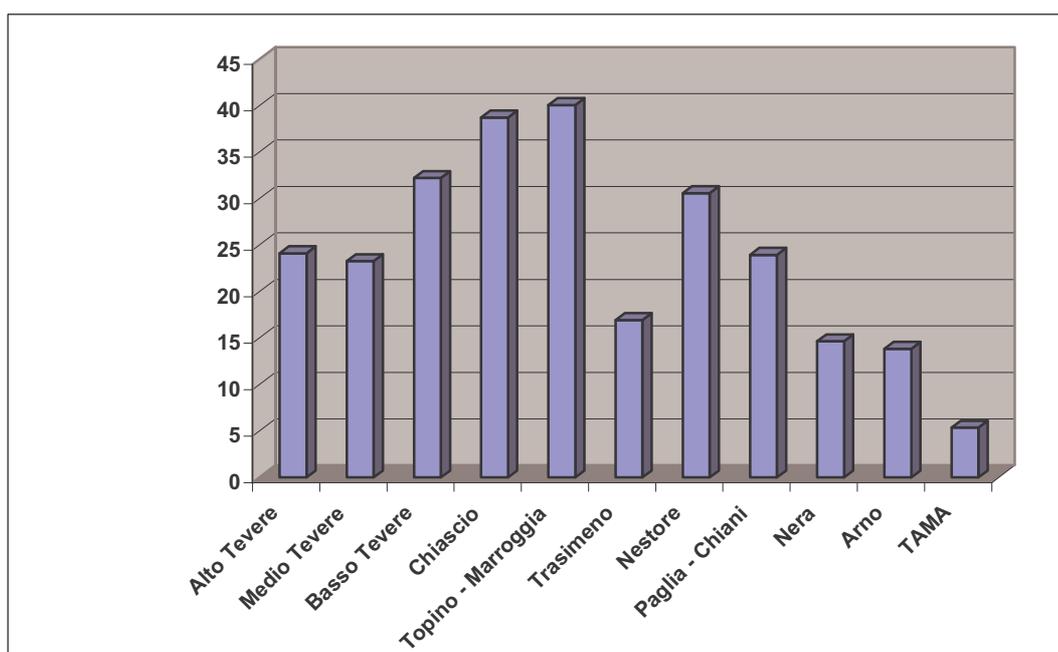


Fig. 78 - Percentuale di riduzione di BOD₅ sversato su corpo idrico superficiale per sottobacino a seguito dell'applicazione delle misure di piano

Tab. 26 - Carichi di azoto sversati, a seguito dell'adozione delle misure, dalle tipologie di scarico puntuali e diffuse, suddivisi per sottobacino

Nome sottobacino	Da Fonti Puntuali					Da Fonti Diffuse		Totale
	Depuratori	Reti non depurate	Scaricatori di piena	Industria	Non serviti da rete	Chimico	Zootecnico	
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	
Alto Tevere	113.99	0.00	49.49	16.60	25.80	606.70	110.40	922.98
Medio Tevere	82.07	0.00	21.44	5.10	17.71	772.60	146.30	1045.22
Basso Tevere	62.87	0.00	10.10	2.00	8.43	405.50	49.70	538.60
Chiascio	81.30	0.00	31.40	13.70	13.96	336.90	103.30	580.56
Topino - Marroggia	136.35	0.00	48.51	20.70	27.29	776.40	209.00	1218.25
Trasimeno	34.41	0.00	17.50	2.70	5.45	159.80	45.20	265.06
Nestore	139.60	0.00	46.86	15.40	19.42	474.00	72.80	768.08
Paglia - Chiani	56.85	0.00	12.70	2.00	7.36	401.10	37.90	517.91
Nera	183.94	0.00	48.40	124.20	26.66	456.40	143.20	982.80
Arno	4.93	0.00	1.10	0.20	1.56	74.10	13.30	95.19
T.A.M.A.	9.83	0.00	0.90	0.20	1.31	65.10	19.10	96.44
Totale regionale	906.14	0.00	288.40	202.80	154.94	4528.50	950.30	7031.08

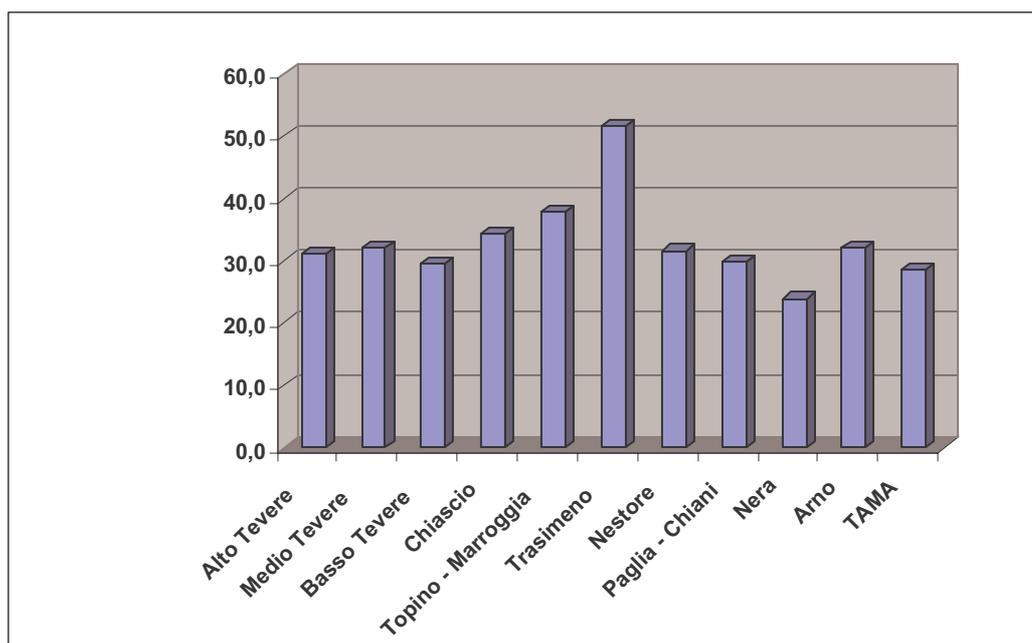


Fig. 79 - Percentuale di riduzione di azoto sversato su corpo idrico superficiale per sottobacino a seguito dell'applicazione delle misure di piano

Tab. 27 - Carichi di fosforo sversati, a seguito dell'adozione delle misure, dalle tipologie di scarico puntuali e diffuse, suddivisi per sottobacino

Nome sottobacino	Da Fonti Puntuali					Da Fonti Diffuse		Totale
	Depuratori	Reti non depurate	Scaricatori di piena	Industria	Non serviti da rete	Chimico	Zootecnico	
	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	(t/anno)	
Alto Tevere	7.03	0	15.6	1.2	0.53	40.5	7.7	72.56
Medio Tevere	6.87	0	6.8	0.4	0.36	47.7	11.7	73.83
Basso Tevere	6.29	0	3.2	0.1	0.17	25.4	3.8	38.96
Chiascio	6.28	0	9.9	1	0.29	20	6.6	44.07
Topino - Marroggia	10.5	0	15.3	1.5	0.56	43.2	15.5	86.56
Trasimeno	2.65	0	5.4	0.2	0.11	7.7	4.2	20.26
Nestore	13.41	0	14.7	1.1	0.4	30	4.6	64.21
Paglia - Chiani	4.83	0	3.9	0.1	0.15	32.2	2.7	43.88
Nera	14.28	0	14.9	14.9	0.55	27.6	10.2	82.43
Arno	0.39	0	0.3	0	0.03	3.7	1.3	5.72
T.A.M.A.	0.86	0	0.3	0	0.03	4.2	1.3	6.69
Totale regionale	73.4	0	90.2	20.5	3.2	282.2	69.7	539.2

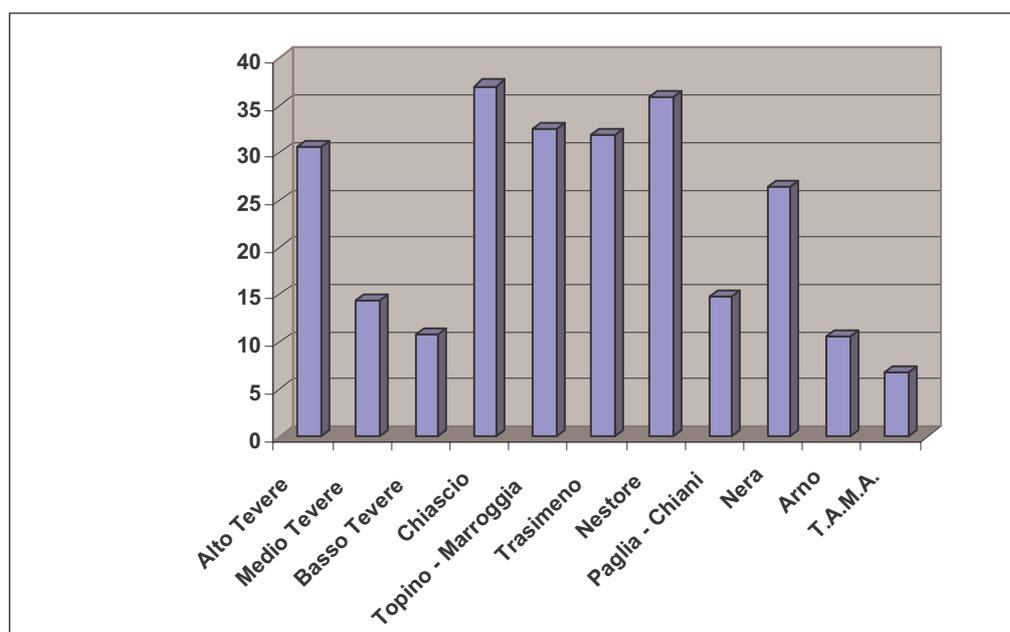


Fig. 80 - Percentuale di riduzione di fosforo sversato su corpo idrico superficiale per sottobacino a seguito dell'applicazione delle misure di piano

Dal momento che l'efficacia delle misure di Piano è stata quantificata esclusivamente in termini di riduzione di BOD5, Azoto totale e Fosforo totale sversati, tutte le variazioni degli altri parametri necessari per il calcolo del LIM sono state valutate in funzione delle variazioni dei 3 parametri citati.

Nelle simulazioni di scenario sono state fatte inoltre alcune ipotesi per modificare l'assetto idraulico di alcune tra le aste oggetto di simulazione, sulla base di quanto previsto dalle misure di tutela quantitativa di cui alla Parte III, Sez. II del Piano di tutela, finalizzate al risparmio della risorsa idrica e alla tutela del Deflusso Minimo Vitale.

In particolare, a livello strettamente pratico ed operativo, le portate medie mensili stimate nel periodo 2000-2003 sono state modificate imponendo una portata pari al DMV nei giorni in cui si sono verificate condizioni di deficit. La modifica ha interessato in particolar misura le stazioni idrometriche di Azzano sul

Torrente Marroggia e di Bevagna sul Fiume Topino. Successivamente, sono state aumentate le portate in tutti i tratti di valle in ragione di tale modifica.

Occorre peraltro sottolineare che all'interno del Piano di Tutela viene prevista la definizione e l'adozione, entro il 2010, del DMV sull'intero reticolo idrografico, e non solo sui corsi d'acqua significativi. Nelle elaborazioni modellistiche è stato ovviamente impossibile tenere conto di questa misura di Piano, ma si può ipotizzare che l'effetto di diluizione di questi nuovi volumi transitanti potrebbe risultare decisivo per il raggiungimento degli obiettivi di qualità di alcune aste.

In Fig. 81 sono evidenziate le stazioni di qualità delle aste fluviali modellate, in corrispondenza delle quali è stato valutato il LIM di scenario.

Conformemente a quanto previsto nella nuova normativa nazionale (D.Lgs 152/06), in recepimento della WFD 60/2000, l'orizzonte temporale di riferimento per il raggiungimento degli obiettivi di Piano sul quale viene valutato lo scenario simulato è rappresentato dall'anno 2015.

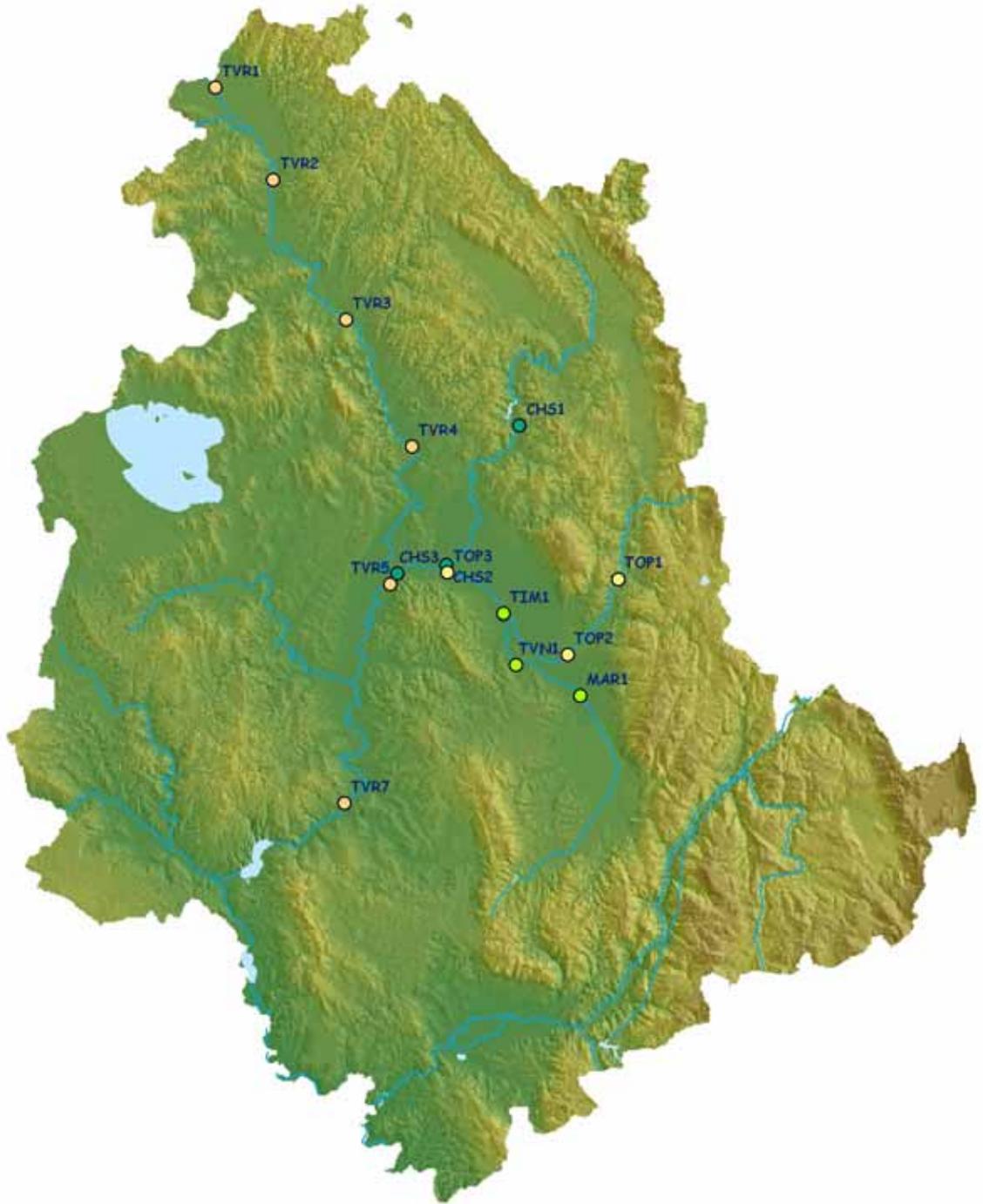


Fig. 81 – Stazioni di qualità significative per le modellazioni delle aste fluviali in Umbria

5.2 La simulazione lungo l'asta del Tevere

Nelle immagini da Fig. 82 a Fig. 84 sono riportati i carichi veicolati dal Fiume Tevere (espressi in tonnellate/mese) in corrispondenza dell'ultima sezione simulata dal modello, a monte dell'invaso di Corbara; gli stessi carichi vengono poi dettagliati attraverso le tabelle da Tab. 28 a Tab. 30.

Una rappresentazione di maggior dettaglio è riportata in Tab. 31 mediante il confronto tra i dati della taratura del modello e quelli derivanti dalla simulazione dello scenario al 2015 presso le stazioni di qualità.

Nelle Fig. 85 e Fig. 86 è invece rappresentata l'evoluzione della massa annua di azoto totale e fosforo totale trasportate lungo il profilo del Tevere.

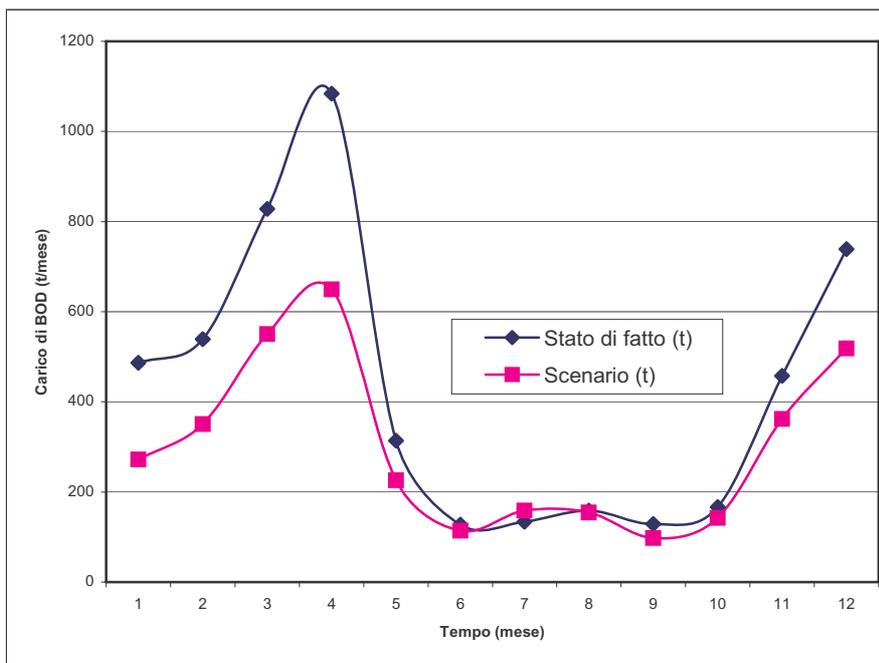


Fig. 82 - Simulazione dello scenario di riduzione del BOD5 (sezione di uscita del modello del Tevere)

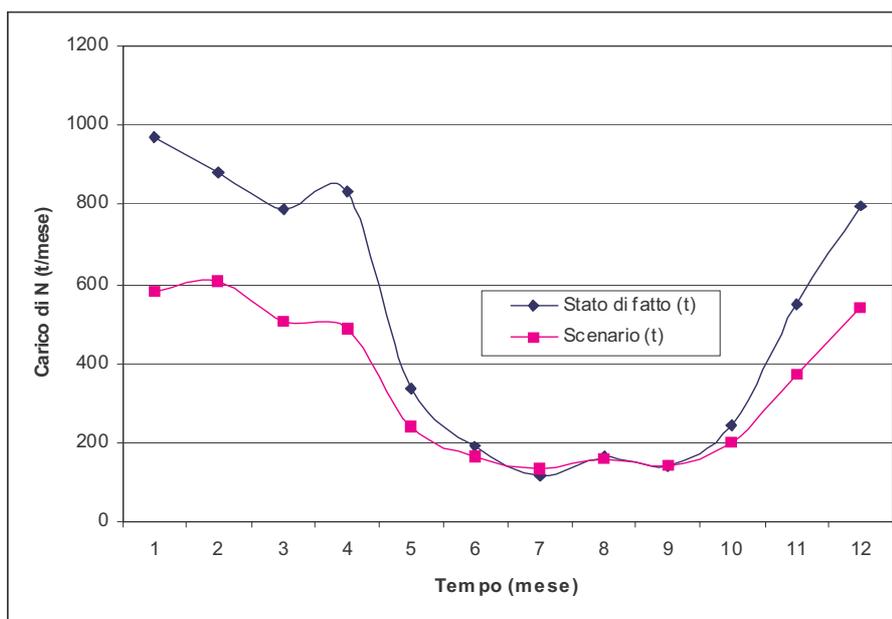


Fig. 83 - Simulazione dello scenario di riduzione dell'azoto totale (sezione di uscita del modello del Tevere)

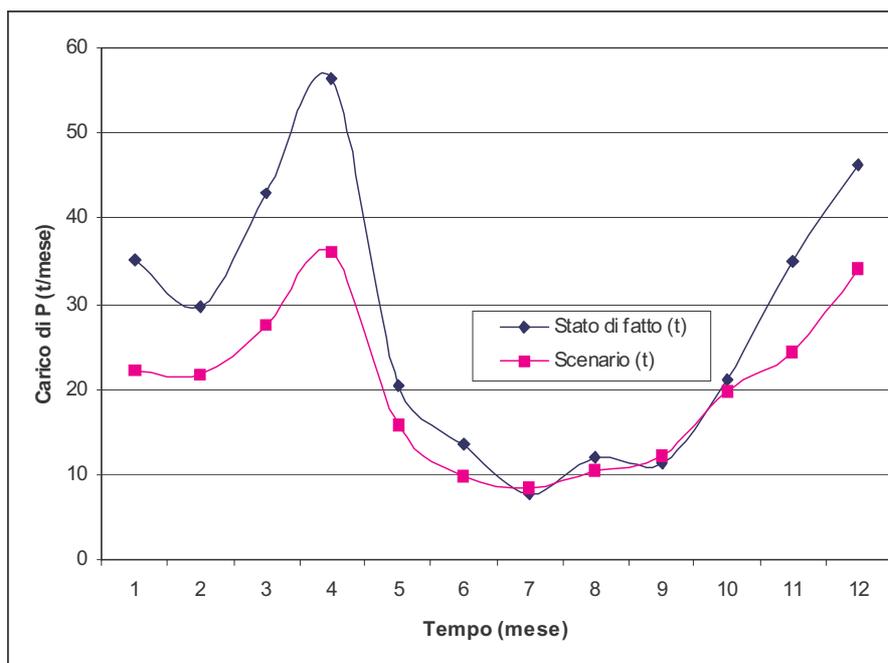


Fig. 84 - Simulazione dello scenario di riduzione del fosforo totale (sezione di uscita del modello del Tevere)

Tab. 28 - Carico mensile di BOD5 veicolato alla sezione di uscita del modello del Tevere

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	486.6	272.3	-44.0
2	538.9	350.4	-35.0
3	828.1	550.5	-33.5
4	1083.9	649.5	-40.1
5	313.6	225.9	-28.0
6	127.8	113.7	-11.0
7	134.1	158.4	18.1
8	158.4	154.3	-2.6
9	129.2	98.1	-24.1
10	166.7	142.4	-14.6
11	457.8	361.9	-21.0
12	739.0	518.6	-29.8
Anno	5164.2	3595.9	-30.4

Tab. 29 - Carico di N totale veicolato alla sezione di uscita del modello del Tevere

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	971.8	580.5	-40.3
2	879.3	608.1	-30.8
3	788.2	506.0	-35.8
4	834.4	485.1	-41.9
5	335.9	237.9	-29.2
6	190.3	162.2	-14.7
7	116.4	131.0	12.5
8	165.7	157.3	-5.1
9	143.6	143.9	0.2
10	245	198.3	-19.1
11	547.8	372.1	-32.1
12	798.1	539.1	-32.4
Anno	6016.8	4121.5	-31.5

Tab. 30 - Carico di P alla sezione di uscita del modello del Tevere

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	35.3	22.2	-37.2
2	29.6	21.7	-26.6
3	43.0	27.4	-36.3
4	56.4	36.1	-36.0
5	20.3	15.7	-22.7
6	13.6	9.7	-28.4
7	7.8	8.5	8.6
8	11.9	10.5	-12.1
9	11.3	12.2	7.6
10	21.0	19.8	-5.9
11	35.0	24.3	-30.7
12	46.2	34.1	-26.2
Anno	331.3	242.1	-26.9

Tab. 31 - Confronto tra i dati della taratura del modello relativi alle condizioni attuali e quelli derivanti dalla simulazione dello scenario al 2015 (Fiume Tevere)

Mese	Nome Stazione e codice	Portata attuale simulata (m3/s)	OD		BOD5		COD		NH3		NO2		NO3		N tot		P org		P dis		P tot		
			Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)
1	Pistrino - TVR1	4.4	11.10	11.12	1.80	1.44	8.40	7.83	0.60	0.44	0.60	0.40	0.04	0.70	0.45	1.90	1.32	0.01	0.01	0.07	0.05	0.08	0.06
	S.Lucia - TVR2	13.2	11.90	11.88	2.00	1.58	8.30	7.69	0.30	0.46	0.30	0.27	0.31	1.20	0.82	2.50	1.78	0.01	0.01	0.06	0.05	0.07	0.05
	Montecorona-TV3	25.7	12.40	12.45	1.50	1.17	6.80	6.34	0.20	0.52	0.20	0.18	0.17	1.50	1.05	2.70	1.88	0.01	0.01	0.04	0.03	0.05	0.04
	P.Felcino - TVR4	31.4	12.20	12.23	1.50	1.19	6.30	5.80	0.20	0.42	0.20	0.16	0.26	1.80	1.27	2.90	2.02	0.01	0.01	0.04	0.03	0.05	0.04
	Pontenuovo - TVR5	62.2	12.20	12.18	3.40	1.69	9.90	7.37	1.40	0.89	1.40	0.89	0.09	2.50	1.29	4.60	2.58	0.03	0.02	0.14	0.08	0.17	0.10
	Pontecuti - TVR7	74.3	12.20	12.17	2.50	1.36	9.00	7.38	1.30	0.85	1.30	0.85	0.20	2.90	1.62	4.90	2.90	0.02	0.01	0.16	0.10	0.18	0.11
	Pistrino - TVR1	5.1	11.10	11.06	1.80	1.42	7.40	6.82	0.40	0.61	0.40	0.26	0.12	0.30	0.23	1.70	1.20	0.03	0.02	0.04	0.03	0.06	0.05
2	S.Lucia - TVR2	11.4	11.30	11.31	1.70	1.34	8.30	7.73	0.30	0.50	0.30	0.26	0.44	0.90	0.59	2.30	1.67	0.02	0.02	0.04	0.03	0.06	0.05
	Montecorona-TV3	17.4	11.80	11.81	2.60	2.01	7.00	6.15	0.30	0.57	0.30	0.24	0.32	1.20	0.82	2.60	1.87	0.02	0.02	0.06	0.05	0.08	0.07
	P.Felcino - TVR4	21.2	11.50	11.47	1.40	1.08	6.50	5.98	0.20	0.58	0.20	0.12	0.34	1.50	1.05	2.80	1.99	0.03	0.02	0.06	0.05	0.09	0.07
	Pontenuovo - TVR5	42.6	11.60	11.55	2.50	1.51	7.30	5.89	1.40	0.67	1.40	0.25	0.24	2.10	1.10	4.00	2.20	0.03	0.03	0.15	0.09	0.19	0.12
	Pontecuti - TVR7	52.3	10.60	10.68	4.20	2.71	10.20	8.00	2.70	1.78	2.70	1.78	0.45	2.70	1.60	6.90	4.24	0.04	0.03	0.20	0.12	0.23	0.15
	Pistrino - TVR1	2.1	11.30	11.26	1.90	1.51	8.70	8.14	0.10	0.52	0.10	0.10	0.07	0.70	0.48	1.60	1.15	0.14	0.10	0.04	0.04	0.18	0.14
	S.Lucia - TVR2	10.5	10.40	10.42	1.50	1.13	7.60	7.14	1.20	0.87	1.20	0.17	0.29	1.30	0.94	3.10	2.18	0.07	0.05	0.03	0.03	0.10	0.08
3	Montecorona-TV3	18.7	10.80	10.82	1.40	1.09	7.10	6.67	0.80	0.54	0.20	0.14	0.32	1.30	0.89	2.60	1.80	0.03	0.02	0.04	0.03	0.07	0.05
	P.Felcino - TVR4	23.8	10.30	10.31	1.60	1.22	7.10	6.55	0.80	0.53	0.20	0.14	0.36	1.70	1.19	3.00	2.10	0.02	0.02	0.03	0.03	0.06	0.04
	Pontenuovo - TVR5	48.3	10.00	10.02	3.30	1.99	9.20	7.32	0.30	0.43	0.30	0.18	0.23	2.30	1.29	3.60	2.04	0.04	0.02	0.10	0.06	0.14	0.08
	Pontecuti - TVR7	61.9	10.50	10.52	5.00	3.14	10.70	7.96	0.80	0.49	0.80	0.22	0.79	2.80	1.68	4.80	2.89	0.03	0.02	0.23	0.14	0.26	0.16
	Pistrino - TVR1	5.9	10.50	10.48	2.00	1.50	7.70	7.06	0.10	0.34	0.10	0.06	0.04	0.50	0.33	1.10	0.76	0.03	0.02	0.03	0.02	0.06	0.05
	S.Lucia - TVR2	13.9	10.00	9.96	2.00	1.57	7.90	7.21	1.20	0.81	1.20	0.10	0.54	1.10	0.76	2.90	2.06	0.02	0.02	0.04	0.03	0.07	0.05
	Montecorona-TV3	23.2	9.90	9.89	2.00	1.52	7.70	7.06	0.80	0.58	0.10	0.06	0.60	1.00	0.71	2.50	1.76	0.03	0.02	0.05	0.04	0.08	0.06
4	P.Felcino - TVR4	30.0	10.80	10.80	2.10	1.62	8.90	8.20	0.70	0.49	0.00	0.03	0.58	1.10	0.78	2.40	1.72	0.03	0.02	0.06	0.04	0.09	0.06
	Pontenuovo - TVR5	59.2	9.80	9.95	3.70	1.88	11.40	8.79	0.80	0.49	0.30	0.12	0.29	2.30	0.93	3.70	1.72	0.04	0.03	0.15	0.08	0.20	0.11
	Pontecuti - TVR7	71.7	9.10	9.20	6.00	3.30	15.00	11.05	1.30	0.20	1.30	0.80	0.46	2.40	1.08	4.50	2.38	0.05	0.03	0.26	0.15	0.30	0.18
	Pistrino - TVR1	1.8	9.20	9.16	1.70	1.51	9.40	9.14	0.30	0.34	0.30	0.29	0.07	0.80	0.57	1.70	1.25	0.03	0.02	0.07	0.06	0.10	0.08
	S.Lucia - TVR2	6.7	9.10	9.10	3.20	2.53	18.00	16.98	1.40	0.97	0.20	0.15	0.69	0.90	0.62	3.10	2.25	0.05	0.04	0.09	0.08	0.14	0.12
	Montecorona-TV3	9.9	9.30	9.27	3.00	2.34	13.60	12.65	1.20	0.81	0.20	0.19	0.22	1.40	1.00	3.00	2.15	0.07	0.05	0.11	0.08	0.18	0.14
	P.Felcino - TVR4	12.1	9.30	9.31	2.20	1.74	14.10	13.40	0.50	0.34	0.30	0.21	0.17	1.80	1.28	2.70	1.96	0.06	0.04	0.09	0.07	0.15	0.12
5	Pontenuovo - TVR5	26.2	8.80	8.91	5.10	2.95	15.40	12.28	0.60	0.36	0.40	0.27	0.23	2.20	1.24	3.30	2.00	0.04	0.04	0.19	0.12	0.24	0.15
	Pontecuti - TVR7	36.5	7.30	7.48	3.20	2.01	24.80	23.06	0.30	0.17	0.40	0.30	0.30	2.50	1.46	3.40	2.12	0.03	0.02	0.18	0.12	0.21	0.14
	Pistrino - TVR1	4.1	9.10	9.07	2.90	2.25	11.30	10.32	0.40	0.28	0.30	0.23	0.23	1.00	0.72	2.00	1.42	0.03	0.03	0.11	0.09	0.14	0.12
	S.Lucia - TVR2	5.6	8.20	8.23	3.00	2.37	11.30	10.29	1.00	0.80	0.30	0.22	0.53	1.10	0.82	3.00	2.28	0.03	0.03	0.13	0.11	0.16	0.14
	Montecorona-TV3	6.8	8.40	8.45	1.60	1.26	10.30	9.83	1.10	0.80	0.30	0.26	0.40	1.40	1.00	3.20	2.38	0.03	0.03	0.12	0.11	0.16	0.14
	P.Felcino - TVR4	8.0	8.20	8.22	1.70	1.35	10.40	9.82	0.80	0.58	0.20	0.20	0.37	1.60	1.19	3.00	2.27	0.03	0.02	0.11	0.10	0.14	0.13
	Pontenuovo - TVR5	15.0	7.50	7.76	5.00	3.05	14.20	11.33	0.60	0.37	0.50	0.25	0.27	2.10	1.30	3.40	2.06	0.06	0.03	0.23	0.10	0.29	0.14
6	Pontecuti - TVR7	18.9	6.80	7.09	2.60	1.75	13.60	12.36	0.60	0.38	0.30	0.18	0.58	2.40	1.51	3.90	2.43	0.05	0.03	0.22	0.11	0.28	0.15
	Pistrino - TVR1	4.1	9.10	9.08	2.10	1.59	10.70	10.03	0.70	0.51	0.10	0.09	0.30	0.70	0.50	1.90	1.34	0.04	0.03	0.12	0.10	0.16	0.13
	S.Lucia - TVR2	4.7	7.80	7.80	2.20	1.71	11.20	10.59	1.00	0.75	0.20	0.14	0.65	1.10	0.77	3.00	2.24	0.03	0.03	0.17	0.15	0.20	0.18
	Montecorona-TV3	5.2	8.10	8.08	2.70	2.11	14.50	13.66	1.00	0.76	0.30	0.22	0.65	1.60	1.11	3.60	2.68	0.04	0.03	0.18	0.16	0.22	0.19
	P.Felcino - TVR4	5.8	8.20	8.24	2.20	1.76	13.60	12.97	1.00	0.71	0.30	0.22	0.67	1.50	1.07	3.40	2.58	0.03	0.03	0.17	0.15	0.20	0.18
	Pontenuovo - TVR5	9.2	7.90	8.04	3.80	2.47	14.20	12.26	0.90	0.50	0.30	0.34	0.65	1.90	1.31	3.80	2.53	0.05	0.04	0.22	0.14	0.27	0.18
	Pontecuti - TVR7	10.9	7.90	7.96	4.50	3.08	15.50	13.42	0.90	0.54	0.40	0.35	1.00	1.80	1.27	4.00	2.80	0.06	0.05	0.21	0.13	0.27	0.18
7	Pistrino - TVR1	4.1	9.30	9.33	1.30	1.00	9.50	9.04	0.60	0.44	0.10	0.05	0.09	0.60	0.40	1.40	0.97	0.02	0.01	0.06	0.05	0.08	0.07
	S.Lucia - TVR2	4.6	8.50	8.55	1.80	1.40	10.60	10.11	1.10	0.77	0.10	0.08	0.29	0.80	0.60	2.30	1.71	0.02	0.02	0.12	0.10	0.14	0.12
	Montecorona-TV3	5.1	8.10	8.15	2.20	1.76	11.50	10.86	0.70	0.54	0.40	0.30	0.35	1.20	0.86	2.60	1.99	0.02	0.02	0.13	0.11	0.15	0.13
	P.Felcino - TVR4	5.5	7.50	7.48	2.90	2.27	12.40	11.54	0.30	0.13	0.30	0.22	0.60	1.60	1.23	2.70	2.05	0.02	0.02	0.13	0.11	0.16	0.13
	Pontenuovo - TVR5	10.0	15.4	7.41	3.90	2.20	14.10	11.62	0.40	0.30	0.30	0.27	0.31	2.20	1.43	3.20	2.21	0.05	0.04	0.26	0.14	0.31	0.17
	Pontecuti - TVR7	13.8	6.40	6.68	4.30	2.61	17.10	14.65	1.00	0.60	0.30	0.25	0.55	2.70	1.77	4.50	3.00	0.06	0.04	0.27	0.15	0.32	0.19
	Pistrino - TVR1	3.1	9.10	9.11	1.80	1.43	11.20	10.59	1.50	1.06	0.20	0.12	0.27										

Mese	Nome Stazione e codice	Portata attuale simulata (m3/s)	Portata al 2015 (m3/s)	OD		BOD5		COD		N org		NH3		NO2		NO3		N tot		P org		P dis		P tot	
				Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)
10	Pistrino - TVR1	3.1	3.1	8.70	8.71	2.10	1.66	11.50	10.82	0.90	0.61	0.30	0.23	0.19	0.15	0.60	0.41	2.00	1.39	0.02	0.02	0.08	0.07	0.10	0.08
	S.Lucia - TVR2	5.9	5.9	9.30	9.29	2.40	1.95	12.50	11.79	1.50	1.10	0.30	0.20	0.66	0.53	1.30	0.93	3.80	2.76	0.03	0.02	0.12	0.10	0.15	0.12
	Montecorona-TVR3	6.7	6.7	9.50	9.47	2.30	1.80	13.00	12.32	1.20	0.83	0.10	0.12	0.67	0.54	1.70	1.18	3.60	2.67	0.02	0.01	0.14	0.12	0.16	0.13
	P.Felcino - TVR4	7.6	7.6	9.10	9.14	2.00	1.59	12.10	11.51	0.90	0.65	0.10	0.09	0.54	0.43	1.90	1.37	3.50	2.54	0.01	0.01	0.13	0.11	0.15	0.12
	Pontenuovo - TVR5	16.0	19.8	8.40	8.50	3.70	2.60	14.50	12.94	0.70	0.48	0.20	0.34	0.25	0.19	2.10	1.33	3.30	2.34	0.03	0.04	0.26	0.21	0.29	0.25
	Pontecuti - TVR7	22.3	26.2	8.60	8.66	2.80	2.03	13.30	12.22	0.60	0.42	0.20	0.28	0.46	0.33	2.80	1.80	4.10	2.82	0.03	0.03	0.32	0.26	0.35	0.28
	Pistrino - TVR1	3.1	3.1	10.00	10.03	1.50	1.16	8.30	7.87	0.50	0.32	0.20	0.17	0.17	0.14	0.60	0.42	1.40	1.04	0.02	0.02	0.05	0.05	0.07	0.07
11	S.Lucia - TVR2	11.3	11.3	10.50	10.49	1.70	1.30	9.20	8.67	0.90	0.61	0.30	0.19	0.26	0.21	1.00	0.68	2.40	1.70	0.02	0.02	0.06	0.05	0.08	0.06
	Montecorona-TVR3	16.4	16.4	10.40	10.41	1.50	1.19	9.30	8.84	0.70	0.49	0.30	0.23	0.67	0.49	1.00	0.73	2.70	1.94	0.01	0.01	0.08	0.06	0.09	0.07
	P.Felcino - TVR4	19.0	19.0	10.60	10.61	1.30	1.02	9.10	8.63	0.50	0.38	0.30	0.24	0.93	0.66	1.40	0.97	3.20	2.25	0.02	0.02	0.09	0.07	0.11	0.08
	Pontenuovo - TVR5	37.9	41.0	9.70	9.79	2.80	2.07	11.00	9.88	0.50	0.33	0.30	0.26	0.49	0.32	2.10	1.12	3.50	2.04	0.04	0.04	0.15	0.09	0.19	0.12
	Pontecuti - TVR7	49.0	52.1	10.00	10.05	3.70	2.67	11.40	9.95	0.70	0.43	0.40	0.32	0.65	0.44	2.50	1.47	4.30	2.66	0.07	0.04	0.21	0.13	0.28	0.17
	Pistrino - TVR1	3.1	3.1	10.80	10.80	2.10	1.72	9.60	8.99	0.60	0.44	0.20	0.17	0.12	0.10	0.90	0.62	1.80	1.33	0.02	0.02	0.04	0.04	0.06	0.06
	S.Lucia - TVR2	17.0	17.0	11.30	11.27	1.60	1.29	7.70	7.22	1.80	1.22	0.20	0.18	0.87	0.62	0.60	0.43	3.50	2.44	0.02	0.01	0.06	0.05	0.08	0.06
12	Montecorona-TVR3	27.0	27.0	11.40	11.39	1.60	1.22	9.00	8.56	1.30	0.90	0.10	0.09	0.82	0.59	1.00	0.68	3.20	2.26	0.02	0.02	0.06	0.04	0.08	0.06
	P.Felcino - TVR4	31.8	31.8	11.30	11.34	1.70	1.30	8.10	7.60	1.10	0.76	0.10	0.06	0.87	0.62	1.30	0.89	3.30	2.33	0.02	0.01	0.05	0.04	0.07	0.05
	Pontenuovo - TVR5	59.6	65.2	11.10	11.14	2.80	1.71	7.90	6.29	0.70	0.38	0.30	0.16	0.44	0.29	2.10	1.17	3.60	2.01	0.03	0.02	0.13	0.07	0.16	0.09
	Pontecuti - TVR7	69.1	75.7	10.60	10.73	4.00	2.55	9.00	6.82	0.60	0.35	0.90	0.55	0.57	0.41	2.30	1.34	4.30	2.65	0.02	0.02	0.23	0.15	0.25	0.17

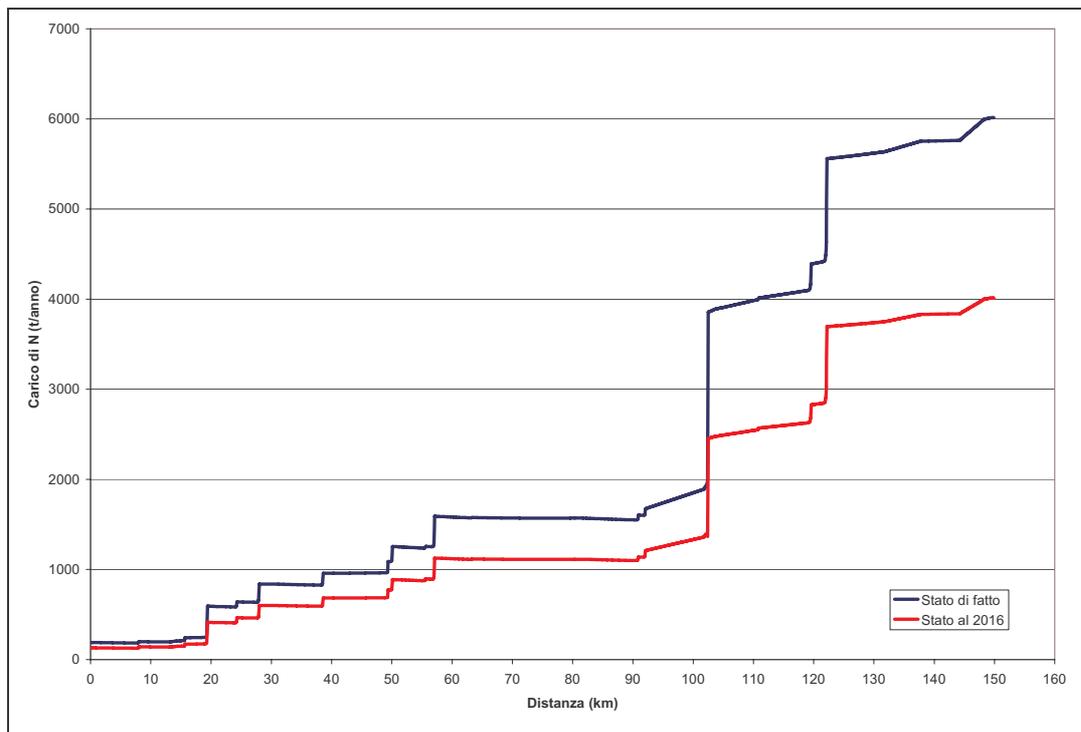


Fig. 85 - Evoluzione della massa di N totale trasportata lungo il profilo del Tevere (totale anno medio)

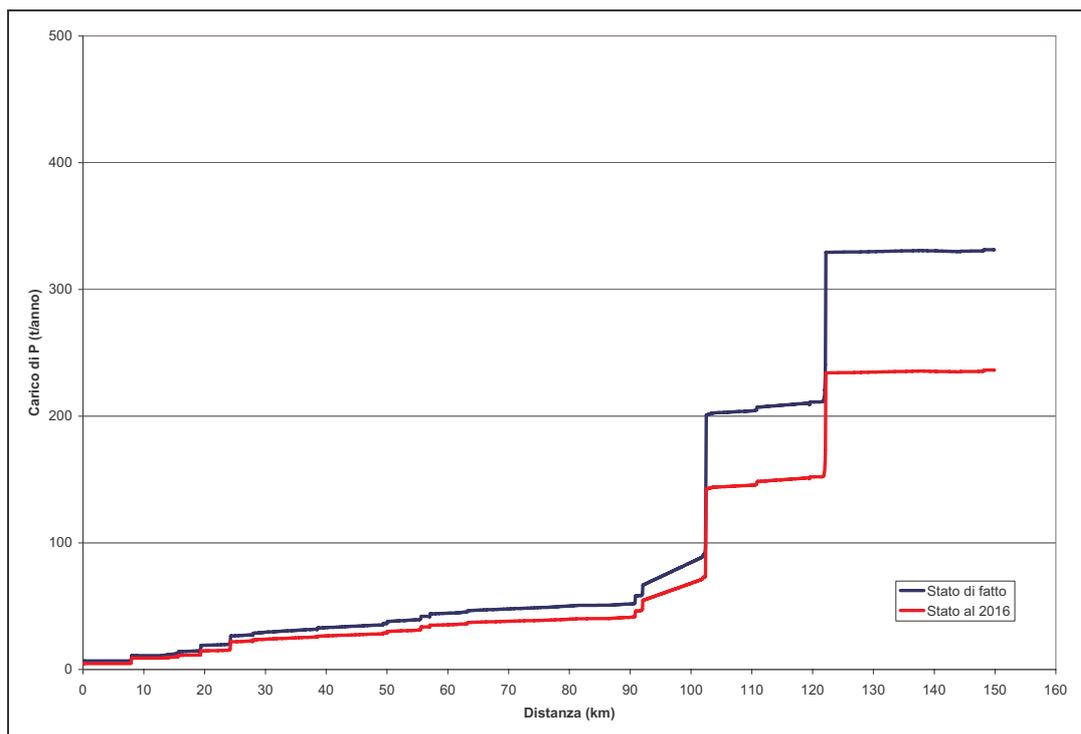


Fig. 86 - Evoluzione della massa di P totale trasportata lungo il profilo del Tevere (totale anno medio)

Nelle successive 6 tabelle, una per ciascuna stazione di qualità presa in considerazione per la modellazione dei parametri di qualità lungo l'asta del Tevere, sono riportati i valori del LIM a scenario (2015) e confrontati con quelli utilizzati nella definizione dello stato ecologico per gli anni 2002-2003.

Tab. 32 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione Pistrino (cod. stazione 2180)

FIUME TEVERE - STAZIONE DI PISTRINO (TVR1)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.44	7.83	0.40	0.45	0.06		13.28	280	Livello 2	Livello 2
Febbraio	1.42	6.82	0.26	0.23	0.05		12.25			
Marzo	1.51	8.14	0.10	0.48	0.14		8.01			
Aprile	1.50	7.06	0.06	0.33	0.05		8.38			
Maggio	1.51	9.14	0.29	0.57	0.08		13.61			
Giugno	2.25	10.32	0.23	0.72	0.12		8.26			
Luglio	1.59	10.03	0.09	0.50	0.13		5.17			
Agosto	1.00	9.04	0.05	0.40	0.07		9.38			
Settembre	1.43	10.59	0.12	0.45	0.08		12.58			
Ottobre	1.66	10.82	0.23	0.41	0.08		19.06			
Novembre	1.16	7.87	0.17	0.42	0.07		10.85			
Dicembre	1.72	8.99	0.17	0.62	0.06		7.53			
Valore del 75° percentile	1.60	10.11	0.24	0.51	0.09		12.75			
Punteggio macrodescrittori	80	20	20	40	40	40	40			

Tab. 33 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione S.Lucia (cod. stazione 2181)

FIUME TEVERE - STAZIONE DI SANTA LUCIA (TVR2)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.58	7.69	0.27	0.82	0.05		7.87	280	Livello 2	Livello 3
Febbraio	1.34	7.73	0.26	0.59	0.05		8.67			
Marzo	1.13	7.14	0.17	0.94	0.08		13.54			
Aprile	1.57	7.21	0.10	0.76	0.05		11.56			
Maggio	2.53	16.98	0.15	0.62	0.12		12.58			
Giugno	2.37	10.29	0.22	0.82	0.14		15.83			
Luglio	1.71	10.59	0.14	0.77	0.18		16.81			
Agosto	1.40	10.11	0.08	0.60	0.12		10.70			
Settembre	1.60	10.30	0.14	0.78	0.14		15.70			
Ottobre	1.95	11.79	0.20	0.93	0.12		11.61			
Novembre	1.30	8.67	0.19	0.68	0.06		6.82			
Dicembre	1.29	7.22	0.18	0.43	0.06		3.86			
Valore del 75° percentile	1.77	10.37	0.21	0.82	0.13		14.08			
Punteggio macrodescrittori	80	20	20	40	40	40	40			

Tab. 34 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione Montecorona (cod. stazione 2182)

FIUME TEVERE - STAZIONE DI MONTECORONA (TVR3)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.17	6.34	0.18	1.05	0.04		3.07	320	Livello 2	Livello 3
Febbraio	2.01	6.15	0.24	0.82	0.07		4.29			
Marzo	1.09	6.67	0.14	0.89	0.05		7.57			
Aprile	1.52	7.06	0.06	0.71	0.06		11.29			
Maggio	2.34	12.65	0.19	1.00	0.14		7.58			
Giugno	1.26	9.83	0.26	1.00	0.14		8.56			
Luglio	2.11	13.66	0.22	1.11	0.19		8.61			
Agosto	1.76	10.86	0.30	0.86	0.13		10.13			
Settembre	1.39	9.92	0.09	0.93	0.14		8.78			
Ottobre	1.80	12.32	0.12	1.18	0.13		6.30			
Novembre	1.19	8.84	0.23	0.73	0.07		7.50			
Dicembre	1.22	8.56	0.09	0.68	0.06		3.78			
Valore del 75° percentile	1.85	11.23	0.23	1.01	0.14		8.65			
Punteggio macrodescrittori	80	20	20	40	40	40	80			

Tab. 35 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione P.Felcino (cod. stazione 2183)

FIUME TEVERE - STAZIONE DI PONTE FELCINO (TVR4)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.19	5.80	0.16	1.27	0.04		5.49	320	Livello 2	Livello 3
Febbraio	1.08	5.98	0.12	1.05	0.07		6.62			
Marzo	1.22	6.55	0.14	1.19	0.04		9.99			
Aprile	1.62	8.20	0.03	0.78	0.06		2.79			
Maggio	1.74	13.40	0.21	1.28	0.12		6.44			
Giugno	1.35	9.82	0.20	1.19	0.13		9.77			
Luglio	1.76	12.97	0.22	1.07	0.18		5.25			
Agosto	2.27	11.54	0.22	1.23	0.13		14.51			
Settembre	1.29	9.36	0.06	1.08	0.14		12.05			
Ottobre	1.59	11.51	0.09	1.37	0.12		8.82			
Novembre	1.02	8.63	0.24	0.97	0.08		6.27			
Dicembre	1.30	7.60	0.06	0.89	0.05		2.89			
Valore del 75° percentile	1.65	11.51	0.21	1.24	0.13		9.82			
Punteggio macrodescrittori	80	20	20	40	40	40	80			

Tab. 36 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione Pontenuovo (cod. stazione 2186)

FIUME TEVERE - STAZIONE DI PONTE NUOVO (TVR5)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.69	7.37	0.89	1.29	0.10		3.27	220	Livello 3	Livello 3
Febbraio	1.51	5.89	0.25	1.10	0.12		5.01			
Marzo	1.99	7.32	0.18	1.29	0.08		13.44			
Aprile	1.88	8.79	0.12	0.93	0.11		11.35			
Maggio	2.95	12.28	0.27	1.24	0.15		9.86			
Giugno	3.05	11.33	0.25	1.30	0.14		14.12			
Luglio	2.47	12.26	0.34	1.31	0.18		6.96			
Agosto	2.20	11.62	0.27	1.43	0.17		14.93			
Settembre	1.33	10.18	0.25	1.19	0.19		6.73			
Ottobre	2.60	12.94	0.34	1.33	0.25		15.60			
Novembre	2.07	9.88	0.26	1.12	0.12		12.29			
Dicembre	1.71	6.29	0.16	1.17	0.09		5.18			
Valore del 75° percentile	2.50	11.78	0.29	1.30	0.17		13.61			
Punteggio macrodescrittori	40	20	20	40	20	40	40			

Tab. 37 - confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione Pontecuti (cod. stazione 2189)

FIUME TEVERE - STAZIONE DI PONTECUTI (TVR7)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.36	7.38	0.85	1.62	0.11		6.17	190	Livello 3	Livello 3
Febbraio	2.71	8.00	1.78	1.60	0.15		12.20			
Marzo	3.14	7.96	0.22	1.68	0.16		8.66			
Aprile	3.30	11.05	0.80	1.08	0.18		15.37			
Maggio	2.01	23.06	0.30	1.46	0.14		22.32			
Giugno	1.75	12.36	0.18	1.51	0.15		19.82			
Luglio	3.08	13.42	0.35	1.27	0.18		6.22			
Agosto	2.61	14.65	0.25	1.77	0.19		21.89			
Settembre	1.67	12.39	0.12	1.42	0.20		5.95			
Ottobre	2.03	12.22	0.28	1.80	0.28		12.66			
Novembre	2.67	9.95	0.32	1.47	0.17		9.61			
Dicembre	2.55	6.82	0.55	1.34	0.17		8.51			
Valore del 75° percentile	2.80	12.65	0.62	1.63	0.18		16.48			
Punteggio macrodescrittori	40	20	10	20	20	40	40			

Come si evince dalle tabelle, l'applicazione delle misure di Piano determina un miglioramento complessivo dello stato di qualità dell'intera asta simulata

Il raggiungimento del Livello 2 al 2015, compatibile con l'obiettivo di qualità ambientale, si ottiene nelle stazioni di qualità di Pistrino, S.Lucia, Montecorona e P.Felcino, quindi in tutto il tratto del sottobacino Alto Tevere.

Anche nelle stazioni di Pontenuovo, a valle della confluenza del fiume Chiascio, e di Pontecuti, localizzate nel tratto Medio Tevere, pur mantenendosi il LIM ad un livello equivalente all'attuale e quindi non compatibile con gli obiettivi di Piano, il punteggio complessivo risulta decisamente aumentato (da 140 a 220 per la stazione di Pontenuovo e da 145 a 190 per la stazione di Pontecuti). I nuovi valori, in particolare per la stazione di Pontenuovo, sono decisamente più prossimi alla soglia corrispondente al passaggio da Livello 3 a Livello 2.

Il LIM al 2015 cui si assiste alla stazione di Pontenuovo, visti i risultati della simulazione condotta sul fiume Chiascio di seguito presentati, che evidenziano il raggiungimento dell'obiettivo di qualità alla stazione di valle, sembra poter essere ricondotto alle consistenti pressioni antropiche agenti nel tratto compreso tra le stazioni di Ponte Felcino e Pontenuovo.

L'ulteriore peggioramento del LIM evidenziato dalla simulazione alla stazione di Pontecuti deriva, oltre che dagli effetti dell'inquinamento a monte, anche dall'input di carico inquinante proveniente dal Nestore, che veicola, tra gli altri, gran parte del carico inquinante generato dal capoluogo umbro.

Analizzando con maggiore dettaglio i risultati delle stazioni di Ponte Felcino e Pontecuti, che rappresentano le stazioni di riferimento per la valutazione degli scenari nelle unità territoriali di Piano (sottobacini Alto Tevere e Medio Tevere rispettivamente), si evidenzia quanto segue.

Alla stazione di Ponte Felcino il punteggio complessivo passa da un valore pari a 230 allo stato attuale ad un valore pari a 320 nella condizione di scenario, per effetto del miglioramento dei parametri ossigeno disciolto (che passa da valori compatibili con un Livello 2 a valori compatibili con un Livello 1) e Azoto nitrico (da Livello 3 a Livello 2).

Alla stazione di Pontecuti, invece, l'aumento del punteggio da 145 a 190 già evidenziato è associato al miglioramento di diversi parametri e in particolare Fosforo totale (che passa da valori compatibili con un Livello 5 a valori compatibili con un Livello 3), BOD5 (da Livello 3 a Livello 2), Azoto ammoniacale (da Livello 4 a Livello 3).

Va inoltre sottolineato che, in entrambe le stazioni, l'ipotesi di assumere a scenario un punteggio del parametro E. coli (uno dei principali elementi di criticità allo stato attuale) sempre pari a 40, per effetto delle misure di riduzione della carica batterica fecale, determina un sensibile miglioramento del punteggio associato a tale parametro.

5.3 La simulazione lungo l'asta del Chiascio

Nelle immagini da Fig. 87 a Fig. 89 sono riportati i carichi veicolati dal Fiume Chiascio (espressi in tonnellate/mese) in corrispondenza dell'ultima sezione simulata dal modello, a monte della confluenza con il fiume Tevere; gli stessi carichi vengono poi dettagliati attraverso le tabelle da Tab. 38 a Tab. 40.

Una rappresentazione di maggior dettaglio è riportata in Tab. 41 mediante il confronto tra i dati della taratura del modello e quelli derivati dalla simulazione dello scenario al 2015 presso le stazioni di qualità.

Nelle Fig. 90 e Fig. 91 è invece rappresentata l'evoluzione della massa annua di Azoto totale e Fosforo totale trasportate lungo il profilo del Chiascio.

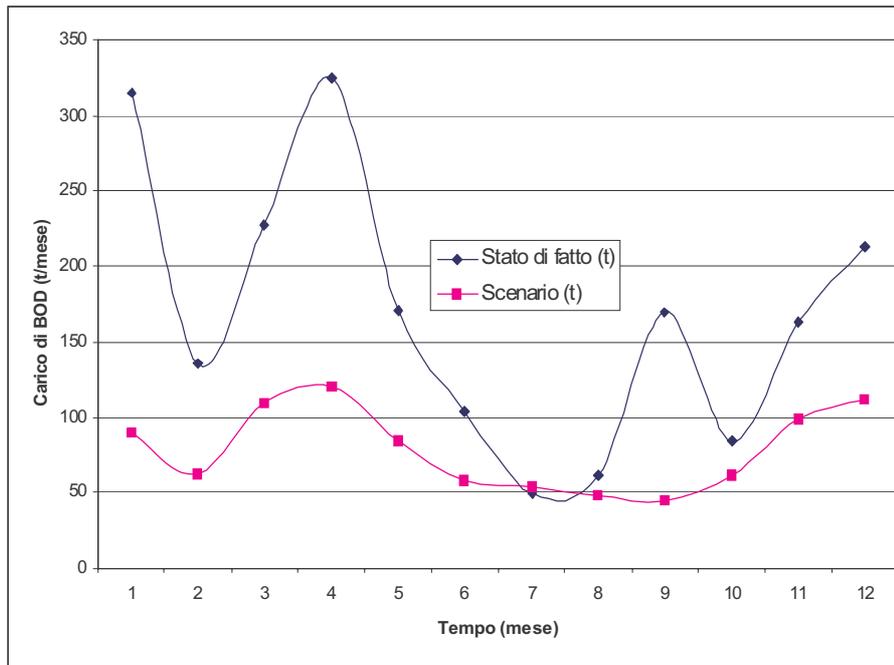


Fig. 87 - Simulazione dello scenario di riduzione del BOD5 (sezione di uscita del modello del Chiascio)

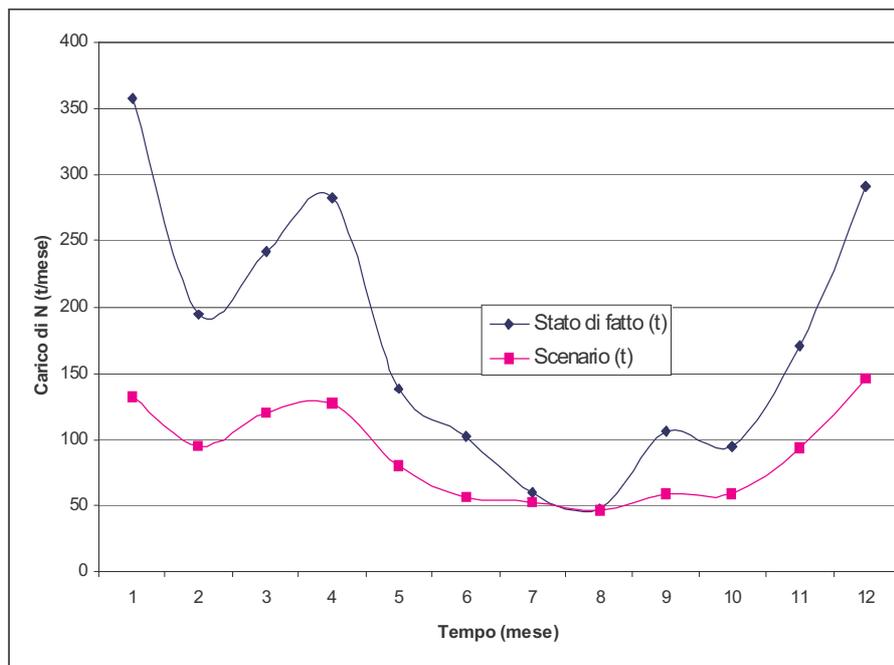


Fig. 88 - Simulazione dello scenario di riduzione dell'azoto totale (sezione di uscita del modello del Chiascio)

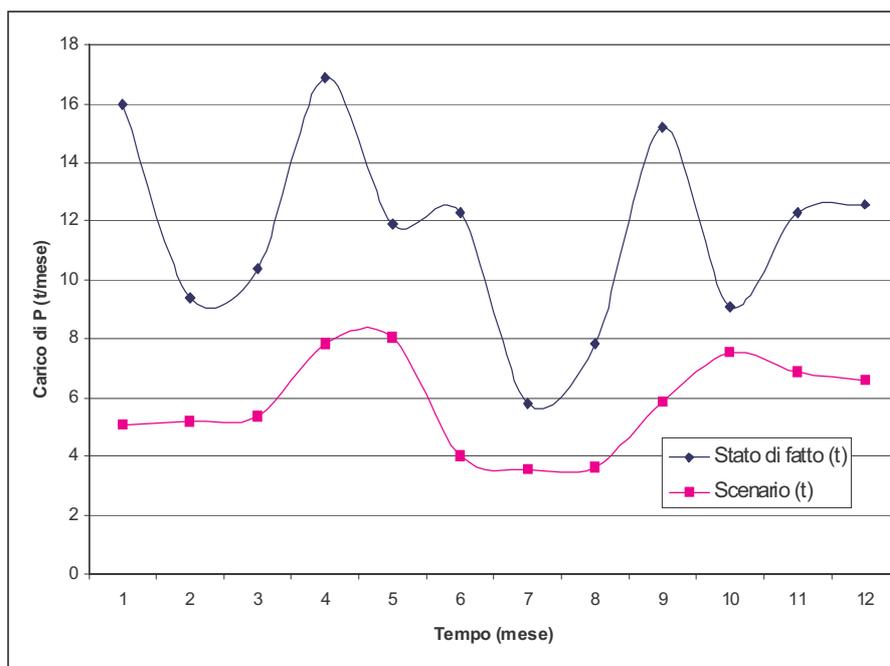


Fig. 89 - Simulazione dello scenario di riduzione del fosforo totale (sezione di uscita del modello del Chiascio)

Tab. 38 - Carico di BOD5 veicolato alla sezione di uscita del modello del Chiascio

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	314.90	89.74	-71.5
2	135.90	62.75	-49.4
3	227.60	108.89	-49.5
4	324.60	120.61	-51.4
5	170.50	83.94	-47.9
6	104.10	57.46	-46.7
7	49.60	53.65	-41.0
8	61.00	47.88	-43.9
9	169.10	44.37	-45.3
10	84.40	60.88	-46.1
11	163.10	98.30	-46.2
12	213.30	111.66	-49.7
Anno	2018.00	940.13	-48.8

Tab. 39 - Carico di N totale veicolato alla sezione di uscita del modello del Chiascio

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	357.60	131.97	-63.1
2	194.60	95.21	-51.1
3	241.50	120.03	-50.3
4	282.50	127.00	-55.0
5	138.60	79.88	-42.4
6	102.80	56.15	-45.4
7	59.30	52.09	-12.2
8	47.40	46.67	-1.5
9	105.30	59.17	-43.8
10	94.70	58.49	-38.2
11	171.30	93.25	-45.6
12	291.70	145.89	-50.0
Anno	2087.30	1065.79	-48.9

Tab. 40 - Carico di P totale alla sezione di uscita del modello del Chiascio

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	16.00	5.08	-68.3
2	9.40	5.17	-45.0
3	10.40	5.36	-48.4
4	16.90	7.82	-53.7
5	11.90	8.02	-32.6
6	12.30	4.00	-67.5
7	5.80	3.59	-38.1
8	7.80	3.66	-53.1
9	15.20	5.89	-61.2
10	9.10	7.55	-17.0
11	12.30	6.88	-44.1
12	12.60	6.60	-47.6
Anno	139.80	69.64	-50.2

Tab. 41 - Confronto tra i dati della taratura del modello relativi alle condizioni attuali e quelli derivanti dalla simulazione dello scenario al 2015 (Fiume Chiascio)

Mese	Nome Stazione e codice	Portata attuale simulata (m3/s)	Portata al 2015 (m3/s)	OD		BOD5		COD		N org		NH3		NO2		NO3		N tot		P org		P dis		P tot	
				Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)
1	Barcaccia - CHS1	6,2	6,1	12,7	12,72	2,6	1,56	9,2	7,71	0,41	0,27	0,19	0,13	0,02	0,02	2,71	1,78	3,34	2,20	0,01	0,01	0,05	0,03	0,06	0,04
	Ex P. Segoloni - CHS2	12,1	12,0	11,9	11,94	2,3	1,37	30,5	29,11	0,53	0,37	0,45	0,32	0,06	0,04	2,64	1,73	3,68	2,46	0,02	0,02	0,06	0,04	0,08	0,06
	M. Silvestri - CHS3	26,8	26,5	11,6	11,50	4,3	1,58	18,5	14,54	0,75	0,40	0,91	0,33	0,09	0,04	3,18	1,54	4,93	2,31	0,05	0,03	0,17	0,06	0,23	0,09
2	Barcaccia - CHS1	5,0	5,4	11,4	11,37	1,5	0,92	4,3	3,41	1,16	0,77	0,07	0,05	0,03	0,02	2,00	1,31	3,26	2,15	0,02	0,01	0,04	0,02	0,06	0,04
	Ex P. Segoloni - CHS2	6,6	7,0	11,1	11,17	1,6	0,97	6,8	5,86	0,97	0,68	0,29	0,25	0,05	0,04	2,19	1,46	3,49	2,43	0,03	0,02	0,09	0,06	0,12	0,08
	M. Silvestri - CHS3	18,1	19,5	10,3	10,26	3,1	1,62	6,7	4,64	1,14	0,63	0,45	0,46	0,07	0,06	2,75	1,34	4,4	2,48	0,04	0,04	0,16	0,09	0,2	0,13
3	Barcaccia - CHS1	5,3	6,2	11,00	10,97	2,00	1,22	5,7	4,56	0,64	0,42	0,07	0,05	0,03	0,02	1,86	1,23	2,59	1,71	0,02	0,01	0,04	0,02	0,05	0,03
	Ex P. Segoloni - CHS2	9,3	10,2	10,4	10,43	3,5	2,08	8,6	6,45	1,2	0,80	0,26	0,21	0,05	0,04	2,04	1,37	3,56	2,41	0,04	0,03	0,09	0,06	0,12	0,08
	M. Silvestri - CHS3	21,8	24,8	10,4	10,45	3,9	1,99	8,7	5,99	1,01	0,58	0,49	0,28	0,1	0,05	2,54	1,33	4,14	2,24	0,04	0,03	0,13	0,07	0,18	0,10
4	Barcaccia - CHS1	6,1	7,3	11,00	11,05	2,00	1,21	4,7	3,58	0,64	0,42	0,06	0,04	0,03	0,02	1,75	1,16	2,48	1,64	0,03	0,02	0,04	0,02	0,06	0,04
	Ex P. Segoloni - CHS2	11,6	12,9	10,5	10,59	2,9	1,69	9,9	8,21	0,82	0,55	0,21	0,17	0,04	0,03	1,86	1,23	2,93	1,98	0,04	0,03	0,09	0,06	0,13	0,09
	M. Silvestri - CHS3	26,0	29,9	10,3	10,37	4,7	1,94	9,8	5,80	0,92	0,53	0,48	0,27	0,11	0,05	2,64	1,23	4,15	2,07	0,05	0,03	0,2	0,09	0,25	0,13
5	Barcaccia - CHS1	3,8	4,8	10,00	10,14	2,1	1,29	7,5	6,32	0,64	0,42	0,14	0,10	0,08	0,05	1,64	1,08	2,51	1,65	0,03	0,02	0,04	0,02	0,07	0,04
	Ex P. Segoloni - CHS2	4,5	5,5	8,6	8,74	3,6	2,06	11,9	9,70	0,83	0,58	0,34	0,28	0,09	0,07	2,31	1,61	3,58	2,55	0,04	0,03	0,14	0,09	0,17	0,12
	M. Silvestri - CHS3	13,2	16,4	7,3	7,07	4,6	2,24	18,00	14,51	0,92	0,58	0,39	0,32	0,19	0,07	2,39	1,19	3,89	2,17	0,07	0,07	0,26	0,14	0,33	0,22
6	Barcaccia - CHS1	2,5	3,1	8,8	8,85	2,00	1,23	8,2	7,04	0,77	0,51	0,21	0,15	0,11	0,08	1,29	0,85	2,38	1,58	0,02	0,01	0,04	0,02	0,06	0,04
	Ex P. Segoloni - CHS2	3,1	3,6	6,7	7,44	5,8	2,75	17,3	12,85	0,83	0,56	0,59	0,35	0,17	0,11	3,31	2,34	4,89	3,36	0,07	0,03	0,24	0,13	0,31	0,16
	M. Silvestri - CHS3	8,8	10,7	8,00	8,10	4,3	2,31	19,00	16,06	0,43	0,46	1,31	0,41	0,37	0,09	2,36	1,40	4,46	2,37	0,07	0,04	0,46	0,13	0,53	0,17
7	Barcaccia - CHS1	1,6	2,3	8,1	7,98	2,2	1,36	11,3	10,00	0,39	0,26	0,11	0,08	0,06	0,04	0,68	0,44	1,24	0,83	0,17	0,11	0,04	0,02	0,22	0,14
	Ex P. Segoloni - CHS2	2,0	2,7	6,9	7,19	3,4	1,83	19,8	17,47	1,18	0,49	0,54	0,33	0,17	0,10	3,76	2,66	5,64	3,59	0,04	0,02	0,29	0,19	0,34	0,20
	M. Silvestri - CHS3	5,8	7,8	7,8	7,68	3,00	1,97	15,00	14,20	0,86	0,45	0,76	0,47	0,15	0,10	2,06	1,59	3,82	2,61	0,06	0,04	0,32	0,14	0,37	0,18
8	Barcaccia - CHS1	1,8	2,4	8,1	8,01	1,8	1,11	10,3	9,30	0,72	0,48	0,11	0,08	0,03	0,02	0,23	0,15	1,09	0,73	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,03
	Ex P. Segoloni - CHS2	2,2	2,8	7,3	7,39	2,5	1,39	11,3	9,72	0,44	0,39	0,35	0,31	0,11	0,10	2,92	2,20	3,81	2,99	0,05	0,02	0,21	0,11	0,26	0,13
	M. Silvestri - CHS3	6,3	8,3	7,7	7,57	3,4	1,54	10,00	7,31	0,32	0,45	0,47	0,46	0,11	0,10	1,8	1,42	2,69	2,43	0,05	0,04	0,41	0,12	0,46	0,17
9	Barcaccia - CHS1	2,4	3,1	9,5	9,52	2,6	1,60	11,00	9,51	0,64	0,43	0,09	0,06	0,03	0,02	1,02	0,67	1,78	1,18	0,02	0,01	0,04	0,02	0,06	0,04
	Ex P. Segoloni - CHS2	2,9	3,7	8,2	8,42	3,1	1,87	14,4	12,52	1,62	1,04	0,52	0,39	0,12	0,09	2,27	1,60	4,54	3,12	0,05	0,04	0,21	0,13	0,26	0,16
	M. Silvestri - CHS3	8,5	10,8	8,3	8,22	7,5	1,81	15,00	6,69	1,01	0,66	1,19	0,48	0,24	0,09	2,39	1,22	4,83	2,45	0,07	0,06	0,64	0,18	0,71	0,24
10	Barcaccia - CHS1	2,4	2,8	10,2	10,20	2,3	1,42	35,3	33,96	0,44	0,30	0,08	0,06	0,02	0,01	1,41	0,93	1,96	1,30	0,02	0,01	0,04	0,02	0,06	0,04
	Ex P. Segoloni - CHS2	2,9	3,3	8,5	8,78	4,7	2,76	15,3	12,43	0,85	0,61	0,65	0,51	0,15	0,11	2,5	1,76	4,14	2,99	0,04	0,03	0,22	0,14	0,26	0,17
	M. Silvestri - CHS3	8,2	9,6	8,6	8,40	3,6	2,65	15,3	13,85	1,09	0,66	0,57	0,57	0,1	0,11	2,6	1,27	4,32	2,61	0,08	0,09	0,33	0,25	0,42	0,34
11	Barcaccia - CHS1	3,8	4,8	11,4	11,46	1,3	0,80	4,5	3,76	0,79	0,52	0,07	0,05	0,03	0,02	2,4	1,57	3,26	2,15	0,02	0,01	0,07	0,04	0,09	0,06
	Ex P. Segoloni - CHS2	5,7	6,7	10,7	10,83	3,00	1,73	10,9	9,02	0,86	0,60	0,46	0,34	0,09	0,07	3,2	2,06	4,58	3,07	0,04	0,03	0,21	0,13	0,26	0,16
	M. Silvestri - CHS3	14,6	17,7	10,3	10,28	4,4	2,54	11,1	8,32	1,08	0,64	0,68	0,41	0,09	0,06	2,7	1,34	4,53	2,45	0,07	0,04	0,26	0,14	0,33	0,18
12	Barcaccia - CHS1	4,9	6,6	11,4	11,51	1,5	0,91	5,3	4,42	0,47	0,31	0,09	0,06	0,04	0,03	3,3	2,15	3,88	2,56	0,01	0,01	0,06	0,04	0,07	0,05
	Ex P. Segoloni - CHS2	11,5	13,2	11,00	11,06	2,6	1,52	7,4	5,86	0,51	0,35	0,26	0,18	0,05	0,03	3,3	2,21	4,15	2,78	0,01	0,01	0,07	0,05	0,08	0,06
	M. Silvestri - CHS3	23,2	28,8	11,1	11,20	3,4	1,80	7,6	5,27	0,48	0,31	0,81	0,28	0,11	0,05	3,3	1,76	4,69	2,40	0,04	0,02	0,16	0,09	0,2	0,11

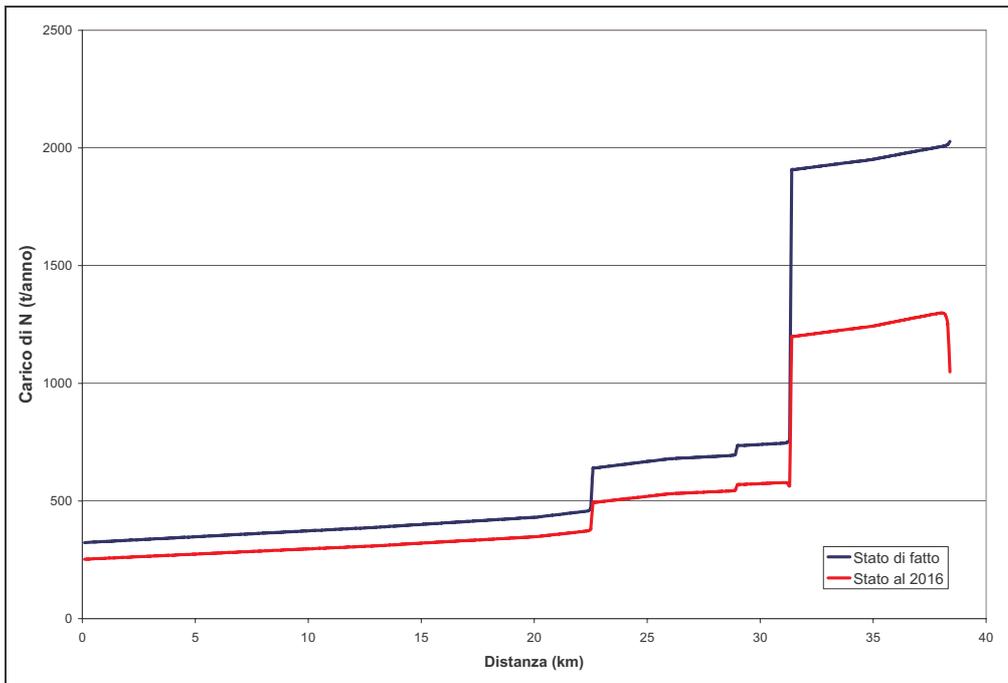


Fig. 90 - Evoluzione della massa di N totale trasportata lungo il profilo del Chiascio (totale anno medio)

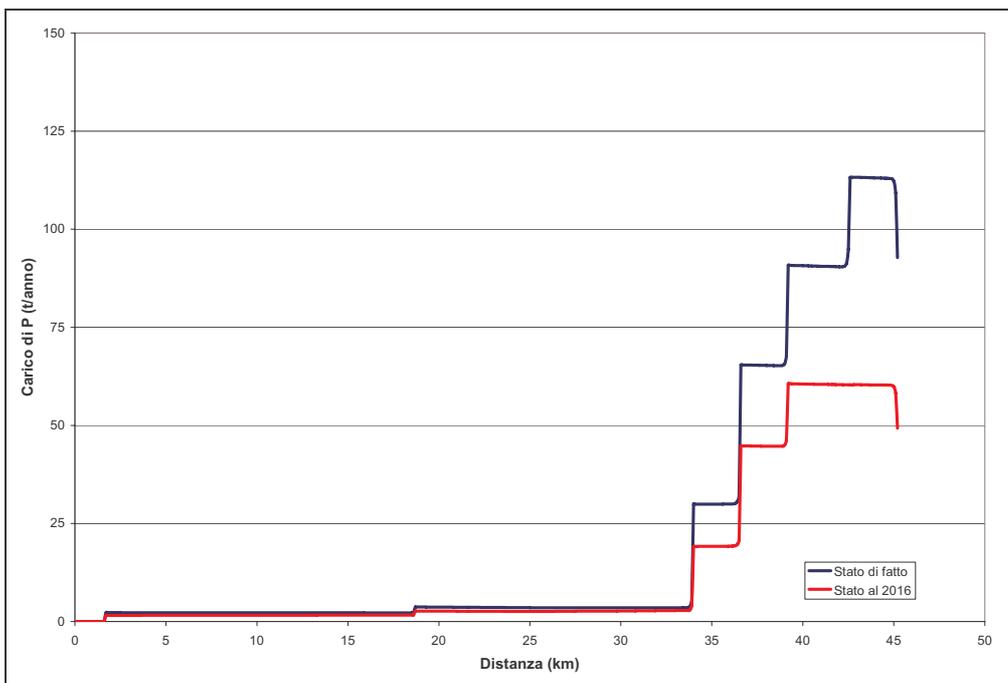


Fig. 91 - Evoluzione della massa di P totale trasportata lungo il profilo del Chiascio (totale anno medio)

Nelle successive 3 tabelle, una per ciascuna stazione di qualità presa in considerazione per la modellazione dei parametri di qualità lungo l'asta del Chiascio, sono riportati i valori del LIM riferiti allo scenario proposto e confrontati con quelli allo stato attuale (2002-2003).

Tab. 42 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione di Barcaccia (cod. stazione 2092)

FIUME CHIASCIO - Stazione di Barcaccia a valle della diga (CHS1)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.56	7.71	0.13	1.78	0.04	-	-0.46	400	Livello 2	Livello 2
Febbraio	0.92	3.41	0.05	1.31	0.04	-	7.79			
Marzo	1.22	4.56	0.05	1.23	0.03	-	4.23			
Aprile	1.21	3.58	0.04	1.16	0.04	-	3.32			
Maggio	1.29	6.32	0.10	1.08	0.04	-	-1.23			
Giugno	1.23	7.04	0.15	0.85	0.04	-	4.09			
Luglio	1.36	10.00	0.08	0.44	0.14	-	8.95			
Agosto	1.11	9.30	0.08	0.15	0.03	-	6.31			
Settembre	1.60	9.51	0.06	0.67	0.04	-	-0.56			
Ottobre	1.42	33.96	0.06	0.93	0.04	-	0.33			
Novembre	0.80	3.76	0.05	1.57	0.06	-	1.13			
Dicembre	0.91	4.42	0.06	2.15	0.05	-	1.75			
Valore del 75° percentile	1.37	9.35	0.09	1.38	0.04	-	4.75			
Punteggio macrodescrittori	80	40	40	40	80	40	80			

Tab. 43 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione ex passerella Segoloni (cod. stazione 2095)

FIUME CHIASCIO - Stazione ex passerella Segoloni (CHS2)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.41	29.17	0.33	1.75	0.06	-	5.78	240	Livello 2	Livello 3
Febbraio	0.98	5.86	0.24	1.47	0.08	-	8.10			
Marzo	2.08	6.45	0.21	1.37	0.08	-	8.78			
Aprile	1.72	8.25	0.17	1.25	0.09	-	5.07			
Maggio	2.06	9.69	0.28	1.61	0.12	-	10.38			
Giugno	2.75	12.85	0.37	2.34	0.16	-	17.36			
Luglio	1.83	17.47	0.33	2.66	0.20	-	17.99			
Agosto	1.39	9.72	0.31	2.20	0.13	-	15.34			
Settembre	1.91	12.58	0.40	1.60	0.16	-	10.96			
Ottobre	2.72	12.37	0.50	1.77	0.17	-	14.23			
Novembre	1.71	9.00	0.34	2.06	0.16	-	2.56			
Dicembre	1.51	5.86	0.19	2.22	0.06	-	6.52			
Valore del 75° percentile	2.06	12.65	0.35	2.20	0.16	-	14.50			
Punteggio macrodescrittori	80	20	20	20	20	40	40			

Tab. 44 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione a monte della confluenza col Tevere (cod. stazione 2097)

FIUME CHIASCIO - Stazione a monte della confluenza con il Tevere (CHS3)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.58	14.54	0.33	1.54	0.09	-	9.62	260	Livello 2	Livello 3
Febbraio	1.62	4.64	0.46	1.34	0.13	-	16.45			
Marzo	1.99	5.99	0.28	1.33	0.10	-	8.25			
Aprile	1.94	5.80	0.27	1.23	0.13	-	4.47			
Maggio	2.24	14.51	0.32	1.19	0.22	-	27.90			
Giugno	2.31	16.06	0.41	1.40	0.17	-	10.57			
Luglio	1.97	14.20	0.47	1.59	0.18	-	12.23			
Agosto	1.54	7.31	0.46	1.42	0.17	-	13.57			
Settembre	1.81	6.69	0.48	1.22	0.24	-	13.27			
Ottobre	2.65	13.85	0.57	1.27	0.34	-	17.69			
Novembre	2.54	8.32	0.41	1.34	0.18	-	9.54			
Dicembre	1.80	5.27	0.28	1.76	0.11	-	4.04			
Valore del 75° percentile	2.26	14.28	0.46	1.45	0.19	-	14.29			
Punteggio macrodescrittori	80	20	20	40	20	40	40			

Come si riconosce dalle tabelle, l'applicazione delle misure di Piano determina il miglioramento del LIM fino al raggiungimento del Livello 2, compatibile con l'obiettivo di qualità ambientale, lungo tutta l'asta simulata. Tuttavia, il punteggio alla seconda stazione, a monte della confluenza con il fiume Topino, risulta prossimo alla soglia di passaggio tra Livello 2 e Livello 3.

Complessivamente si osserva un progressivo peggioramento della qualità tra la stazione di monte e la stazione intermedia ed un nuovo miglioramento nella stazione di valle, a monte della confluenza col fiume Tevere, probabilmente da imputare all'apporto benefico dovuto alle misure di piano predisposte, particolarmente efficaci sul sistema Topino-Marroggia.

Analizzando con maggiore dettaglio i risultati della stazione CHS3 a monte della confluenza con il fiume Tevere, che rappresenta la stazione di riferimento per la valutazione degli scenari dell'unità territoriale Chiascio, si evidenzia quanto segue.

Il punteggio complessivo passa da un valore pari a 125 allo stato attuale ad un valore pari a 260 nella condizione di scenario, per effetto del miglioramento di quasi tutti i parametri, e in particolare del BOD5 (che passa da valori compatibili con un Livello 3 a valori compatibili con un Livello 1), Fosforo totale (da Livello 5 a Livello 3), Azoto ammoniacale (da Livello 4 a Livello 3), Azoto nitrico (da Livello 3 a Livello 2).

Anche in questo caso, come già evidenziato per il Fiume Tevere, l'ipotesi di assumere a scenario un punteggio del parametro E. coli sempre pari a 40, per effetto delle misure di riduzione della carica batterica fecale, determina un sensibile miglioramento del punteggio associato a tale parametro, che allo stato attuale presenta valori compatibili con un Livello 4.

5.4 La simulazione lungo l'asta del Topino

Nelle immagini da Fig. 92 a Fig. 94 sono riportati i carichi veicolati dal Fiume Topino (espressi in tonnellate/mese) in corrispondenza dell'ultima sezione simulata dal modello, a monte della confluenza con il fiume Chiascio; gli stessi carichi vengono poi dettagliati attraverso le tabelle da Tab. 45 a Tab. 47. Una rappresentazione di maggior dettaglio è riportata in Tab. 48 mediante il confronto tra i dati della taratura del modello e quelli derivati dalla simulazione dello scenario al 2015 presso le stazioni di qualità.

Nelle Fig. 95 e Fig. 96 è invece rappresentata l'evoluzione della massa annua di Azoto totale e Fosforo totale trasportate lungo il profilo del Topino.

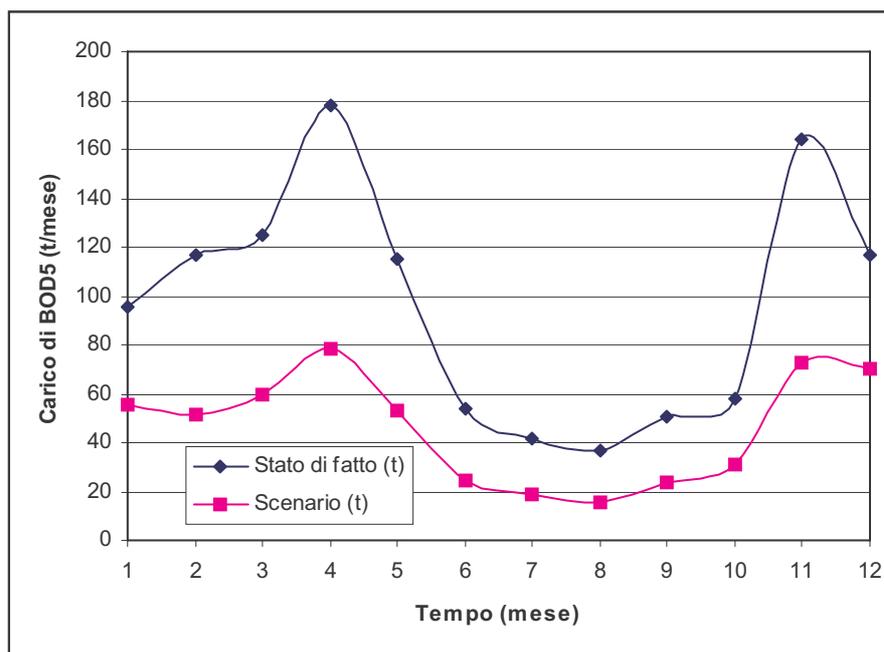


Fig. 92 - Simulazione dello scenario di riduzione del BOD5 (sezione di uscita del modello del Topino)

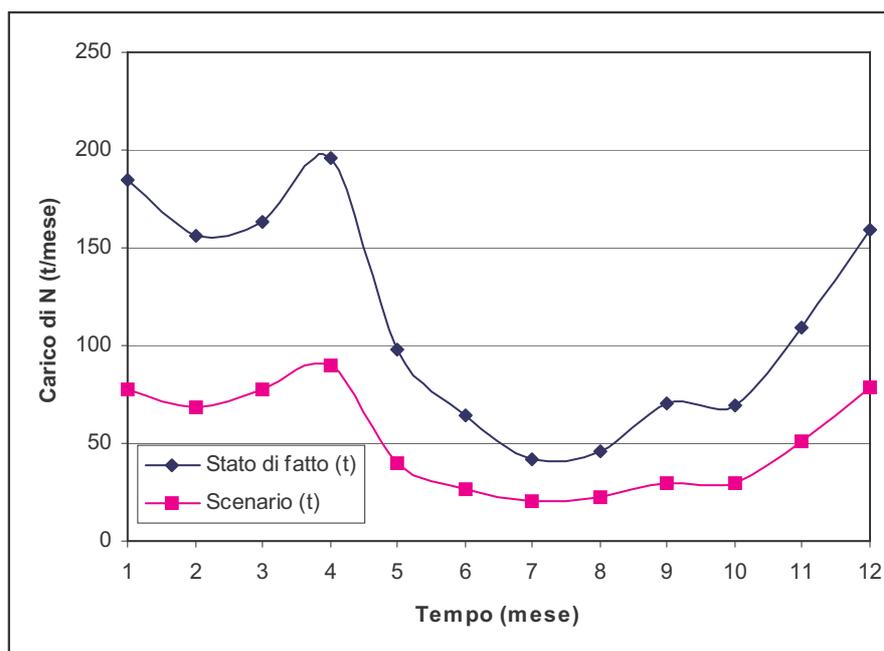


Fig. 93 - Simulazione dello scenario di riduzione dell'azoto totale (sezione di uscita del modello del Topino)

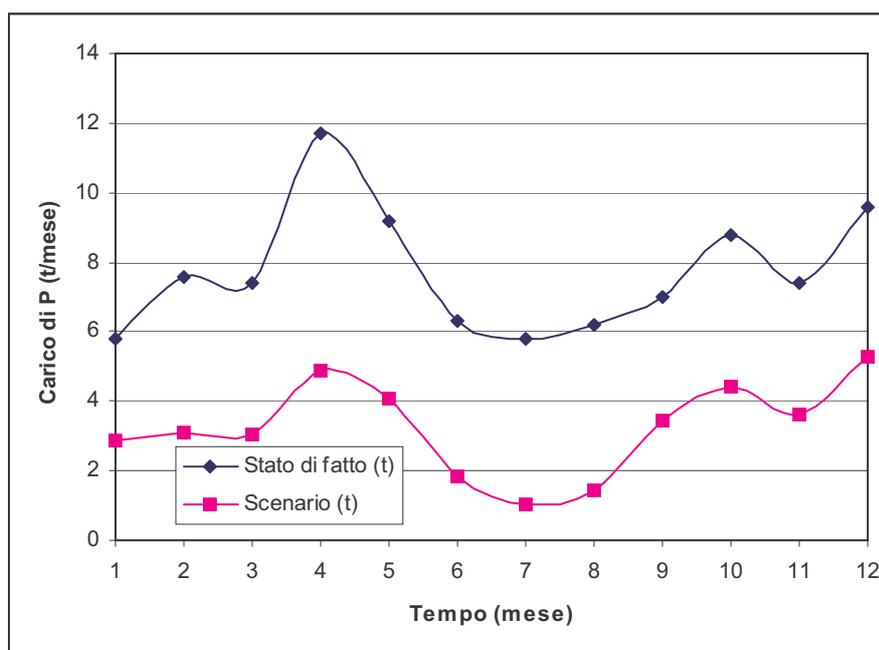


Fig. 94 - Simulazione dello scenario di riduzione del fosforo totale (sezione di uscita del modello del Topino)

Tab. 45 - Carico di BOD5 veicolato alla sezione di uscita del modello del Topino

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	95.5	55.8	-41.6
2	116.9	51.4	-56.1
3	125.1	59.5	-52.4
4	177.7	78.1	-56.1
5	115.1	53.4	-53.6
6	54.1	24.8	-54.2
7	41.4	18.5	-55.3
8	36.9	15.7	-57.5
9	51	23.4	-54.1
10	57.7	31.3	-45.8
11	164.4	72.8	-55.7
12	117	70.3	-40.0
Anno	1153	554.9	-51.9

Tab. 46 - Carico di N totale veicolato alla sezione di uscita del modello del Topino

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	184.6	77.7	-57.9
2	156.1	68.8	-56.0
3	163.2	77.6	-52.4
4	195.6	90.0	-54.0
5	97.6	40.2	-58.8
6	63.8	26.1	-59.2
7	41.8	20.2	-51.6
8	45.8	22.2	-51.6
9	70.9	29.5	-58.4
10	69.6	30.1	-56.8
11	108.9	51.5	-52.7
12	159.1	78.2	-50.8
Anno	1357.1	612.0	-54.9

Tab. 47 - Carico di P totale alla sezione di uscita del modello del Topino

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	5.8	2.9	-50.4
2	7.6	3.1	-59.4
3	7.4	3.0	-59.2
4	11.7	4.9	-58.4
5	9.2	4.0	-56.0
6	6.3	1.8	-70.7
7	5.8	1.0	-82.5
8	6.2	1.4	-77.1
9	7	3.4	-50.8
10	8.8	4.4	-49.5
11	7.4	3.6	-51.1
12	9.6	5.3	-44.8
Anno	92.8	39.0	-58.0

Tab. 48 - Confronto tra i dati della taratura del modello relativi alle condizioni attuali e quelli derivanti dalla simulazione dello scenario al 2015 (Fiume Topino)

Mese	Nome Stazione e codice	Portata attuale simulata (m3/s)	Portata al 2015 (m3/s)	OD		BOD5		COD		N org		NH3		NO2		NO3		N tot		P org		P dis		P tot	
				Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)
1	Capodacqua - TOP1	3.5	3.8	12.1	12.1	1.1	0.7	3.3	2.5	0.3	0.2	0.03	0.02	0.01	0.01	1.2	0.9	1.6	1.2	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
	Corvia V. Pepe - TOP2	4.5	5.1	12.1	12.1	1.7	1.0	2.6	1.3	0.3	0.2	0.05	0.03	0.01	0.01	1.3	1.0	1.7	1.3	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02
2	Pass. Betttona - TOP3	13.4	13.4	11.1	11.1	2.7	1.6	7.2	5.9	0.9	0.4	0.82	0.32	0.05	0.02	3.3	1.4	5.1	2.2	0.02	0.03	0.14	0.08	0.16	0.11
	Capodacqua - TOP1	2.9	2.9	11.9	11.9	2.5	1.5	6.8	5.4	0.8	0.5	0.04	0.02	0.01	0.01	1	0.6	1.8	1.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
3	Corvia V. Pepe - TOP2	3.8	3.8	11.5	11.5	4.9	3.0	12.4	9.5	0.6	0.4	0.05	0.03	0.01	0.01	1	0.6	1.7	1.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
	Pass. Betttona - TOP3	12.5	12.3	10.8	10.9	3.5	1.7	10.6	6.9	1.3	0.5	0.83	0.51	0.08	0.04	3	1.2	5.2	2.3	0.05	0.03	0.2	0.10	0.25	0.13
4	Capodacqua - TOP1	4	4.0	11.2	11.2	1	0.6	5.5	4.9	0.4	0.3	0.02	0.02	0.01	0.01	1.2	0.7	1.6	1.0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
	Corvia V. Pepe - TOP2	5.2	5.2	11.2	11.2	1.3	0.8	4.8	4.1	0.4	0.2	0.03	0.02	0.01	0.01	1.1	0.7	1.5	0.9	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
5	Pass. Betttona - TOP3	13.8	13.9	10.9	10.9	3.4	1.6	8.9	5.7	1	0.5	0.51	0.24	0.14	0.06	2.7	1.3	4.4	2.1	0.04	0.02	0.16	0.08	0.2	0.11
	Capodacqua - TOP1	4.3	4.3	11.3	11.3	0.8	0.4	5.1	4.7	0.4	0.3	0.03	0.02	0.01	0.01	0.9	0.5	1.3	0.8	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	0.03
6	Corvia V. Pepe - TOP2	5.8	5.8	11.3	11.3	1	0.6	5.5	4.9	0.5	0.3	0.03	0.02	0.01	0.01	0.9	0.6	1.4	0.9	0.06	0.04	0.01	0.01	0.07	0.05
	Pass. Betttona - TOP3	15.6	16.1	10.6	10.6	4.3	1.9	11.6	8.0	1.2	0.6	0.61	0.28	0.14	0.06	2.9	1.3	4.8	2.2	0.07	0.04	0.22	0.12	0.29	0.16
7	Capodacqua - TOP1	2.7	2.7	10.6	10.6	1.2	0.7	5	4.3	0.5	0.3	0.03	0.02	0.01	0.01	0.8	0.5	1.4	0.8	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
	Corvia V. Pepe - TOP2	4	4.0	10.2	10.2	1.7	1.0	7.5	6.5	0.7	0.4	0.04	0.03	0.01	0.01	0.9	0.5	1.6	1.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
8	Pass. Betttona - TOP3	10.5	10.9	9.6	9.7	4.1	1.8	15.5	11.4	0.5	0.2	0.42	0.21	0.24	0.09	2.3	0.8	3.5	1.4	0.04	0.04	0.29	0.14	0.33	0.17
	Capodacqua - TOP1	1.5	1.5	10	10.0	1.8	1.1	6.7	5.7	0.7	0.5	0.03	0.02	0.01	0.01	0.7	0.5	1.5	0.9	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	0.03
9	Corvia V. Pepe - TOP2	2.5	2.5	9.7	9.8	1.8	1.1	8.6	7.6	1	0.6	0.06	0.03	0.02	0.01	0.7	0.4	1.8	1.1	0.03	0.02	0.01	0.01	0.04	0.03
	Pass. Betttona - TOP3	6.9	7.0	8.9	8.9	2.9	1.4	12.2	8.8	0.8	0.4	0.37	0.27	0.16	0.09	2.2	0.7	3.5	1.4	0.04	0.02	0.31	0.10	0.35	0.12
10	Capodacqua - TOP1	1.1	1.1	9.7	9.7	0.6	0.4	7.8	7.4	0.6	0.4	0.03	0.02	0.01	0.01	0.8	0.5	1.4	0.9	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03
	Corvia V. Pepe - TOP2	1.7	1.7	9.3	9.3	1.5	0.9	10.5	9.6	0.6	0.4	0.05	0.04	0.02	0.01	0.6	0.4	1.3	0.8	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02
11	Pass. Betttona - TOP3	5.6	5.4	7.7	7.7	2.4	1.1	11.3	8.6	0.8	0.4	0.36	0.31	0.1	0.06	1.8	0.8	3	1.5	0.04	0.02	0.37	0.10	0.41	0.12
	Capodacqua - TOP1	1.1	1.1	10.3	10.3	1.5	0.9	8.8	7.9	0.8	0.5	0.05	0.03	0.01	0.01	1	0.6	1.8	1.1	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01
12	Corvia V. Pepe - TOP2	1.7	1.7	10	10.0	1.3	0.8	8.1	7.4	0.6	0.4	0.06	0.04	0.01	0.01	0.9	0.6	1.6	1.0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
	Pass. Betttona - TOP3	7.1	7.1	8.4	8.4	2.7	1.3	11	8.4	0.7	0.3	0.58	0.33	0.11	0.07	2.5	0.9	3.8	1.6	0.04	0.03	0.34	0.19	0.38	0.22
13	Capodacqua - TOP1	1	1.0	10.9	10.9	1.8	1.1	7.1	6.1	0.6	0.4	0.04	0.03	0.03	0.02	0.9	0.6	1.6	1.0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
	Corvia V. Pepe - TOP2	1.5	1.5	10.8	10.8	1.6	1.0	8.9	8.0	0.8	0.5	0.09	0.06	0.03	0.02	1.1	0.7	2	1.2	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
14	Pass. Betttona - TOP3	6.3	6.3	9	9.1	3.4	1.8	11	8.3	0.8	0.4	0.76	0.49	0.11	0.08	2.4	0.8	4.2	1.8	0.11	0.07	0.42	0.26	0.52	0.33
	Capodacqua - TOP1	2.8	2.6	11.6	11.6	1	0.6	4.7	4.3	0.4	0.3	0.03	0.02	0.01	0.01	0.8	0.5	1.3	0.8	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02
15	Corvia V. Pepe - TOP2	3.5	3.2	11.5	11.6	2.2	1.4	6.5	5.9	0.4	0.3	0.03	0.02	0.01	0.01	0.7	0.5	1.2	0.8	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.02
	Pass. Betttona - TOP3	10.7	10.7	11.1	11.2	5.7	2.6	16.3	11.6	1.2	0.6	0.66	0.35	0.06	0.04	2	0.8	3.9	1.8	0.05	0.03	0.22	0.13	0.27	0.16
16	Capodacqua - TOP1	4.6	4.3	11.5	11.5	0.7	0.4	4	3.8	0.4	0.3	0.03	0.02	0.01	0.01	1.5	1.0	1.9	1.3	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
	Corvia V. Pepe - TOP2	5.8	5.2	11.5	11.5	1.1	0.6	3.2	2.9	1.3	0.9	0.05	0.04	0.01	0.01	1.5	1.0	2.8	1.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
17	Pass. Betttona - TOP3	14.4	14.4	10.9	10.8	3	1.8	8	7.1	0.7	0.3	0.61	0.37	0.08	0.05	2.7	1.3	4.1	2.0	0.04	0.03	0.21	0.14	0.25	0.17

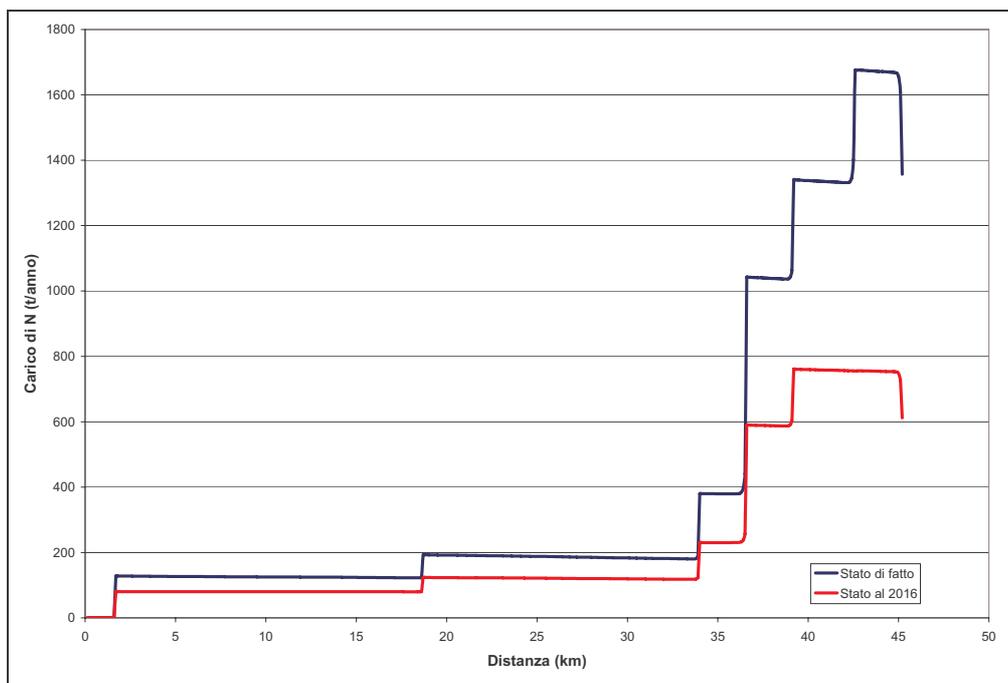


Fig. 95 - Evoluzione della massa di N totale trasportata lungo il profilo del Topino (totale anno medio)

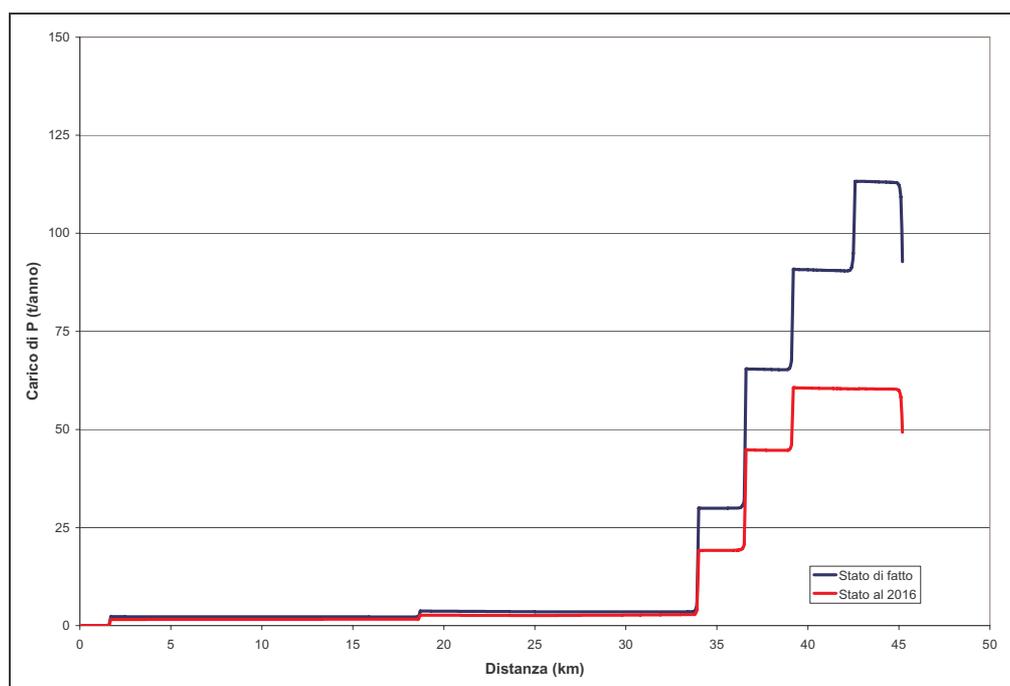


Fig. 96 - Evoluzione della massa di P totale trasportata lungo il profilo del Topino (totale anno medio)

Nelle successive 3 tabelle, una per ciascuna stazione di qualità presa in considerazione per la modellazione dei parametri di qualità lungo l'asta del Topino, sono riportati i valori del LIM riferiti allo scenario proposto e confrontati con quelli allo stato attuale (2002-2003).

Tab. 49 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – Stazione di Capodacqua (cod. stazione 2215)

FIUME TOPINO - A monte di Foligno, Capodacqua (TOP1)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	0.68	3.11	0.02	0.93	0.02	-	3.22	440	Livello 2	Livello 2
Febbraio	1.50	6.82	0.02	0.59	0.01	-	3.04			
Marzo	0.58	5.50	0.02	0.72	0.02	-	5.09			
Aprile	0.45	5.14	0.02	0.53	0.03	-	1.24			
Maggio	0.73	5.05	0.02	0.51	0.02	-	0.62			
Giugno	1.08	6.74	0.02	0.45	0.03	-	0.71			
Luglio	0.68	6.89	0.02	0.45	0.03	-	2.14			
Agosto	0.36	7.80	0.02	0.45	0.03	-	1.59			
Settembre	0.89	8.77	0.03	0.59	0.01	-	-0.34			
Ottobre	1.08	7.10	0.03	0.58	0.02	-	-0.25			
Novembre	0.61	4.94	0.02	0.55	0.02	-	-0.86			
Dicembre	0.43	4.29	0.02	0.98	0.01	-	1.94			
Valore del 75° percentile	0.94	6.94	0.02	0.62	0.03		2.37			
Punteggio macrodescrittori	80	40	80	40	80	40	80			

Tab. 50 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – Stazione a valle di Foligno (cod. stazione 2217)

FIUME TOPINO - A valle di Foligno, Corvia, Via G.Pepe (TOP2)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	0.98	2.45	0.03	1.04	0.02	-	4.85	400	Livello 2	Livello 2
Febbraio	2.97	5.36	0.03	0.60	0.01	-	4.97			
Marzo	0.76	4.93	0.02	0.70	0.02	-	2.92			
Aprile	0.58	4.70	0.02	0.55	0.05	-	0.49			
Maggio	1.00	4.33	0.03	0.55	0.02	-	-0.76			
Giugno	1.08	5.69	0.03	0.45	0.03	-	-2.07			
Luglio	0.70	6.24	0.05	0.36	0.03	-	3.37			
Agosto	0.91	7.44	0.04	0.37	0.02	-	-0.03			
Settembre	0.79	7.91	0.04	0.55	0.02	-	-0.64			
Ottobre	0.99	6.07	0.06	0.66	0.02	-	-1.02			
Novembre	1.40	4.34	0.02	0.50	0.02	-	-0.66			
Dicembre	0.62	3.83	0.04	1.01	0.01	-	1.88			
Valore del 75° percentile	1.02	6.12	0.04	0.67	0.02		3.03			
Punteggio macrodescrittori	80	40	40	40	80	40	80			

Tab. 51 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – Stazione a monte della confluenza con il Chiascio (cod. stazione 2220)

FIUME TOPINO - A monte della confluenza con il Chiascio, Passaggio Bettona (TOP3)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	1.55	5.94	0.32	1.45	0.11	-	11.14	280	Livello 2	Livello 3
Febbraio	1.72	6.92	0.51	1.23	0.13	-	10.86			
Marzo	1.60	5.66	0.24	1.31	0.11	-	10.91			
Aprile	1.87	7.95	0.28	1.25	0.16	-	10.63			
Maggio	1.83	11.41	0.21	0.85	0.17	-	9.67			
Giugno	1.36	8.78	0.27	0.68	0.12	-	8.90			
Luglio	1.34	11.84	0.32	0.77	0.10	-	8.46			
Agosto	1.08	8.63	0.31	0.76	0.12	-	7.74			
Settembre	1.27	8.40	0.33	0.86	0.22	-	8.45			
Ottobre	1.85	8.32	0.49	0.82	0.33	-	9.06			
Novembre	2.61	11.64	0.35	0.83	0.16	-	11.20			
Dicembre	1.82	7.08	0.37	1.29	0.17	-	10.81			
Valore del 75° percentile	1.83	9.44	0.36	1.26	0.17		10.87			
Punteggio macrodescrittori	80	40	20	40	20	40	40			

Come si riconosce dalle tabelle, l'applicazione delle misure di Piano determina il raggiungimento del Livello 2, compatibile con l'obiettivo di qualità ambientale, lungo tutta l'asta simulata.

Complessivamente si osserva un progressivo peggioramento della qualità con valori del punteggio totale dei macrodescrittori decrescenti da monte verso valle; ciò suggerisce che le caratteristiche qualitative delle acque del fiume Topino subiscono, per effetto dell'apporto del sistema Timia-Marroggia, un sensibile peggioramento che comunque non pregiudica il raggiungimento dell'obiettivo di qualità.

Analizzando con maggiore dettaglio i risultati della stazione a monte della confluenza con il fiume Chiascio, che rappresenta la stazione di riferimento per la valutazione degli scenari dell'unità territoriale Topino-Marroggia, si evidenzia quanto segue.

Il punteggio complessivo passa da un valore pari a 125 (livello 3 prossimo allo scadimento al livello 4) allo stato attuale ad un valore pari a 280 nella condizione di scenario, per effetto del miglioramento di tutti i parametri, ed in particolare del BOD5 (che passa da valori compatibili con un Livello 3 a valori compatibili con un Livello 1), dell'azoto nitrico (da Livello 3 a Livello 2).

5.5 La simulazione lungo l'asta del sistema Marroggia-Teverone-Timia

Nelle immagini da Fig. 97 a Fig. 99 sono riportati i carichi veicolati dal sistema Timia-Teverone-Marroggia (espressi in tonnellate/mese) in corrispondenza dell'ultima sezione simulata dal modello, a monte della confluenza con il fiume Topino; gli stessi carichi vengono poi dettagliati attraverso le tabelle da Tab. 52 a Tab. 54.

Una rappresentazione di maggior dettaglio è riportata in Tab. 55 mediante il confronto tra i dati della taratura del modello e quelli derivati dalla simulazione dello scenario al 2015 presso le stazioni di qualità.

Nelle Fig. 100 e Fig. 101 è invece rappresentata l'evoluzione della massa annua di Azoto totale e Fosforo totale trasportate lungo il profilo del Timia-Teverone-Marroggia.

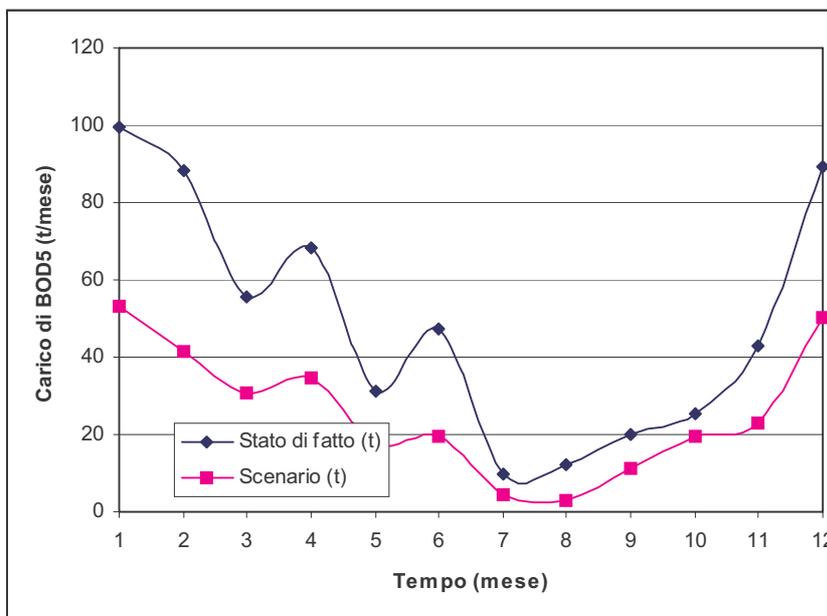


Fig. 97 - Simulazione dello scenario di riduzione del BOD5 (sezione di uscita del modello del sistema Marroggia-Teverone-Timia)

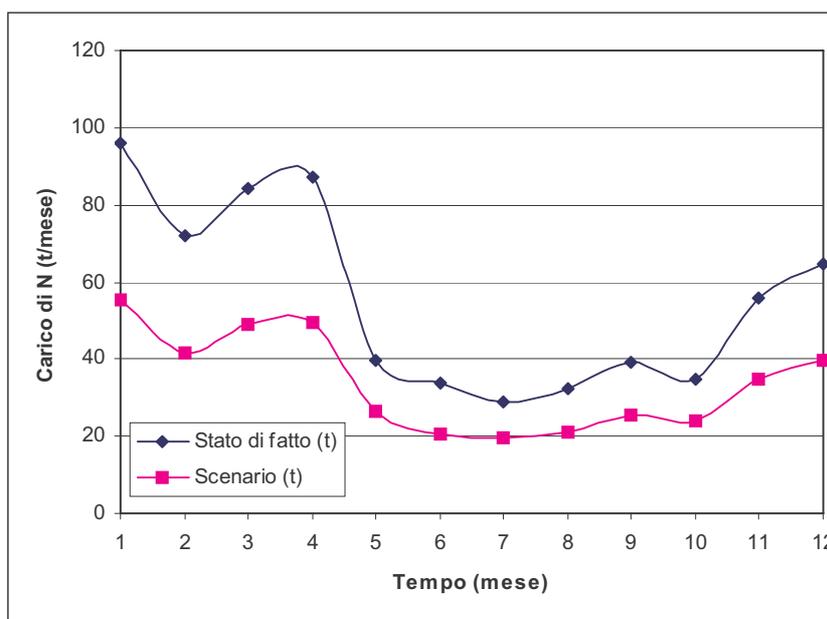


Fig. 98 - Simulazione dello scenario di riduzione dell'azoto totale (sezione di uscita del modello del sistema Marroggia-Teverone-Timia)

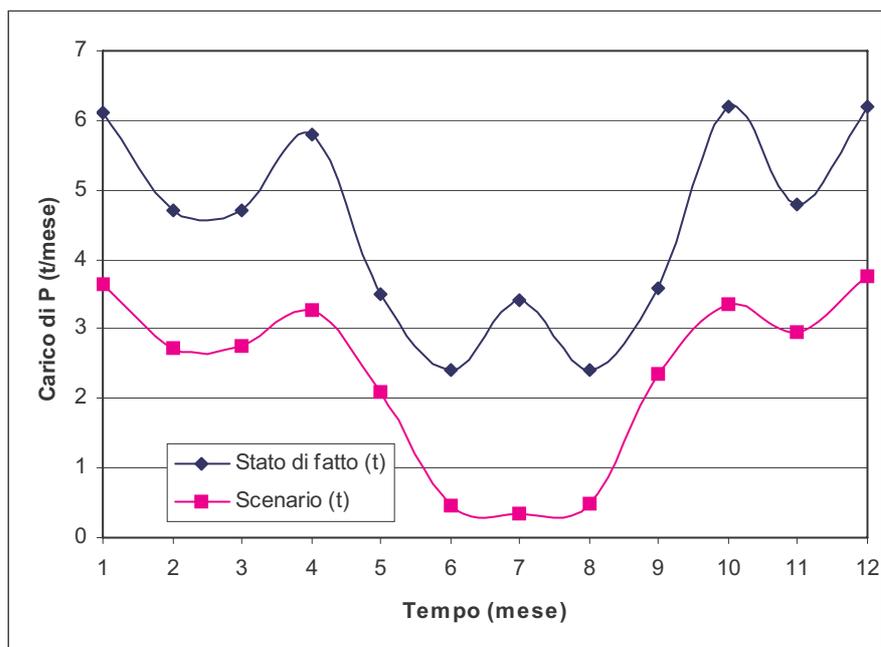


Fig. 99 - Simulazione dello scenario di riduzione del fosforo totale (sezione di uscita del modello del sistema Marroggia-Teverone-Timia)

Tab. 52 - Carico di BOD5 veicolato alla sezione di uscita del modello del sistema Marroggia-Teverone-Timia

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	99.5	53.3	-46.5
2	88.2	41.6	-52.9
3	55.7	31.0	-44.4
4	68.2	34.7	-49.2
5	31.1	17.7	-42.9
6	47.1	19.7	-58.1
7	9.7	4.2	-56.5
8	12.1	3.2	-73.9
9	20.2	11.3	-44.0
10	25.3	19.3	-23.7
11	42.7	22.9	-46.5
12	89.1	50.3	-43.5
Anno	588.9	309.1	-47.5

Tab. 53 - Carico di N totale veicolato alla sezione di uscita del modello del sistema Marroggia-Teverone-Timia

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	96.1	55.1	-42.6
2	72	41.7	-42.1
3	84.1	49.0	-41.7
4	87	49.6	-43.0
5	39.7	26.3	-33.8
6	33.9	20.7	-39.0
7	28.8	19.6	-31.8
8	32.3	20.9	-35.4
9	39	25.7	-34.2
10	35	24.0	-31.6
11	55.7	35.0	-37.2
12	64.8	39.5	-39.0
Anno	668.4	407.0	-39.1

Tab. 54 - Carico di P totale alla sezione di uscita del modello del sistema Marroggia-Teverone-Timia

Mese	Stato di fatto (t)	Scenario (t)	Variazione (%)
1	6.1	3.6	-40.4
2	4.7	2.7	-41.8
3	4.7	2.8	-41.2
4	5.8	3.3	-43.4
5	3.5	2.1	-40.3
6	2.4	0.5	-80.3
7	3.4	0.3	-90.2
8	2.4	0.5	-79.6
9	3.6	2.3	-34.8
10	6.2	3.4	-45.9
11	4.8	3.0	-38.2
12	6.2	3.8	-39.2
Anno	53.8	28.2	-47.5

Tab. 55 - Confronto tra i dati della taratura del modello relativi alle condizioni attuali e quelli derivanti dalla simulazione dello scenario al 2015 (sistema Marroglia-Teverone-Timia)

Mese	Nome Stazione e codice	Portata attuale simulata (m3/s)	Portata al 2015 (m3/s)	OD		BOD5		COD		N org		NH3		NO2		NO3		N tot		P org		P dis		P tot	
				Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)	Stato di fatto (mg/l)	Scenario al 2015 (mg/l)
1	C. dell'Acqua - MAR1	1	1.1	9.4	9.6	29.8	16.6	95.3	76.0	2.6	1.7	5.3	3.4	0.2	0.1	3.9	2.4	11.9	7.6	0.81	0.52	0.67	0.40	1.47	0.93
	Bevagna - TVN1	1.9	2.1	10.1	10.4	15.5	8.6	52.1	42.0	2.1	1.4	3	1.9	0.2	0.1	4.7	3.0	10	6.4	0.39	0.26	0.36	0.21	0.75	0.47
	Cannara - TIM1	5.6	5.7	11.3	11.3	6.7	4.1	20.3	16.4	1.3	0.9	1.1	0.8	0.1	0.1	3.8	2.4	6.3	4.2	0.14	0.10	0.27	0.17	0.41	0.28
2	C. dell'Acqua - MAR1	0.9	1.0	9.8	10.0	14	8.1	30.7	22.0	1.3	0.8	5.6	3.6	0.2	0.1	3.2	2.0	10.2	6.5	0.17	0.12	0.94	0.59	1.11	0.71
	Bevagna - TVN1	1.7	1.8	10.1	10.3	7.7	4.4	17.4	12.6	1	0.7	3.2	2.1	0.2	0.1	3.6	2.2	8	5.1	0.09	0.07	0.47	0.28	0.56	0.34
	Cannara - TIM1	4.9	5.0	10.8	10.8	6.7	4.0	11.5	7.5	0.7	0.5	2	1.3	0.1	0.1	3.3	2.0	6	3.9	0.05	0.04	0.35	0.22	0.4	0.26
3	C. dell'Acqua - MAR1	0.8	0.9	9.7	9.8	6.9	3.7	18.3	13.8	1.2	0.7	1.8	1.3	0.1	0.0	5.4	3.4	8.4	5.5	0.13	0.08	0.23	0.13	0.36	0.21
	Bevagna - TVN1	1.4	1.7	9.6	9.7	7	4.1	20.3	16.1	1.3	0.8	1.3	1.0	0.1	0.1	5.1	3.2	7.8	5.1	0.09	0.06	0.31	0.19	0.4	0.25
	Cannara - TIM1	4.5	4.6	10.1	10.2	4.6	2.9	10.7	8.1	1.1	0.7	1	0.7	0.1	0.1	4.7	2.9	6.9	4.5	0.08	0.06	0.31	0.19	0.39	0.25
4	C. dell'Acqua - MAR1	1.2	1.3	9.8	9.9	8.7	5.1	19.6	14.2	0.3	0.2	2.6	1.8	0.1	0.1	3.3	2.1	6.4	4.2	0.29	0.18	0.34	0.21	0.63	0.39
	Bevagna - TVN1	2.2	2.4	9.7	9.8	5.8	3.4	16	12.5	0.9	0.6	1.3	0.9	0.1	0.1	3.9	2.4	6.2	4.0	0.17	0.11	0.26	0.15	0.43	0.27
	Cannara - TIM1	5.9	6.0	10.3	10.4	4.3	2.6	12.6	10.1	1.1	0.7	1	0.8	0.1	0.0	3.4	2.2	5.6	3.7	0.08	0.06	0.29	0.19	0.38	0.25
5	C. dell'Acqua - MAR1	0.5	0.7	7.8	8.1	6.8	3.6	28.3	23.7	0.7	0.4	5	3.2	0.2	0.1	2.2	1.3	8.2	5.1	0.8	0.43	1.07	0.60	1.87	1.03
	Bevagna - TVN1	0.9	1.2	7.6	7.8	4.9	2.8	17.7	14.6	0.9	0.6	2.2	1.5	0.2	0.1	2.9	1.7	6.1	3.9	0.35	0.21	0.51	0.23	0.86	0.44
	Cannara - TIM1	3.6	3.8	9.5	9.7	3.2	2.0	9.7	7.9	0.8	0.6	0.8	0.7	0.1	0.1	2.2	1.4	4	2.9	0.16	0.12	0.21	0.12	0.37	0.23
6	C. dell'Acqua - MAR1	0.4	0.6	5.1	5.7	11	3.5	47.5	36.5	1.3	1.1	7.5	3.0	0.3	0.1	4.5	0.9	13.6	5.1	0.4	0.15	0.57	0.00	0.97	0.15
	Bevagna - TVN1	0.6	1.0	6.3	7.0	8.8	1.8	31.8	21.6	1.4	0.8	2.8	1.3	0.3	0.1	5.5	1.3	9.9	3.5	0.24	0.09	0.32	0.00	0.56	0.09
	Cannara - TIM1	3	3.3	8.2	8.4	5.8	2.6	13.8	9.2	1.2	0.8	0.9	0.7	0.1	0.1	2.2	1.1	4.4	2.6	0.06	0.04	0.24	0.02	0.31	0.06
7	C. dell'Acqua - MAR1	0.3	0.6	4.9	5.5	8.9	1.6	35.6	24.9	1.9	1.3	7.5	2.9	0.4	0.1	5.2	1.0	14.9	5.3	0.77	0.16	1.44	0.00	2.21	0.16
	Bevagna - TVN1	0.5	1.0	5.8	6.5	4.8	0.8	25.1	19.3	1.5	0.9	2.5	1.2	0.3	0.1	6.7	1.4	10.9	3.6	0.31	0.09	0.58	0.00	0.89	0.09
	Cannara - TIM1	2.4	2.6	7.7	8.2	1.5	0.7	10.9	9.7	1.4	0.8	1	0.9	0.1	0.1	2.2	1.2	4.6	3.0	0.15	0.05	0.41	0.00	0.56	0.05
8	C. dell'Acqua - MAR1	0.3	0.6	4.9	5.8	10.2	0.7	31.5	17.7	3.1	1.9	9.1	2.7	0.4	0.1	6.8	1.1	19.4	5.8	0.3	0.15	1.87	0.06	2.17	0.20
	Bevagna - TVN1	0.5	1.1	5.8	6.6	5.5	0.4	22.2	14.8	2	1.2	3.1	1.1	0.4	0.1	8.6	1.4	14.1	3.8	0.12	0.08	0.82	0.00	0.95	0.08
	Cannara - TIM1	2.5	2.8	8.5	8.5	1.8	0.5	11.3	9.3	0.8	0.9	1.1	0.8	0.1	0.1	2.9	1.2	5	3.0	0.05	0.05	0.31	0.03	0.37	0.07
9	C. dell'Acqua - MAR1	0.4	0.6	6.3	6.7	10.5	4.3	40.2	31.1	2.6	1.8	8.1	4.3	0.3	0.2	3.6	1.4	14.6	7.7	0.67	0.36	2.44	1.14	3.11	1.50
	Bevagna - TVN1	0.6	1.1	7.3	7.8	5.7	2.2	26.5	21.4	1.7	1.1	3.4	1.9	0.3	0.2	4.4	1.6	9.8	4.8	0.29	0.17	1.33	0.53	1.62	0.71
	Cannara - TIM1	3.2	3.4	9.2	9.3	2.4	1.5	9.6	8.2	1.1	0.8	1	0.9	0.1	0.1	2.6	1.5	4.8	3.2	0.08	0.08	0.36	0.23	0.44	0.30
10	C. dell'Acqua - MAR1	0.4	0.6	7.2	7.5	14.4	5.3	42.8	29.4	2.4	1.7	9.3	4.6	0.3	0.2	3.3	1.2	15.3	7.7	0.57	0.31	1.47	0.56	2.03	0.87
	Bevagna - TVN1	0.6	1.0	7.9	8.3	9.6	4.5	28.9	21.4	1.6	1.1	4.4	2.4	0.4	0.2	4.3	1.5	10.7	5.2	0.25	0.16	0.75	0.22	1.01	0.38
	Cannara - TIM1	2.9	3.1	9.6	9.3	3.2	2.6	10.5	9.7	0.8	0.6	1.1	1.1	0.1	0.1	2.4	1.3	4.4	3.1	0.1	0.08	0.69	0.37	0.79	0.45
11	C. dell'Acqua - MAR1	0.8	1.0	7.8	7.9	17.4	9.4	49.2	37.6	1.5	1.2	4.6	2.9	0.1	0.1	1.2	0.7	7.5	4.9	0.24	0.19	0.61	0.34	0.85	0.53
	Bevagna - TVN1	1.5	1.8	9.1	9.3	9.3	5.1	27.9	21.6	1.6	1.2	2.5	1.6	0.2	0.1	3.3	2.0	7.6	5.0	0.14	0.12	0.47	0.27	0.61	0.39
	Cannara - TIM1	4	4.1	11.2	11.3	4	2.4	11.5	9.3	1.2	0.9	1.1	0.8	0.1	0.1	3	1.9	5.4	3.7	0.07	0.06	0.4	0.25	0.47	0.31
12	C. dell'Acqua - MAR1	0.8	1.0	8.4	8.6	38.8	20.1	68	40.8	1.3	0.9	4.4	2.8	0.1	0.1	1.7	1.0	7.6	4.8	0.57	0.36	0.28	0.16	0.85	0.52
	Bevagna - TVN1	1.5	1.8	9.3	9.6	20	10.3	38.1	23.9	0.8	0.6	2.2	1.4	0.2	0.1	3.6	2.2	6.8	4.4	0.27	0.18	0.42	0.26	0.69	0.44
	Cannara - TIM1	4.3	4.4	10.8	10.9	8.4	4.9	15.1	10.0	0.9	0.6	1.4	1.0	0.2	0.1	3.3	2.1	5.7	3.8	0.12	0.09	0.43	0.27	0.54	0.36

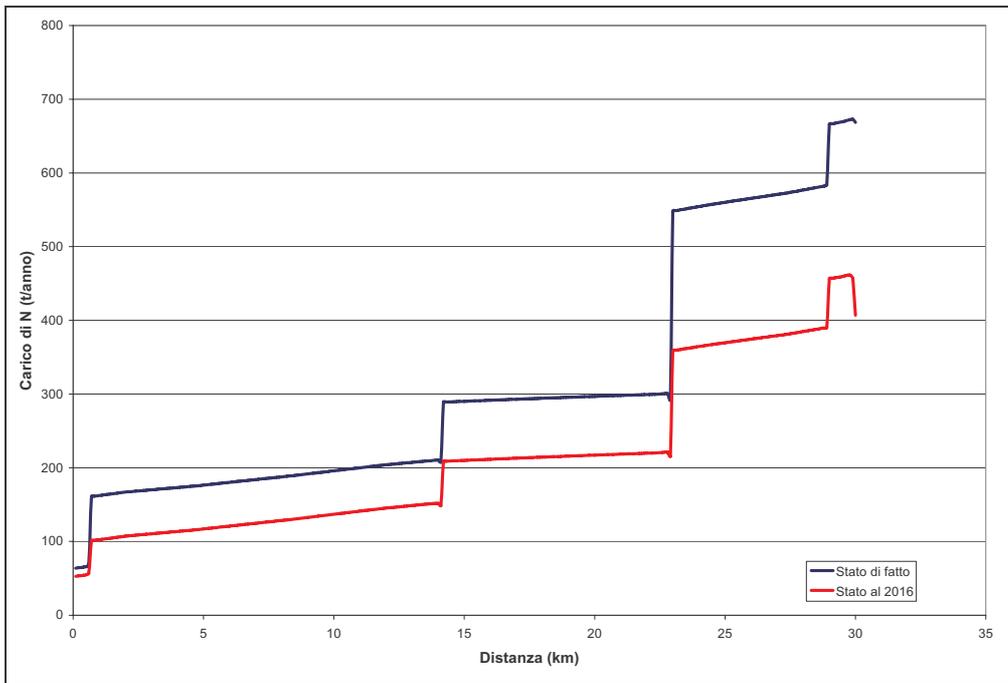


Fig. 100 - Evoluzione della massa di N totale trasportata lungo il profilo del sistema Marroggia-Teverone-Timia (totale anno medio)

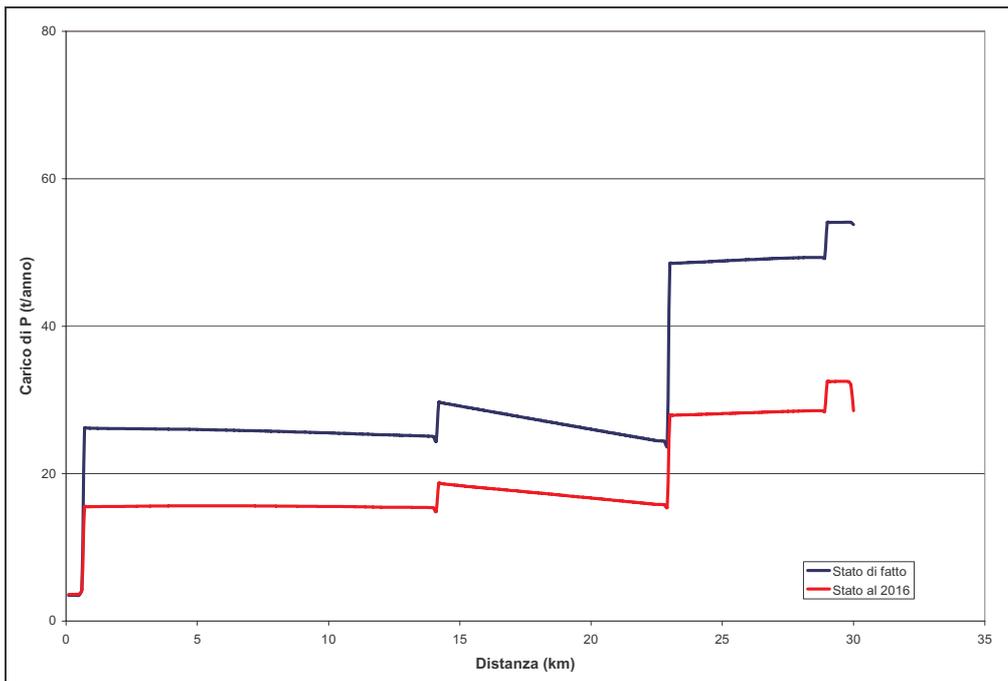


Fig. 101 - Evoluzione della massa di P totale trasportata lungo il profilo del sistema Marroggia-Teverone-Timia (totale anno medio)

Nelle successive tre tabelle, una per ciascuna stazione di qualità presa in considerazione per la modellazione dei parametri di qualità lungo l'asta del sistema Marroggia-Teverone-Timia, sono riportati i valori del LIM riferiti allo scenario proposto e confrontati con quelli allo stato attuale (2002-2003).

Tab. 56 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione di Casco dell'Acqua (cod. stazione 8223)

FIUME MARROGGIA - Loc. Casco dell'Acqua - Ponte sul bivio per il paese (MAR1)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	16.59	90.87	3.39	2.38	0.93	-	21.33	95	Livello 4	Livello 5
Febbraio	8.06	29.43	3.56	1.97	0.71	-	17.09			
Marzo	3.75	16.93	1.32	3.35	0.21	-	14.52			
Aprile	5.11	18.91	1.83	2.06	0.39	-	14.53			
Maggio	3.64	23.50	3.25	1.25	1.03	-	21.51			
Giugno	5.44	31.65	4.36	1.69	0.44	-	39.52			
Luglio	3.34	23.31	4.19	1.87	0.59	-	40.69			
Agosto	2.93	20.73	3.96	1.87	0.61	-	38.42			
Settembre	4.28	28.13	4.33	1.37	1.50	-	31.36			
Ottobre	5.28	29.48	4.56	1.22	0.87	-	29.22			
Novembre	9.42	43.46	2.88	0.70	0.53	-	30.11			
Dicembre	20.13	61.17	2.80	1.02	0.52	-	23.87			
Valore del 75° percentile	8.40	34.61	4.23	2.00	0.89	-	33.12			
Punteggio macrodescrittori	10	5	5	20	5	40	10			

Tab. 57 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione di Bevagna (cod. stazione 8217)

FIUME TEVERONE - Loc. Bevagna - Ponte sulla strada provinciale (TVN1)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	8.61	42.03	1.92	2.95	0.47	-	15.97	125	Livello 3	Livello 4
Febbraio	4.39	12.61	2.08	2.22	0.34	-	14.72			
Marzo	4.09	16.10	0.95	3.22	0.25	-	14.55			
Aprile	3.43	12.49	0.91	2.45	0.27	-	14.07			
Maggio	2.81	14.60	1.48	1.66	0.44	-	22.07			
Giugno	1.80	21.58	1.29	1.25	0.09	-	24.95			
Luglio	0.85	19.32	1.18	1.42	0.09	-	27.20			
Agosto	0.44	14.79	1.14	1.37	0.08	-	26.15			
Settembre	2.24	21.42	1.92	1.57	0.71	-	22.34			
Ottobre	4.51	21.37	2.36	1.46	0.38	-	21.41			
Novembre	5.05	21.59	1.63	2.01	0.39	-	19.07			
Dicembre	10.32	23.94	1.40	2.24	0.44	-	17.51			
Valore del 75° percentile	4.65	21.58	1.92	2.29	0.44	-	22.99			
Punteggio macrodescrittori	20	10	5	20	10	40	20			

Tab. 58 - Confronto tra il LIM 2002-2003 e quello calcolato dalle simulazioni del modello – stazione a monte della confluenza col Topino (cod. stazione 2213)

FIUME TIMIA - A monte confluenza con il Topino, Cannara (TIM1)										
Mesi	BOD Stato al 2015	COD Stato al 2015	NH3 Stato al 2015	NO3 Stato al 2015	P tot. Stato al 2015	Coliformi tot. Stato al 2015	100-% sat. OD	Somma punteggio macrodescrittori	L.I.M al 2015	L.I.M. 2002 - 2003
Gennaio	4.05	16.39	0.81	2.39	0.28	-	9.24	250	Livello 2	Livello 3
Febbraio	3.97	7.54	1.34	2.04	0.26	-	8.72			
Marzo	2.87	8.13	0.74	2.95	0.25	-	8.82			
Aprile	2.60	10.10	0.76	2.16	0.25	-	4.57			
Maggio	1.99	7.92	0.74	1.40	0.23	-	1.80			
Giugno	2.63	9.17	0.74	1.07	0.06	-	8.09			
Luglio	0.67	9.66	0.89	1.21	0.05	-	7.47			
Agosto	0.47	9.27	0.81	1.17	0.07	-	7.15			
Settembre	1.45	8.15	0.88	1.46	0.30	-	6.04			
Ottobre	2.60	9.70	1.10	1.29	0.45	-	10.63			
Novembre	2.43	9.28	0.81	1.87	0.31	-	1.56			
Dicembre	4.88	9.98	1.01	2.08	0.36	-	5.17			
Valore del 75° percentile	3.15	9.77	0.92	2.10	0.30	-	8.75			
Punteggio macrodescrittori	40	40	10	20	20	40	80			

Come si riconosce dalle tabelle, l'applicazione delle misure di Piano determina il miglioramento del LIM al 2015 di un livello su tutte le stazioni considerate. Tuttavia, il raggiungimento del Livello 2, compatibile con l'obiettivo di qualità ambientale, si ottiene solo in corrispondenza della stazione di qualità di valle TIM1. Procedendo da monte verso valle si osserva un progressivo miglioramento della qualità, passando da Livello 4 alla stazione MAR1 a Livello 2 alla stazione TIM1. E' peraltro evidente anche allo stato attuale come gli scarsi deflussi del tratto di monte (MAR1), associati ad una pressione antropica considerevole, determinino la bassa qualità del tratto: tale situazione non viene purtroppo sovvertita neppure mettendo in atto le misure del piano, evidenziando come le portate giochino un ruolo preponderante nell'attuale metodo di determinazione della qualità ecologica.

Analizzando con maggiore dettaglio i risultati della stazione a monte della confluenza con il fiume Topino, si evidenzia il miglioramento di tutti i parametri, grazie all'apporto benefico del fiume Clitunno, caratterizzato da buona qualità delle acque e portate elevate.

Il punteggio complessivo passa da un valore pari a 125 allo stato attuale (corrispondente al Livello 3 prossimo alla soglia di passaggio con il Livello 4) ad un valore pari a 250 nella condizione di scenario, per effetto del miglioramento di tutti i parametri, ad eccezione dei composti dell'azoto, nonostante una sensibile riduzione del 75° percentile dell'azoto nitrico.

6 CONCLUSIONI

La realizzazione del modello ha consentito di stimare con discreta approssimazione i carichi veicolati attraverso il sistema fluviale e di fornire una stima altrettanto coerente sia del carico diffuso, sia dei rapporti tra il carico generato all'origine e le destinazioni presumibili.

A tale scopo si è rivelato particolarmente efficace l'impiego della schematizzazione su base mensile che consente di apprezzare meglio la dinamica fluviale e le variazioni di carico stagionali.

Pur con le limitazioni già descritte al paragrafo 4 e relative alla simulazione dei carichi transitanti allo stato attuale, si può riconoscere che il modello è in grado di rispondere in maniera coerente alle variazioni degli input di portata e qualità.

Allo stato attuale, infatti, i dati osservati vengono simulati con un livello di accuratezza accettabile come ben evidenziato alle rette di taratura.

Anche nella generazione degli scenari di Piano, la simulazione mostra una buona coerenza tra la riduzione dei carichi in input prodotta dagli interventi previsti e le concentrazioni simulate in asta.

Come sempre accade nel caso di modelli complessi, le maggiori difficoltà emerse dipendono dall'accuratezza dei dati di base. In particolare, la disponibilità di dati di dettaglio relativi a condizioni estreme (eventi di piena, condizioni di magra) rappresenta un'informazione fondamentale per una più corretta taratura del modello.

Nell'ottica del monitoraggio degli effetti delle misure di Piano, è auspicabile una ricalibrazione della taratura, che tenga conto di tutto il quadro conoscitivo sviluppato all'interno del Piano di tutela, delle serie storiche aggiornate di dati, nonché delle nuove conoscenze che si renderanno disponibili, per effetto di quanto previsto nella Parte III, Sez. VII del Piano.

Un ulteriore sviluppo a breve termine sarà il completamento della simulazione lungo tutta l'asta del Tevere in territorio umbro: a tal fine si sta provvedendo a completare la simulazione, tramite modelli dedicati, dei processi di rimozione degli inquinanti nei principali invasi in asta (Corbara ed Alviano).

Sulla base di tali aggiornamenti il modello di qualità messo a punto risulterà lo strumento privilegiato di verifica dell'efficacia del Piano di Tutela delle Acque.