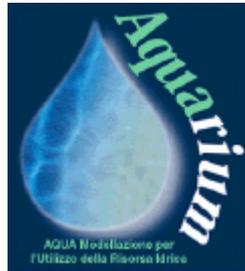


**PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO**

Giorgio Marcazzan  
Mirko Tovazzi



**LA MODELLISTICA  
DEL SISTEMA AQUARIUM:**

**IL PRIMO CASO STUDIO  
SULL'ALTO BACINO DELL'AVISIO**



Giugno 2000

## **RINGRAZIAMENTI**

Si ringraziano tutti i Servizi e le persone che hanno a vario titolo contribuito alla realizzazione di questo caso studio, in particolare modo si ringraziano per il supporto tecnico fornito il Prof. Alberto Bellin dell'Università di Trento, la Dott. Raffaella Canepel e l'Ing. Enrico Toso dell'APPA, i Sig. Giuseppe Cadrobbi e Fabio Fedrizzi dell'APPA e il Sig. Alessandro Degasperì del Servizio Informatica.

Si ringraziano inoltre il Servizio Statistica e l'Agenzia Provinciale Protezione Ambiente nelle persone del Dott. Lorenzo Ziglio e Dott. Roberto Boso per la disponibilità fornita.

### **Gli Autori:**

Ing. Giorgio Marcazzan  
Via Cendrata n° 16, 37131 Verona  
e-mail: [jona@iol.it](mailto:jona@iol.it)  
[modelli.acque@provincia.tn.it](mailto:modelli.acque@provincia.tn.it)

Ing. Mirko Tovazzi  
Via Damiano Chiesa n° 20, 38060 Volano (TN)  
e-mail: [mirko.tov@dnet.it](mailto:mirko.tov@dnet.it)  
[modelli.acque@provincia.tn.it](mailto:modelli.acque@provincia.tn.it)

# INDICE

<b>LA MODELLISTICA DEL SISTEMA AQUARIUM: IL PRIMO CASO STUDIO SULL'ALTO BACINO DELL'AVISIO .....</b>	<b>1</b>
PREFAZIONE.....	1
INTRODUZIONE.....	1
LA VALLE DI FASSA.....	2
<b>IL MODELLO DIFFUSO PER IL BILANCIO IDROLOGICO: MODIDR.....</b>	<b>4</b>
LA LOGICA DI FUNZIONAMENTO DEL MODELLO .....	4
I DATI DISTRIBUITI.....	6
LE MAPPE GENERATE DAL MODELLO .....	13
<i>Mappa delle quote corretta.....</i>	<i>13</i>
<i>Mappa dei puntatori idrologici.....</i>	<i>13</i>
<i>Mappa degli ordini di calcolo.....</i>	<i>13</i>
<i>Mappa dei bacini .....</i>	<i>15</i>
<i>Mappa dei tempi di trasferimento.....</i>	<i>16</i>
<i>Mappe della capacità di ritenuta e velocità di infiltrazione a saturazione .....</i>	<i>17</i>
I DATI PUNTUALI UTILIZZATI PER IL BILANCIO IDROLOGICO.....	21
ALTRI DATI NECESSARI AL BILANCIO IDROLOGICO .....	26
I DATI PUNTUALI UTILIZZATI PER LA TARATURA .....	29
IL BILANCIO IDROLOGICO.....	32
LA TARATURA.....	35
GLI OUTPUT DEL MODELLO .....	42
INTEGRAZIONE CON IL MODELLO DI QUALITA' QUAL2EU .....	49
SUPPORTO ALLE DECISIONI NEL GOVERNO DELLA RISORSA IDRICA: CURVE DI DURATA.....	56
CONSIDERAZIONI GENERALI SUGLI OUTPUT DI MODIDR .....	63
<b>APPLICAZIONE DEL MODELLO DI QUALITA' VETTORIALE QUAL2EU ALL'ALTO BACINO DELL'AVISIO .....</b>	<b>65</b>
BREVE DESCRIZIONE DEL MODELLO E POTENZIALITA' SFRUTTATE NELL'APPLICAZIONE .....	65
LA SCELTA DEL PERIODO PER LA SIMULAZIONE E LA SCHEMATIZZAZIONE DELL'ASTA DEL TORRENTE AVISIO (DAL LAGO DI PIAN DELLA FEDAIA A PREDAZZO) .....	67

GLI INPUT QUALITATIVI PER IL PROGRAMMA: STIMA, AFFIDABILITA' E	
CONSIDERAZIONI GENERALI .....	71
<i>Aspetti idraulici</i> .....	71
<i>I depuratori</i> .....	71
<i>Altre sorgenti di inquinamento puntuale</i> .....	73
<i>Le cinetiche di consumo dell'ossigeno e di ossigenazione</i> .....	79
GLI INPUT QUANTITATIVI, LA RELAZIONE CON IL MODELLO DI DEFLUSSO	
MODIDR .....	81
I DATI NECESSARI PER LA TARATURA DI QUAL2EU .....	82
<i>Campagna di monitoraggio</i> .....	82
<i>Sonde ad immersione</i> .....	85
<i>Campagne di monitoraggio dell'APPA</i> .....	89
GLI INPUT PUNTUALI .....	90
<i>Primo tratto</i> .....	91
<i>Secondo tratto</i> .....	103
GLI OUTPUT RIGUARDANTI LA SITUAZIONE ATTUALE.....	107
TRATTO FEDAIA PEZZE' DI MOENA.....	108
<i>Andamento delle portate</i> .....	108
<i>Andamento dell'ossigeno disciolto</i> .....	109
<i>Andamento delle temperature dell'acqua</i> .....	110
<i>Andamento del BOD5</i> .....	111
TRATTO PEZZE' PREDAZZO.....	113
<i>Andamento delle portate</i> .....	113
<i>Andamento dell'ossigeno disciolto</i> .....	114
<i>Andamento delle temperature</i> .....	114
<i>Andamento del BOD5</i> .....	115
GENERAZIONE DI DIVERSI SCENARI E RISPOSTE DEL MODELLO .....	116
TRATTO FEDAIA-PEZZE' DI MOENA.....	117
TRATTO PEZZE' -PREDAZZO .....	124
CONSIDERAZIONI GENERALI SUGLI OUTPUT DI QUAL2EU .....	127
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>129</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>132</b>
<b>ENTI E SERVIZI CONTATTATI .....</b>	<b>133</b>

# **LA MODELLISTICA DEL SISTEMA AQUARIUM: IL PRIMO CASO STUDIO SULL'ALTO BACINO DELL'AVISIO**

## **PREFAZIONE**

Il sistema di governo AQUARIUM rappresenta, grazie anche alla modellistica in esso contenuta, uno strumento adatto alla pianificazione della risorsa idrica, in grado, oltre che di contenere dati georeferenziati e metadati, di predisporre e valutare eventuali scenari d'intervento. Questa capacità è strettamente connessa con la possibilità e la volontà da parte della Pubblica Amministrazione di alimentare e tenere aggiornata la relativa banca dati; questo primo passo è la tappa obbligata per l'adozione del sistema che altrimenti rischia di rimanere un contenitore vuoto.

L'applicazione di un qualsiasi modello matematico al territorio impone la definizione di un modello concettuale che risulta importante ai fini di una corretta valutazione della realtà, e utile in quanto costringe ad una trattazione che rivela nuove interpretazioni del problema. Con riferimento all'utilizzo del modello di qualità QUAL2EU tale aspetto è particolarmente importante, poiché gli input al programma devono essere inseriti nel contesto di una schematizzazione rigorosa che richiede una certa elaborazione.

La modellistica non rappresenta una risposta semplice ed immediata ai problemi di governo della risorsa idrica, essa consente, affiancata da opportune competenze e da una adeguata conoscenza della realtà modellata, di integrare dati spazialmente disgiunti e di generare scenari futuri sulla base dello stato attuale.

## **INTRODUZIONE**

La creazione di un primo caso studio implica la scelta di una zona studio che si presti ad esemplificare quali sono le capacità attuali del sistema. La valle che maggiormente fornisce spunti per la prima implementazione e che allo stesso tempo presenta un sistema ambientale non troppo complesso è la Val di Fassa. Il bacino drenante si presenta ancora vicino alle dinamiche naturali (se si esclude l'area drenante nel serbatoio della Fedaia e l'invaso di Pezzè di Moena), il torrente Avisio, invece, mostra gli effetti di una eccessiva pressione antropica dovuta principalmente allo sviluppo turistico che ha investito la valle negli ultimi decenni.

## LA VALLE DI FASSA

La valle di Fassa si sviluppa nelle Dolomiti occidentali, tutta al di sopra dei 1200m s.l.m., da N-NE a S-SW tra imponenti picchi dolomitici: il Gruppo della Marmolada (m 3343) sulla sinistra orografica, i massicci del Sella (m 3152), del Sassolungo (m 3179) e del Catinaccio (m 3002) sulla destra. Il torrente Avisio vi scorre dal Lago di Pian della Fedaia fino alla confluenza col Rio San Pellegrino. Gli affluenti sono caratterizzati in genere da un alto-medio corso largo e pianeggiante e da gole scavate nei gradini glaciali in corrispondenza della confluenza. I bacini lacustri si presentano di piccole dimensione a posti ad alta quota, per la maggior parte sono di origine glaciale. La Marmolada, che domina le sorgenti del torrente Avisio, contiene il ghiacciaio più vasto delle Alpi Orientali. Sono inoltre presenti due invasi artificiali per la produzione di energia elettrica, il serbatoio della Fedaia, 16.000.000 di m<sup>3</sup>, che drena la parte più alta del bacino dell'Avisio e scarica nel bacino del Piave e il serbatoio di Pezzè di Moena (360.000 m<sup>3</sup>), che chiude un bacino di circa 200 km<sup>2</sup> e rilascia all'altezza di Predazzo.

Il clima è continentale, tipico delle valli alpine con inverni lunghi e rigidi (temperature minime fino a -27 °C) ed estati brevi e fresche. Le precipitazioni raggiungono i 1000 mm annui con una media di 100 giorni piovosi all'anno.

Dal punto di vista geologico la Valle di Fassa è nota per la presenza dell'eteropia di facies; vale a dire della coesistenza di rocce di origine diversa, calcaree e magmatiche coeve, formatesi cioè nel Trias medio allorché un mare caldo e poco profondo copriva la regione turbato da un'intensa attività vulcanica. Le successive vicende geomorfologiche modellarono il paesaggio attuale. Sulla sinistra orografica è presente la grande scogliera ladino-carnica della Marmolada (calcare della Marmolada), con il complesso vulcanico del Buffaure-Colbèl e quello, calcareo, della Vallaccia. Si notano, specialmente nel Gruppo dei Monzoni, un'alternanza dei punti di contatto tra rocce vulcaniche e sedimentarie. Sulla destra orografica, al sistema vulcanico del Padòn segue il massiccio sedimentario del Sella dove, verso i 2400 m, affiora dallo zoccolo di dolomia coralligena ladino-carnica non stratificata, la dolomia principale, stratificata, della quale sono formate le Dolomiti orientali. Di origine vulcanica è invece il Monte Posin: mentre sono sedimentari i massicci del Sassolungo, della scogliera del Catinaccio (dolomia ladino-carnica non stratificata); nel massiccio del Lätemar (calcare del Lätemar), affiorano infine filoni vulcanici.

Gli insediamenti umani sono per lo più di conoide e disposti in sponda destra Avisio, dove la valle presenta più spazi. L'aspetto della valle ha subito un netto cambiamento quando, alla tradizionale economia basata sulla pastorizia, si sostituì l'industria turistica che, oltre ad un cambiamento delle abitudini lavorative, ha comportato la costruzione di infrastrutture che la supportassero. Si è così sviluppata, dalla seconda metà degli anni sessanta, l'espansione turistico

residenziale dei centri più importanti che ha comportato la rottura del delicato equilibrio uomo-ambiente. Rottura che è soprattutto evidente nel degrado del torrente Avisio.

La situazione odierna, caratterizzata da una forte pressione antropica di origine turistica nei periodi più critici per l'Avisio (magra invernale), l'assenza di pratiche agricole estese e il limitato sviluppo di infrastrutture industriali fa sì che l'inquinamento sia principalmente di tipo organico; diventa così significativa la misura del BOD (Domanda Biochimica di Ossigeno) nel modellare e rappresentare questo contesto. QUAL2EU è il modello in grado di simulare in maniera ottimale le dinamiche relative all'indicatore BOD, tuttavia il modello necessita anche dell'informazione quantitativa (portate) indispensabile per una corretta simulazione di qualità. Ecco allora che a questo modello si affianca quello di bilancio idrologico MODIDR. Tale programma permette di ricostruire la distribuzione delle portate nel bacino rendendo così possibile la realizzazione di una simulazione quali-quantitativa nell'area studio.

Si è scelto di applicare il modello idrologico MODIDR limitatamente alla parte di bacino dell'Avisio chiuso a Predazzo e il modello di qualità QUAL2EU su due tratti distinti del corso d'acqua: dall'invaso della Fedaia al bacino di Pezzè e dal bacino di Pezzè a Predazzo.

# **IL MODELLO DIFFUSO PER IL BILANCIO IDROLOGICO: MODIDR**

## **LA LOGICA DI FUNZIONAMENTO DEL MODELLO**

La logica di funzionamento di MODIDR può essere descritta modularmente, partendo dalle informazioni geomorfologiche e idrologiche, per giungere ai risultati delle simulazioni. Il flow chart di figura 1 mette in evidenza come, la quasi totalità dei dati necessari all'implementazione del modello idrologico possano essere recuperati direttamente e in automatico dalla base dati di AQUARIUM (Data Warehouse), una volta che, quest'ultima, sia stata adeguatamente popolata. Per il presente caso studio questi dati sono stati recuperati, con grande sforzo, dai vari Servizi che si occupano di governo e di gestione della risorsa idrica (Servizio Idrografico, SOIS, APPA, Servizio Geologico, Servizio Urbanistica, Bacini Montani. Autorità di Bacino, etc..) in quanto, nel periodo in cui questo lavoro è partito, era appena iniziato il grosso lavoro di popolamento della base dati di AQUARIUM o, per dirlo in termini informatici, il popolamento della base dati era (ed è tuttora) in progress.

Non a caso parlando di reperimento dati ho elencato un gran numero di Servizi ed Enti cui si è dovuto far riferimento, solo infatti la realizzazione di un grosso database, contenitore di tutti questi dati, che venga costantemente e con precisione controllato e alimentato, potrà ridurre notevolmente l'onere di lavoro che sempre si presenta nel raccogliere ed organizzare dati per fare modellistica. Ecco allora che proprio AQUARIUM può essere un ottimo strumento di partenza, oltre che come GIS, per la gestione della grossa mole di dati che interessano il ciclo d'uso dell'acqua.

I dati di input necessari al modello si possono suddividere sostanzialmente in due categorie, i dati di natura distribuita (mappe raster) ed i dati di natura puntuale (misure idrometeorologiche); questi ultimi a sua volta si possono distinguere in dati di input veri e propri, necessari all'implementazione del bilancio idrologico, e dati di input di taratura, necessari ad aggiustare i valori di capacità di ritenuta e di infiltrazione del bacino e a trovare i corretti valori dei parametri lumped che a taratura ultimata diverranno rappresentativi di quel bacino.

Raccolti tutti i dati è allora possibile passare all'implementazione del modello, consistente nella lettura delle misure idrometeorologiche e nella loro elaborazione sulla base di un bilancio di cella, aggregato poi sull'intero bacino analizzato, avendo come obiettivo la riproduzione del regime dei deflussi su di un determinato periodo temporale.

La simulazione del regime dei deflussi, su una qualsiasi sezione di chiusura del bacino e generata successivamente alla taratura del modello, consente il diretto utilizzo dell'informazione riprodotta come dato di input per altri modelli o, con opportune elaborazioni, l'impiego all'interno di iter decisionali di governo della risorsa idrica come supporto alle decisioni.

Vista a grandi linee la logica di funzionamento del modello, passiamo ad una descrizione più accurata dei vari dati di input con riferimento in particolare a quelli relativi al bacino dell'alto Avisio.

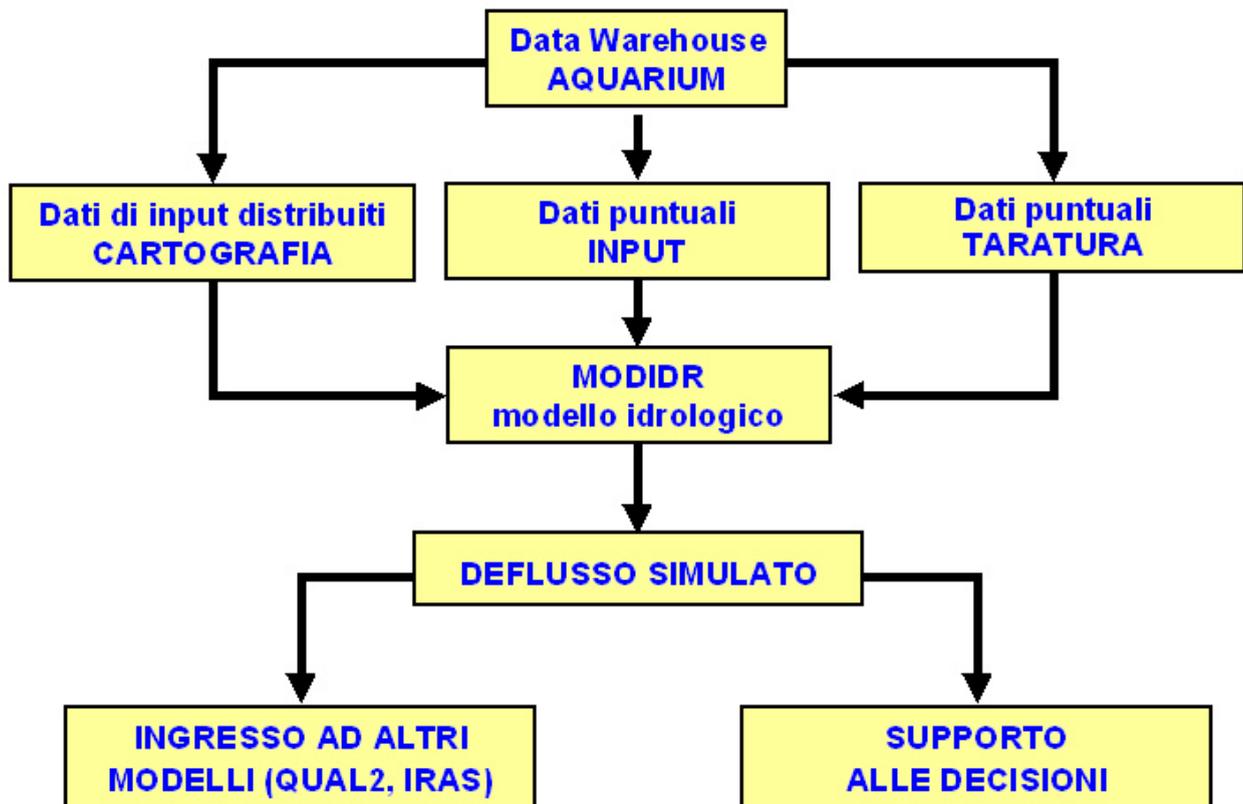


Figura 1. Rappresentazione schematica della logica di funzionamento del modello.

## I DATI DISTRIBUITI

I dati distribuiti che inizialmente servono al modello sono rappresentati da due mappe raster: il modello digitale del terreno o DTM e l'informazione spaziale della geolitologia e pedologia.

Entrambe i raster sono suddivisi in celle di uguale dimensione che nel loro insieme costituiscono la mappa del bacino; ad ogni cella del raster viene associato un valore diverso delle grandezze rappresentate, nel primo caso quindi le quote e nel secondo le informazioni geolitologiche o pedologiche (mediante un codice). Le informazioni fornite dalla seconda mappa sono in realtà le capacità di ritenuta e di infiltrazione che vengono assegnate alle singole celle mediante delle opportune tabelle che legano queste informazioni al codice della cella.

Il DTM (figure 2 e 3) rappresenta per il modello l'informazione distribuita delle quote dell'area del bacino considerato; partendo da questa informazione, il modello genera una serie di altre mappe (mappe derivate) che forniscono informazioni e quantificazioni sui processi di trasferimento dei deflussi da una cella all'altra del bacino. Nel caso studio è stata utilizzata solo la parte alta del bacino dell'Avisio, in particolare si è scelto di chiudere il bacino a Predazzo.

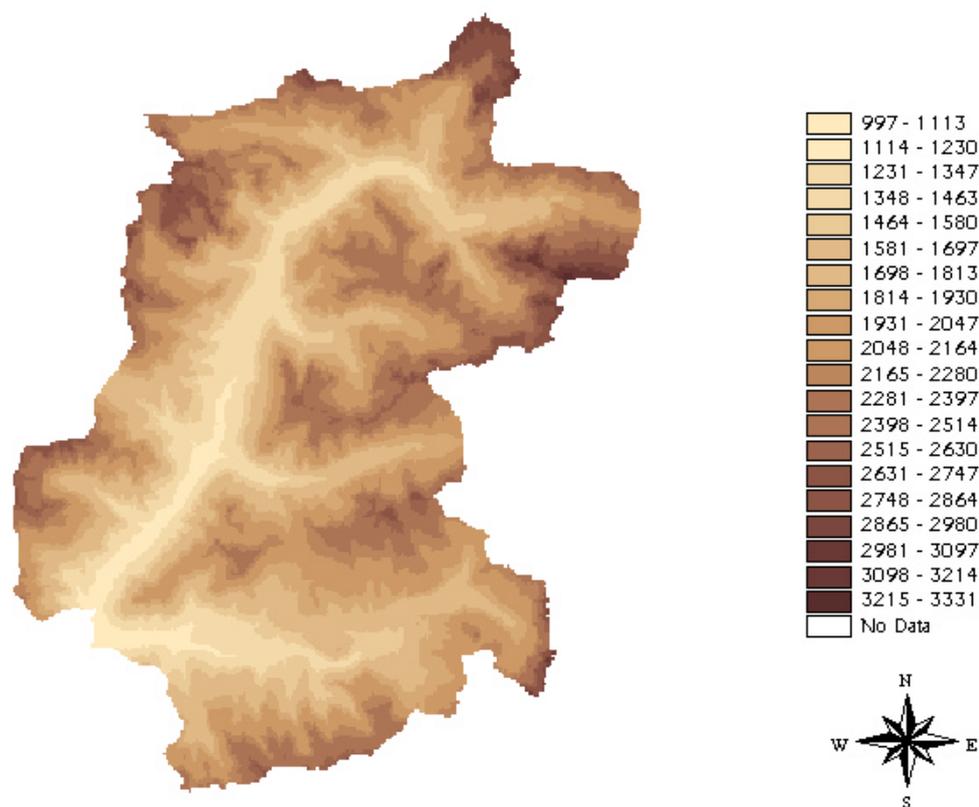
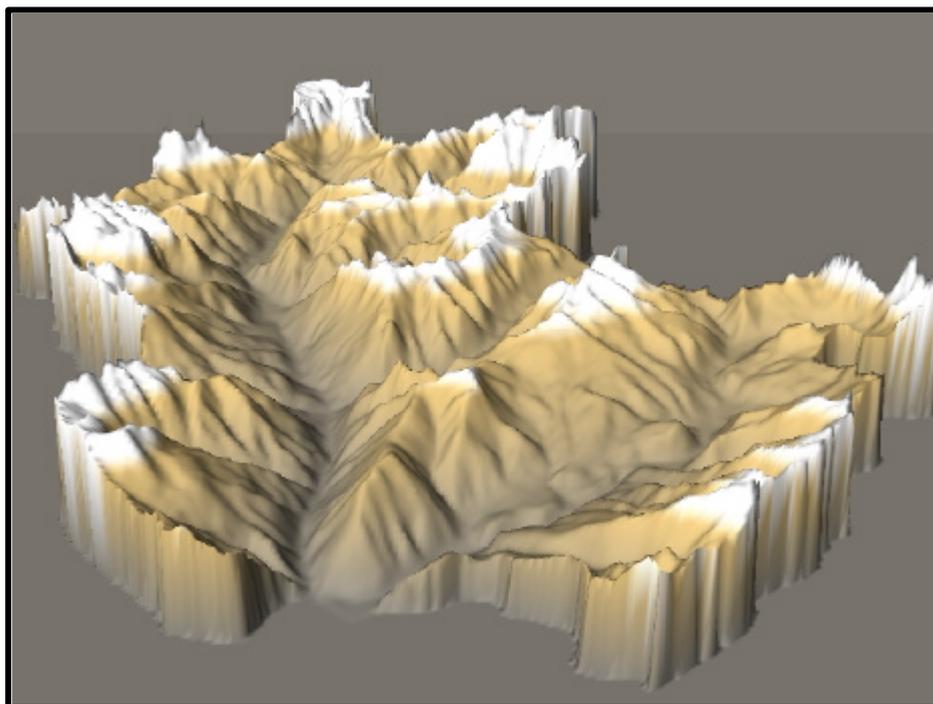


Figura 2 Rappresentazione bidimensionale del modello digitale del terreno del bacino dell'alto Avisio (a colore corrisponde quota secondo la legenda).

Si fa notare come i modelli che realizzano bilanci idrologici a scala di bacino, in particolare MODIDR, facciano sempre riferimento ad un territorio “naturale” dove gli aspetti quali-quantitativi dei deflussi sono regolati unicamente dalla geomorfologia del territorio. Questi modelli “non vedono” perciò quelli che sono gli interventi antropici che nel corso degli anni sono stati realizzati dall’uomo per la salvaguardia o lo sfruttamento del territorio e della risorsa idrica, interventi che si traducono in sistemazioni fluviali, sbarramenti, canali di gronda, invasi, ecc.



*Figura 3 Rappresentazione tridimensionale di un modello digitale del terreno del bacino dell’alto Avisio (in bianco è riportata una simulazione qualitativa del manto nevoso).*

Se, alcune di queste opere non inficiano il bilancio idrologico diffuso, altre, con la loro presenza, possono alterare notevolmente il regime dei deflussi, differenziando la situazione reale da quella che si avrebbe in condizioni naturali. E’ il caso ad esempio dell’invaso di Pian Fedaia che, come abbiamo visto, raccoglie le acque di drenaggio della parte più alta del bacino dell’Avisio convogliandole verso Malga Ciapela (bacino del Piave) e non verso il bacino imbrifero naturale; se nel bilancio idrologico non si tenesse conto di questo fatto, si andrebbe a sovrastimare il deflusso in quanto verrebbe messa in conto una maggiore superficie. MODIDR consente fortunatamente di apportare alcune modifiche al DTM intervenendo direttamente sulla singola cella della mappa, modificandone manualmente la quota. Per tenere conto quindi dell’anomalia causata dall’invaso

della Fedaia, il DTM è stato modificato in modo tale che la parte di bacino che drena direttamente nell'invaso (circa 10 km<sup>2</sup>) non partecipi al bilancio idrologico. La modifica, che è stata ottenuta elevando di quota una fila di celle in modo che la parte più alta del bacino non drena più nel bacino dell'Avisio, è ben visibile in figura 4.

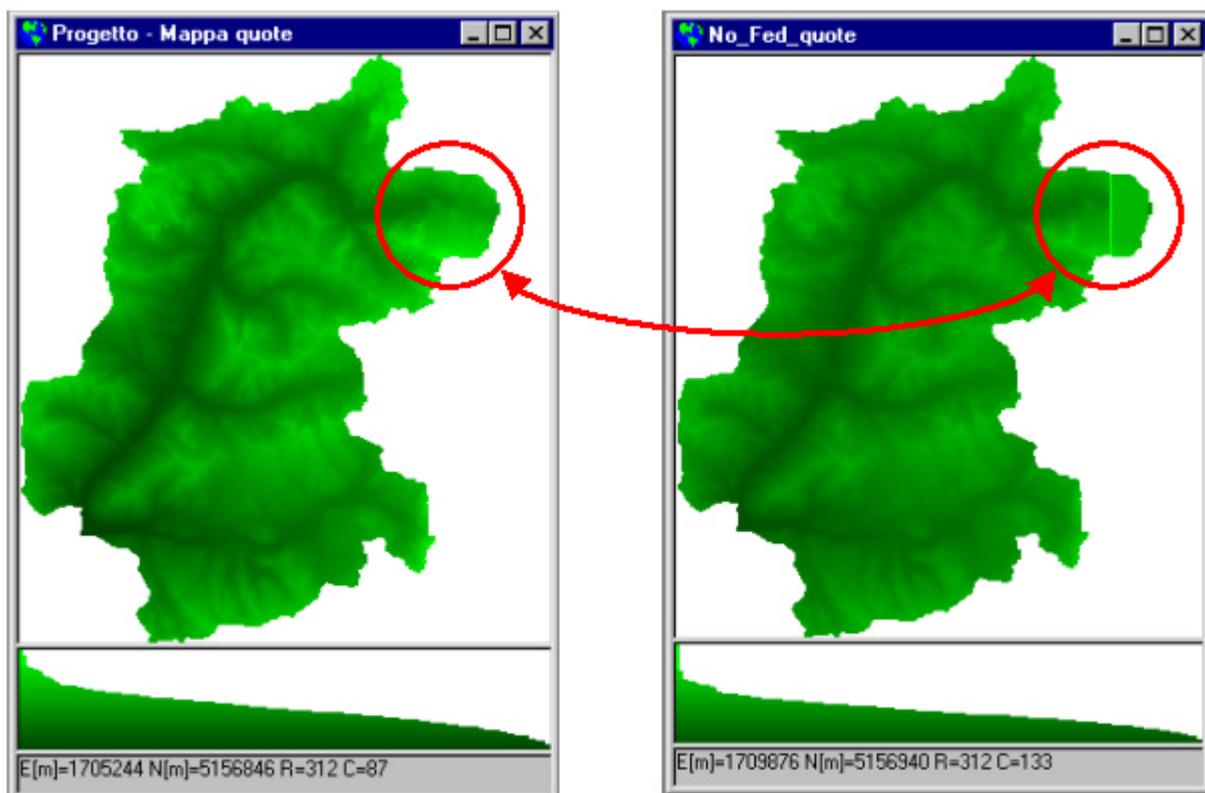


Figura 4. Confronto tra DTM originale e modificato per tenere conto dell'invaso della Fedaia, a sinistra prima e a destra dopo la modifica.

Il secondo raster rappresenta, come già detto, le informazioni distribuite della geolitologia o della pedologia. Diverse sono le indicazioni date da questi due tipi di mappe: la prima fornisce l'informazione relativa alle formazioni affioranti; la seconda fa invece riferimento ai tipi di classi del suolo o alla sua tessitura (composizione in percentuale di limo, sabbia e argilla) o ancora a proprietà legate alle caratteristiche idrauliche del suolo (classi di permeabilità, di capacità di campo, ecc.). Tra i due tipi di informazione quella pedologica è sicuramente la più preziosa; ma la scelta del tipo mappa e quindi del tipo di rappresentazione distribuita è essenzialmente legata alla disponibilità stessa del dato (ovviamente in forma numerica). Con riferimento al bacino dell'Avisio

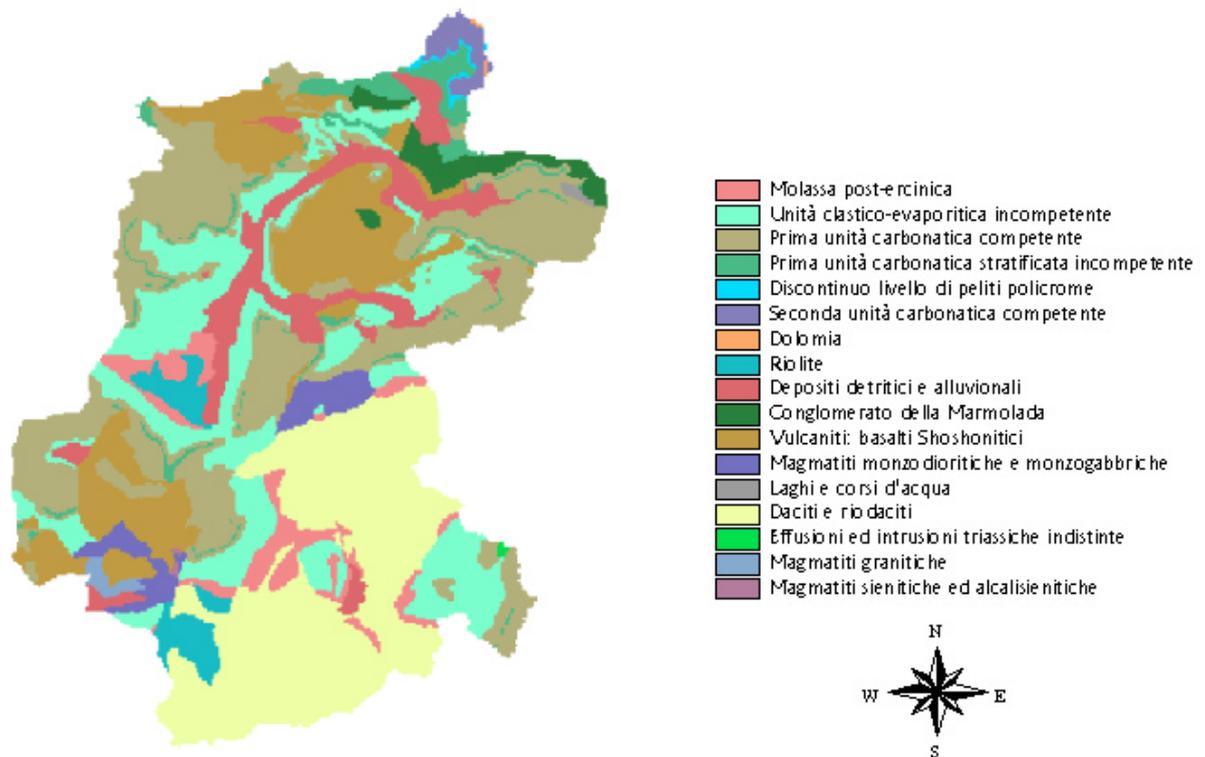
è stata utilizzata la mappa litologica, già disponibile in forma numerica presso il Servizio Geologico (figura 5).

Da questo tipo di mappa il modello stima le caratteristiche idrauliche del suolo in termini di capacità di ritenuta e velocità di infiltrazione a saturazione. L'aver scelto l'informazione litologica, che fornisce una stima indiretta delle caratteristiche idrauliche del bacino, piuttosto che l'informazione pedologica che consente una stima più diretta e precisa di tali grandezze, non è comunque eccessivamente penalizzante. Il calcolo delle mappe della capacità di ritenuta e della velocità di infiltrazione avviene infatti con un procedimento di generazione casuale sulla base di una distribuzione di tipo log-normale i cui parametri vengono derivati dai valori di media e deviazione standard ricavati delle tabelle di associazione (che verranno descritte più avanti). Ci svincola in questo modo da una visione eccessivamente deterministica delle caratteristiche idrauliche del suolo, descrivendone in senso spaziale la dispersione attorno ai valori medi. Una visione prettamente deterministica sarebbe improponibile data l'elevatissima variabilità spaziale presentata dalle caratteristiche idrauliche del suolo, così elevata che risulta difficilissimo trovare correlazioni e dipendenze con altre caratteristiche fisiche.

Ecco allora che diventa importante fornire, piuttosto che gli esatti valori dei parametri idraulici, le differenze in termini di valori medi relativamente alle diverse formazioni. I depositi detritici alluvionali avranno ad esempio una capacità di ritenuta e una velocità di infiltrazione maggiore rispetto ad una magmatite o ad una vulcanite. Malgrado rimanga comunque un'elevata incertezza anche nello stimare queste differenze, la possibilità di una rappresentazione distribuita dei parametri idraulici costituisce comunque un miglioramento rispetto all'assegnazione di soli parametri lumped (uguali su tutto il bacino), che sono invece utilizzati nel modello in fase di taratura. La possibilità quindi di modificare le tabelle di associazione in modo da adattarne i valori allo stato della conoscenza della geologia e della pedologia locale, migliora le potenzialità modellistiche. Nel nostro studio sono state utilizzate varie tabelle di associazione in modo da generare differenti mappe delle caratteristiche idrauliche; in particolare sono state simulate tre differenti situazioni:

1. Capacità di ritenuta e velocità di infiltrazione uguali su tutto il bacino; questo equivale a delegare la stima delle caratteristiche idrauliche del bacino a due soli parametri lumped ( $\theta_{\max}$  e  $V_{\text{inf}}$ ). E' come se il bacino fosse costituito da un suolo omogeneo ed isotropo;

2. Suddivisione del bacino in due diverse classi di capacità di ritenuta ed infiltrazione;



3. Suddivisione del bacino in quattro diverse classi di capacità di ritenuta ed

*Figura 5. Raster della geologia, è la mappa di origine per la stima delle caratteristiche idrauliche del suolo.*

infiltrazione; caso con maggior dettaglio nella variabilità delle caratteristiche idrauliche.

Ai fini del bilancio idrologico è stata utilizzata la mappa che meglio consente di riprodurre il deflusso misurato, nel nostro caso la mappa ottenuta con la situazione 3 che differenzia maggiormente le caratteristiche idrauliche del bacino. Si è comunque notato che i risultati ottenuti con le altre due mappe non sono molto diversi e questo principalmente per due motivi:

- In tutte e tre le simulazioni il range di variazione dei parametri di capacità di ritenuta e velocità di infiltrazione è molto contenuto, tra 100 e 200 mm per il primo parametro e tra 1 e 2 mm/h per il secondo;

- Il lasso di tempo su cui è sviluppato il bilancio (10 anni) è più che sufficiente per portare a regime la ricarica della falda profonda e per far sì quindi che la capacità di ritenuta e la velocità di infiltrazione vadano ad influenzare maggiormente gli eventi estremi (regolati dal deflusso

superficiale ed ipodermico) piuttosto che i periodi di deflusso “ordinario” o le fasi di esaurimento (regolati dal deflusso profondo).

Si è preferito contenere il range di variazione di questi parametri, non avendo a disposizione dati sperimentali riguardanti il territorio esaminato ma solamente valori ricavati dalla letteratura.

Prima di analizzare nel dettaglio le mappe che il modello ricava partendo dai modelli digitali appena descritti, è utile fare alcune considerazioni sulla dimensione opportuna delle celle elementari dei raster, in relazione sia al grado di precisione con cui si va a rappresentare la realtà fisica del territorio (la morfologia), che ai tempi di calcolo necessari alla realizzazione del bilancio.

Con riferimento al territorio Trentino la massima definizione a cui è stato spinto il DTM è 10m, ossia l'informazione della quota viene data al centro della cella di lato 10m x 10m; una seconda matrice direttamente disponibile è quella di celle, sempre quadrate, di lato 40m x 40m. Volendo lavorare con celle di dimensione superiore è necessario ricostruire la matrice interpolando quelle di passo inferiore. Considerando l'estensione della parte di bacino esaminata (oltre 300 km<sup>2</sup>) e la scala temporale di aggregazione minima impiegata, il giorno, si è deciso di utilizzare inizialmente un DTM di passo 100m per poi verificare successivamente gli eventuali benefici introdotti riducendo il passo a 40m. Il DTM a passo 10m è stato subito escluso sia perché una tale precisione ha poco senso in bilanci diffusi a scala di bacino, sia per l'occupazione esagerata di memoria che le mappe avrebbero comportato (centinaia di Mbyte per mappa) causando seri problemi di gestione su di un normale personal computer. Passi di questo genere vengono in genere utilizzati nei modelli di piena dove la precisione di rappresentazione della morfologia del territorio in relazione alle scale spaziali utilizzate (l'ora o i minuti) è determinante per simulare la formazione dell'onda di piena.

Non appare superficiale ricordare che le celle del raster della geolitologia o pedologia devono avere le medesime dimensioni di quelle del DTM ed ovviamente, affinché si abbia perfetta coincidenza, la stessa georeferenziazione.

La precisione richiesta dal DTM dipende, oltre che dalla dimensione del bacino d'analisi, anche dal tipo di territorio che si va a schematizzare. Un bacino montano richiede sicuramente una schematizzazione più dettagliata di un bacino “di pianura”, per cogliere nel dettaglio il reticolo idrografico che contribuisce alla formazione del deflusso. Al crescere delle dimensioni della cella infatti, il reticolo idrografico che, in modo fittizio, il modello ricostruisce partendo dal DTM, si discosta sempre più da quello reale.

La scelta del passo corretto scaturisce perciò dal compromesso di due esigenze contrapposte: la prima, di avere celle di dimensioni piccole in modo da poter cogliere al meglio la morfologia del bacino, la seconda, di avere tempi di elaborazione non troppo lunghi, che si traduce in mappe di dimensioni contenute (in termini di memoria) e quindi celle di dimensioni grandi.

L'utilizzo di un DTM con celle di dimensione 100m x 100m ha evidenziato che questo passo spaziale fornisce un buon compromesso tra bontà della rappresentazione e tempi di calcolo (la macchina utilizzata è un Pentium III a 500 MHz con 128 Mbyte di RAM); il bilancio idrologico con chiusura del bacino a Soraga (circa 200 km<sup>2</sup> di bacino sotteso) e con passo di calcolo unitario (vengono esaminate tutte le celle) richiede tempi macchina di circa 8 ore. Il passaggio al DTM con celle di 40m x 40m migliora in modo appena apprezzabile la schematizzazione del reticolo idrografico (vedi figura 7) ma dilata notevolmente i tempi di elaborazione portandoli oltre i 3 giorni; si è deciso perciò di utilizzare il solo DTM con passo 100m.

Queste considerazioni possono tornare utili per la scelta del passo spaziale dei raster (DTM e geolitologia) che dovranno essere caricati nel Data Warehouse di AQUARIUM; con le attuali macchine a disposizione i 100m sembrano essere un passo corretto anche se la rapidità di sviluppo dell'hardware consentirà, in tempi brevi, di ridurre notevolmente il passo spaziale mantenendo inalterati i tempi di calcolo. Bisogna comunque tenere presente che non ha senso affinare eccessivamente il passo del DTM mantenendo inalterato il periodo di aggregazione temporale minimo dei dati che come vedremo poi per MODIDR è il giorno. Scale spaziali e scale temporali non sono infatti mai disgiunte; la riduzione della scala spaziale ha senso quindi solo se contemporaneamente viene ridotta quella temporale.

## **LE MAPPE GENERATE DAL MODELLO**

Il modello, partendo dal DTM e dal raster della geologia (con relative tabelle di associazione) genera una serie di mappe che gli sono necessarie per definire quali-quantitativamente i deflussi. Elencheremo di seguito le mappe che il modello elabora riportando per ognuna di esse alcune importanti considerazioni.

### **Mappa delle quote corretta**

Il modello, partendo dal DTM originale, elabora una mappa priva di celle in depressione; la presenza infatti di celle in depressione impedisce il corretto calcolo della successiva mappa dei puntatori, in quanto una cella in depressione non ha una direzione di svaso e dunque non contribuisce al deflusso. Tali celle, ad eccezione di quelle che si trovano sul bordo della mappa, vengono elevate di quota simulando il riempimento di un invaso finché il livello non consente lo svaso verso le celle di valle.

### **Mappa dei puntatori idrologici**

La mappa dei puntatori, derivata direttamente da quella corretta delle quote, specifica, per ogni singola cella, in quale cella contigua viene trasferita l'acqua della cella in esame. Tale specificazione scaturisce dal confronto tra la quota della cella in esame e quelle delle 8 celle circostanti; è chiara dunque l'importanza di correggere tutte le celle in depressione del DTM. In figura 6 è riportata la mappa dei puntatori per la parte di bacino dell'Avisio esaminata.

### **Mappa degli ordini di calcolo**

Questa mappa, derivata da quella dei puntatori, specifica il numero massimo di celle in cascata a monte della cella in esame ossia, in altri termini, fornisce il reticolo idrologico del bacino. In figura 7 è rappresentata la mappa degli ordini; effettuando uno zoom sul bacino dell'Antermont si può notare il diverso grado di precisione a seconda che per la generazione di questa mappa venga utilizzato un DTM ai 100m piuttosto che uno a 40m. E' molto interessante osservare se il reticolo, costruito sulla base dei soli dati del DTM, è veramente rappresentativo della situazione reale del bacino. Per verificare ciò, alla mappa degli ordini generata da MODIDR utilizzando il DTM a 100m, è stato sovrapposto lo shape dei tronchi georeferenziato disponibile in AQUARIUM. In figura 8 si può osservare che la sovrapposizione è già molto buona anche con il DTM a passo 100m.

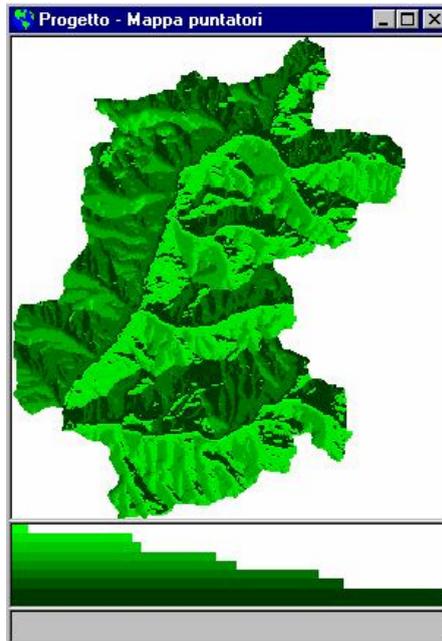


Figura 7. Mappa dei puntatori idrologici per il bacino dell'alto Avisio (a colore corrisponde diversa direzione di scorrimento).

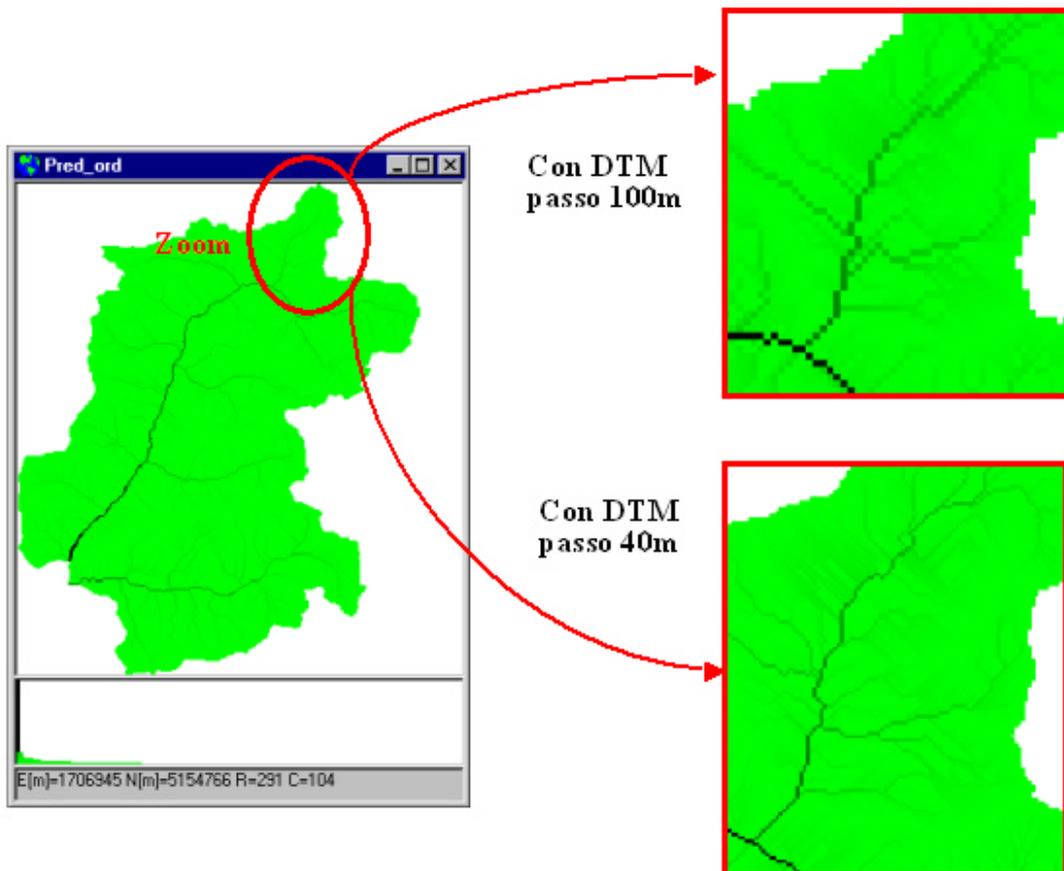
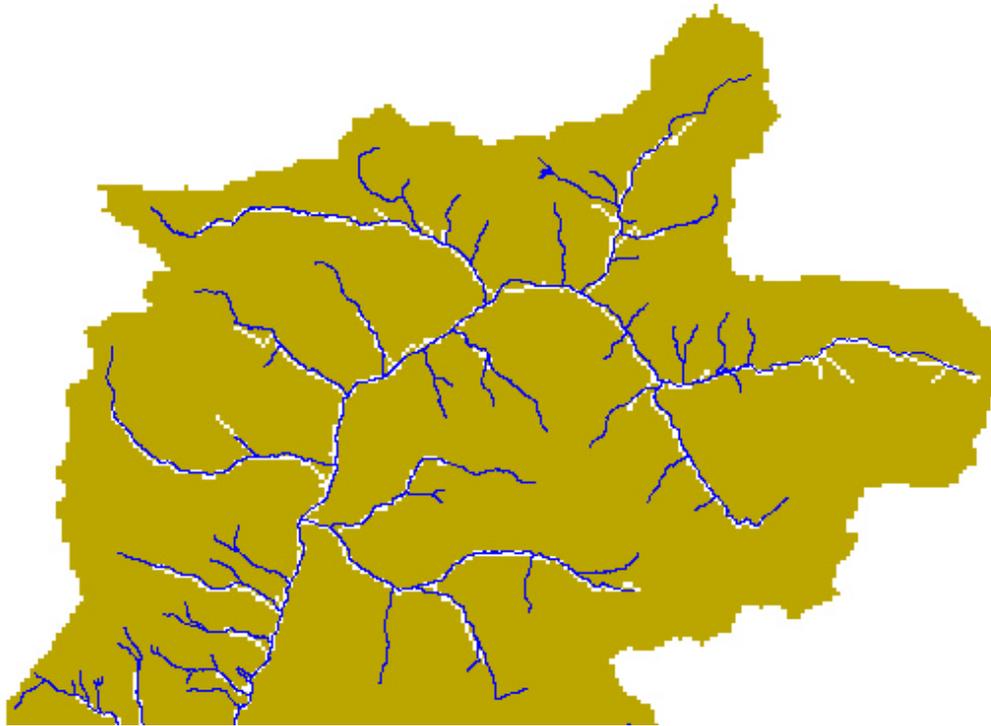


Figura 6. Mappa degli ordini per il bacino dell'alto Avisio; confronto sulla rappresentazione del reticolo utilizzando modelli digitali del terreno con differente passo.



*Figura 8. Mappa degli ordini per il bacino dell'alto Avisio con sovrapposto lo shape dei tronchi (in blu); in bianco è rappresentato il reticolo ricostruito partendo dal DTM.*

Questo dimostra che per gli scopi stabiliti, il bilancio idrologico a scala di bacino, l'utilizzo del DTM a 100m è più che sufficiente. Le cose certo migliorerebbero leggermente utilizzando il passo 40m ma, come abbiamo già visto, a scapito di tempi di calcolo eccessivamente onerosi.

La mappa degli ordini è utilizzata nel modello anche per la selezione delle sezioni di chiusura rispetto alle quali effettuare il bilancio.

### **Mappa dei bacini**

La mappa identifica, con uno stesso codice, tutte le celle che afferiscono ad una stessa foce sulla base di quanto indicato dalla mappa dei puntatori idrologici. Nel nostro caso (figura 9) l'area di territorio esaminata viene suddivisa in 4 differenti bacini; la rappresentazione è attuata con gradazioni di colore che vanno dal nero al verde chiaro. Le piccole aree in nero (1) rappresentano celle che sversano esternamente al bacino dell'Avisio presenti a causa di un non perfetto "taglio" del DTM sulle linee di displuvio del bacino. In verde scuro (2) è rappresentato il bacino originato dalla modifica sul DTM fatta per tenere conto dell'invaso della Fedaia, invaso che convoglia

l'acqua esternamente al bacino dell'Avisio. In verde pisello (3) si vede la parte alta del bacino dell'Avisio con sezione di chiusura a Predazzo, a monte della confluenza con il torrente Travignolo; è su questo bacino che si realizza il bilancio idrologico. Infine, in verde chiaro (4), si ha il bacino del Travignolo.

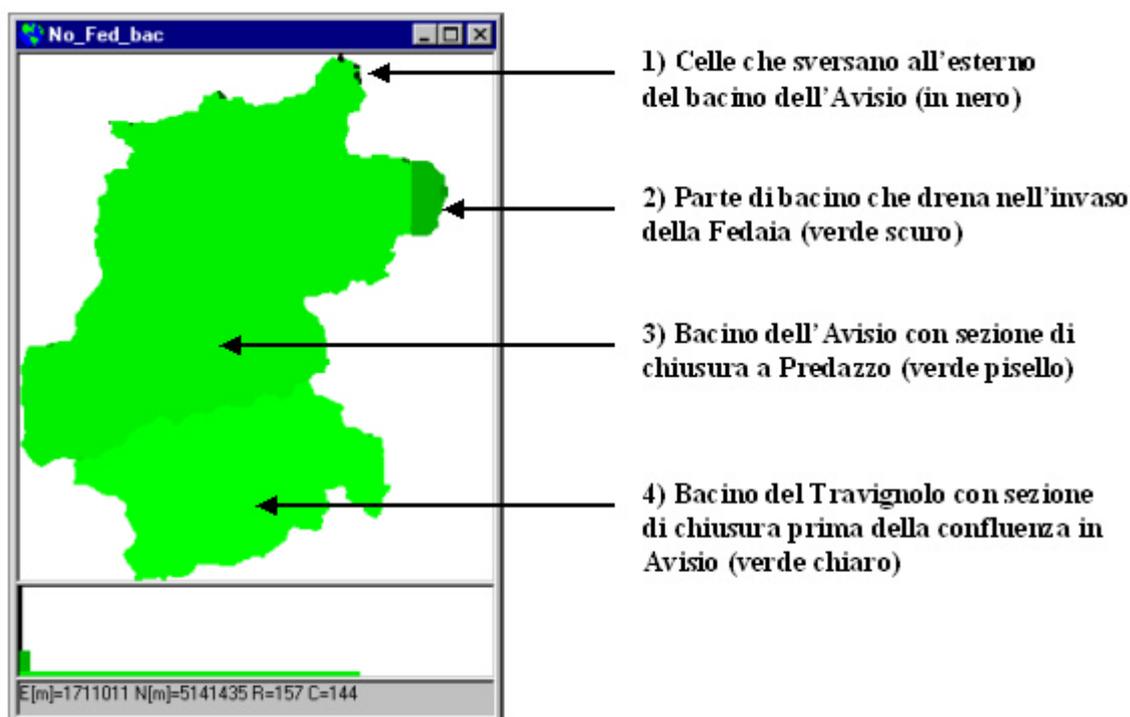


Figura 9. Mappa dei bacini ricavata da MODIDR partendo da quella dei puntatori.

### Mapa dei tempi di trasferimento

Questa mappa specifica il tempo di trasferimento da una cella alla foce assumendo una velocità di trasferimento costante e pari ad 1 m/s. Per ogni cella il percorso verso la foce viene individuato dalla mappa dei puntatori. E' possibile modificare la velocità di trasferimento attraverso un parametro di taratura del modello. Si noti come, in figura 10, a lunghi tempi di trasferimento sia associato il colore verde scuro mentre a brevi tempi di trasferimento il colore chiaro. La parte di bacino che interessa l'invaso della Fedaia è ovviamente in verde chiaro in quanto non trasferisce la risorsa idrica nel bacino dell'Avisio.

## Mappe della capacità di ritenuta e velocità di infiltrazione a saturazione

Queste due mappe si distinguono da quelle precedentemente elencate poiché non vengono generate a partire dal modello digitale del terreno ma partendo dal raster della geologia di figura 3.

Sul significato di queste mappe si è già ampiamente parlato nel paragrafo relativo ai dati distribuiti; si ricorda solamente perciò che esse sono generate attraverso un procedimento di generazione casuale partendo da dei valori di capacità di ritenuta e di infiltrazione che attraverso delle tabelle di associazione vengono assegnati ad ogni singola cella del raster. Riportiamo di seguito le tre situazioni simulate in termini di tabella di associazione e relativa mappa generata, ricordando che per il nostro caso studio è stata utilizzata la mappa ottenuta con la terza simulazione.

Le tabelle di associazione utilizzate sono le seguenti:

*Tabella1: tabelle di associazione per la generazione delle mappe di capacità di ritenuta e di infiltrazione;*

*1) simulazione con parametri omogenei su tutto il bacino.*

Num	ThetaM (mm)	ThetaS (mm)	KsM (mm/h)	KsD (mm/h)	Commento
1	100	50	1	0.5	(19) Molassa post ercinica
2	100	50	1	0.5	(24) Unita' clastico-evaporitica incompetente
3	100	50	1	0.5	(25) Prima unita' carbonatica competente
4	100	50	1	0.5	(26) Prima unita' carbonatica stratificata, incompetente
5	100	50	1	0.5	(28) Discontinuo livello di peliti policrome
6	100	50	1	0.5	(29) Seconda unita' carbonatica,competente:Dolomia Principale
7	100	50	1	0.5	(31) Terza unita' carbonatica competente
8	100	50	1	0.5	(223) Rioliti
9	100	50	1	0.5	(40) Depositi detritici,alluvionali e morenici indistinti
10	100	50	1	0.5	(260) Conglomerato della Marmolada
11	100	50	1	0.5	(271) Vulcaniti:Basalti Shoshonitici
12	100	50	1	0.5	(272) Magmatiti monzodioritiche e monzogabbriche
13	100	50	1	0.5	(900) Laghi e corsi d'acqua
14	100	50	1	0.5	(222) Daciti e riocaciti
15	100	50	1	0.5	(270) Effusioni ed intrusioni triassiche distinte
16	100	50	1	0.5	(273) Magmatiti granitiche
17	100	50	1	0.5	(274) Magmatiti sienitiche ed alcalisienitiche

2) suddivisione del bacino in due diverse classi di suolo.

Num	ThetaM (mm)	ThetaS (mm)	KsM (mm/h)	KsD (mm/h)	Commento
1	150	50	1	0.5	(19) Molassa post ercinica
2	150	50	1	0.5	(24) Unita' clastico-evaporitica incompetente
3	150	50	1	0.5	(25) Prima unita' carbonatica competente
4	150	50	1	0.5	(26) Prima unita' carbonatica stratificata, incompetente
5	150	50	1	0.5	(28) Discontinuo livello di peliti policrome
6	150	50	1	0.5	(29) Seconda unita' carbonatica,competente:Dolomia Principale
7	150	50	1	0.5	(31) Terza unita' carbonatica competente
8	150	50	1	0.5	(223) Rioliti
9	200	50	2	1	(40) Depositi detritici,alluvionali e morenici indistinti
10	150	50	1	0.5	(260) Conglomerato della Marmolada
11	150	50	1	0.5	(271) Vulcaniti:Basalti Shoshonitici
12	150	50	1	0.5	(272) Magmatiti monzodioritiche e monzogabbriche
13	200	50	2	1	(900) Laghi e corsi d'acqua
14	150	50	1	0.5	(222) Daciti e riodaciti
15	150	50	1	0.5	(270) Effusioni ed intrusioni triassiche distinte
16	150	50	1	0.5	(273) Magmatiti granitiche
17	150	50	1	0.5	(274) Magmatiti sienitiche ed alcalisienitiche

3) suddivisione del bacino in quattro classi di suolo.

Num	ThetaM (mm)	ThetaS (mm)	KsM (mm/h)	KsD (mm/h)	Commento
1	120	40	1.2	0.4	(19) Molassa post ercinica
2	120	40	1.2	0.4	(24) Unita' clastico-evaporitica incompetente
3	150	40	1.5	0.4	(25) Prima unita' carbonatica competente
4	150	40	1.5	0.4	(26) Prima unita' carbonatica stratificata, incompetente
5	150	40	1.5	0.4	(28) Discontinuo livello di peliti policrome
6	150	40	1.5	0.4	(29) Seconda unita' carbonatica,competente:Dolomia Principale
7	150	40	1.5	0.4	(31) Terza unita' carbonatica competente
8	100	30	1	0.3	(223) Rioliti
9	200	50	2	0.5	(40) Depositi detritici,alluvionali e morenici indistinti
10	150	40	1.5	0.4	(260) Conglomerato della Marmolada
11	100	30	1	0.3	(271) Vulcaniti:Basalti Shoshonitici
12	100	30	1	0.3	(272) Magmatiti monzodioritiche e monzogabbriche
13	200	50	2	0.5	(900) Laghi e corsi d'acqua
14	100	30	1	0.3	(222) Daciti e riodaciti
15	100	30	1	0.3	(270) Effusioni ed intrusioni triassiche distinte
16	100	30	1	0.3	(273) Magmatiti granitiche
17	100	30	1	0.3	(274) Magmatiti sienitiche ed alcalisienitiche

Le tabelle, muovendosi da sinistra verso destra, riportano: il numero di formazione rocciosa (nella parte di bacino considerato sono presenti 17 tipi tipologie rocciose); il valore medio della massima capacità di ritenuta del suolo espresso in millimetri di acqua; la deviazione standard della massima capacità di ritenuta, sempre in millimetri d'acqua; il valore medio della massima velocità di infiltrazione espresso in mm/h e la rispettiva deviazione standard; infine il tipo di formazione rocciosa cui sono stati associati i parametri idraulici (in parentesi è riportato il codice della formazione presente nel DTM).

Nella prima tabella si è fissato un valore di capacità di ritenuta e di velocità di infiltrazione uguale per tutte le formazioni rocciose, scegliendo una deviazione standard, piuttosto elevata, pari al 50% del valore del parametro.

Nella seconda tabella si sono differenziate due diverse classi di suolo, quello alluvionale o di fondovalle da tutto il rimanente. In questo caso per il suolo di tipo detritico-alluvionale è stata aumentata la capacità di ritenuta e di infiltrazione, mantenendo fissa la varianza.

Nella terza tabella infine si è fatta un'ulteriore distinzione delle formazioni rocciose, in particolare si sono distinte le rocce di origine calcarea da quelle di origine granitica e vulcanica. Le classi di terreno diventano perciò quattro. Avendo aumentato la suddivisione delle classi di suolo è stata ovviamente diminuita la varianza relativa ad ogni singola classe.

I risultati dei tre diversi scenari sono ben visibili nelle mappe di ritenuta (quelle di infiltrazione sono del tutto simili) di figura 11.

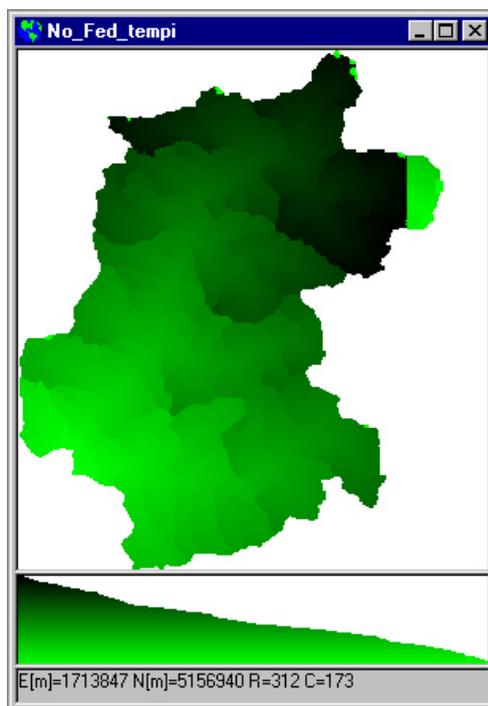


Figura 10. Mappa dei tempi di trasferimento dalla cella alla foce (in scuro tempi lunghi, in chiaro tempi brevi).

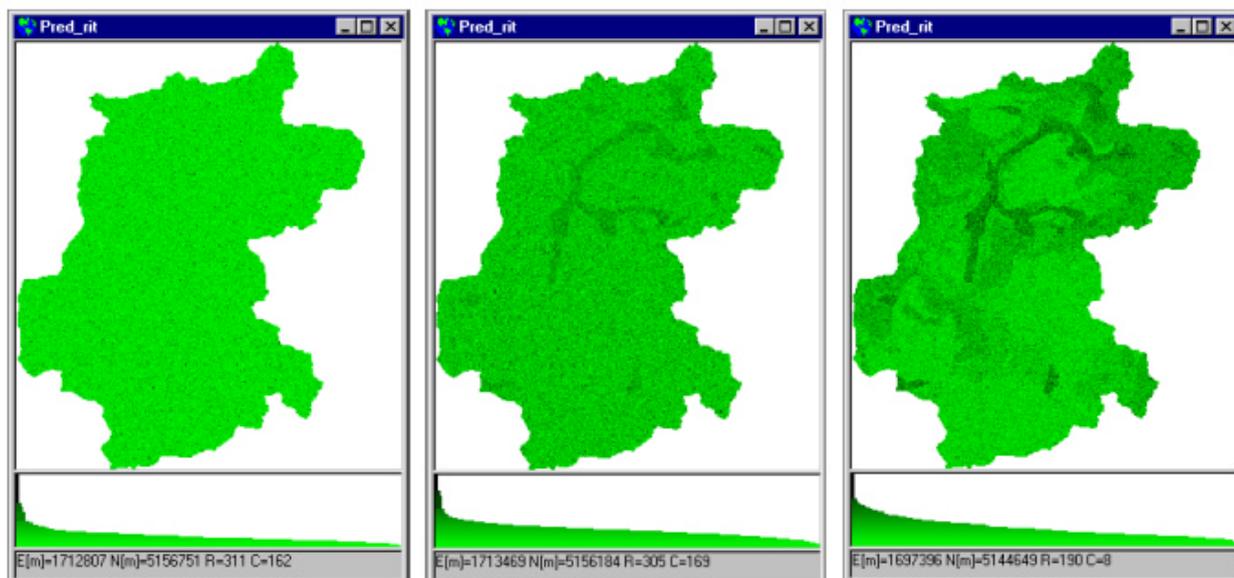


Figura 11. Mappe della capacità di ritenuta; da sinistra verso destra rispettivamente: 1) suolo omogeneo, 2) suddivisione del suolo in due classi, 3) suddivisione del suolo in quattro classi. Le zone in scuro rappresentano i valori maggiori della capacità di ritenuta..

## I DATI PUNTUALI UTILIZZATI PER IL BILANCIO IDROLOGICO

I dati di tipo puntuale si distinguono in dati pluviometrici, termometrici ed idrometrici. I primi due tipi di dato sono quelli utilizzati dal modello per implementare il bilancio idrologico, mentre i dati idrometrici sono preziosi in fase di taratura, quando, in una o più sezioni del bacino, si cerca di riprodurre al meglio l'andamento dei deflussi misurati.

Per dati pluviometrici intendiamo i dati di precipitazione giornaliera o mensile, quindi con un aggregazione temporale alquanto ampia. E' importante notare che le due scale temporali del modello si "sposano" molto bene con la scala temporale fissata per AQUARIUM che è di 15 giorni. Il modello quindi, non è utile per cogliere nel periodo di simulazione gli eventi particolari, quanto piuttosto il comportamento medio di un fenomeno su un lasso temporale minimo appunto di 15 giorni.

La disponibilità di questo tipo di dato dipende: dal numero di stazioni pluviometriche disponibili nel bacino analizzato o nell'immediato intorno (ricordo che il programma può utilizzare anche informazioni esterne al bacino in esame); dal numero di anni di misurazioni effettuate con una certa continuità (serie storica disponibile); dalla bontà e validità del dato in relazione sia alla collocazione della stazione sia al tipo di stazione (a lettura manuale o automatica).

Nel nostro studio, appurato il numero di stazioni disponibili sulla parte di bacino analizzata, si è passati ad accertare la disponibilità temporale del dato. Una verifica in questo senso ha evidenziato che tutte le stazioni considerate erano state automatizzate nel 1991 (conversione in stazioni di tipo mtX) e quindi da quell'anno fino al 1999 i dati erano disponibili su supporto magnetico con una buona continuità, salvo alcuni "buchi" in periodi particolari. Per gli anni precedenti al 1991 la disponibilità del dato era meno continua in quanto fortemente legata alle condizioni climatiche con cui l'operatore doveva recarsi alla centralina per la lettura del dato (un'abbondante nevicata poteva ad esempio bloccare l'operatore per alcuni giorni); il dato inoltre si trovava in parte su supporto cartaceo ed in parte su supporto magnetico (peraltro in un file di diverso formato da quello prodotto dalle stazioni mtX).

Considerato l'eccessivo onere di lavoro che il trasferimento dei dati cartacei su supporto magnetico per un lungo periodo temporale avrebbe comportato, si è deciso di utilizzare una serie storica di dati di 10 anni, dal 1990 al 1999 compresi, trascrivendo perciò il solo 1990. In realtà la scelta del periodo è stata condizionata anche dai dati idrometrici che, come vedremo poi, presentano una discontinuità nel 1989 dovuta al cambio della scala delle portate nella sezione di misura.

Un periodo di 10 anni è comunque più che sufficiente per realizzare correttamente un bilancio idrologico.

Raccolti su supporto magnetico tutti i dati disponibili, è stato fatto un considerevole lavoro per convertire questi dati nel formato leggibile da MODIDR (questo è stato fatto oltre che per i dati pluviometrici anche per quelli termometrici e idrometrici che verranno descritti in seguito) e per verificare che le serie non contenessero dei dati completamente fuori range.

Vale la pena ricordare che, se questi dati fossero già stati inseriti nel database di AQUARIUM, dove l'inserimento ne comporta la verifica e la validazione, le procedure di estrazione predisposte appositamente per produrre i file di input di MODIDR avrebbero consentito di ridurre considerevolmente i tempi di predisposizione dei dati utili al modello.

I dati termometrici sono costituiti da una coppia di valori per ogni step temporale scelto, il giorno o il mese; ovviamente l'aggregazione temporale scelta deve essere la stessa utilizzata per i dati di pioggia e per i dati idrometrici. Nel caso di step temporale giornaliero i due valori rappresentano rispettivamente la temperatura massima e la temperatura minima riscontrata nelle 24 ore; nel caso invece di step temporale mensile i valori sono la media delle massime giornaliere e delle minime giornaliere nel mese considerato. E' interessante osservare che non necessariamente la stazione termometrica deve coincidere con quella pluviometrica, il modello contempla infatti la possibilità di una diversa collocazione spaziale del dato puntuale di temperatura rispetto a quello di pioggia. Nel nostro caso tutte le stazioni utilizzate sono termopluviometriche.

Le stazioni utilizzate sono elencate in tabella 2 e rappresentate graficamente sul DTM in figura 12.

*Tabella 2, Elenco delle stazioni termopluviometriche e idrometriche utilizzate nel caso studio e relative caratteristiche.*

<b>Codice</b>	<b>Denominazione</b>	<b>Caratteristiche</b>	<b>Quota (m)</b>	<b>Fuso</b>	<b>E UTM (m)</b>	<b>N UTM (m)</b>
305	Pian Fedaia (diga)	termopluviometrica	2044	32	1719812	5149376
338	Pezzè di Moena	termopluviometrica	1210	32	1704919	5140140
335	Passo Costalunga	termopluviometrica	1745	32	1700463	5142340
345	Passo Rolle	termopluviometrica	2004	32	1714720	5130868
350	Passo Valles	termopluviometrica	2032	32	1715500	5135469
370	Predazzo	termopluviometrica	1018	32	1699763	5131750
89	Soraga	idrometrica	1210	32	1705029	5141225

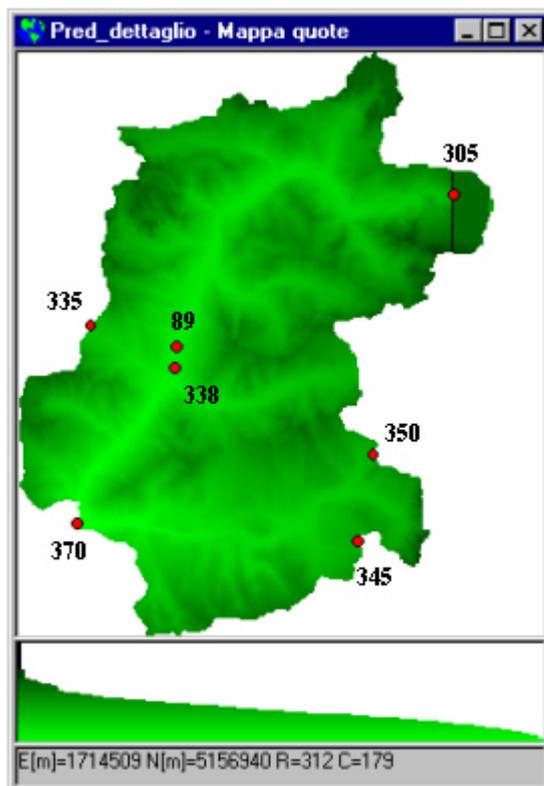


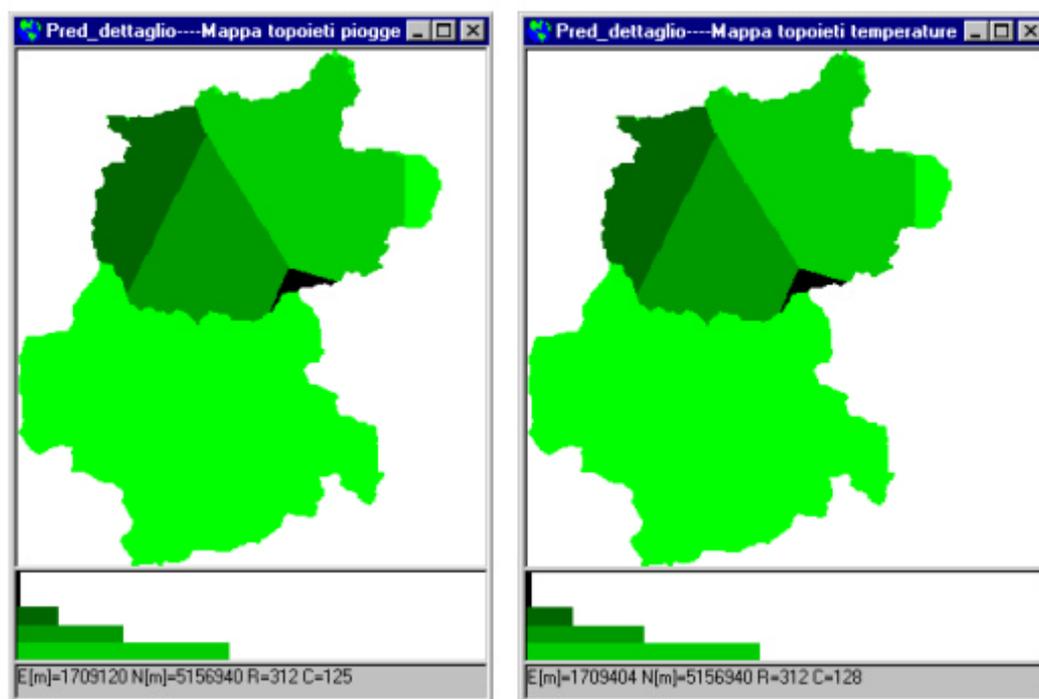
Figura 12. Localizzazione delle stazioni termopluviometriche sul bacino.

Il modello stima, noti i dati di ogni stazione termometrica e pluviometrica, l'afflusso ragguagliato sull'intero bacino, ovvero la distribuzione areale delle piogge e delle temperature. Il criterio utilizzato per passare dall'informazione puntuale a quella distribuita, ossia per assegnare ad ogni stazione una propria area di competenza, è quello dei topoietai (figura 13). Il metodo, che per la sua semplicità di calcolo si lascia preferire ad altri metodi di interpolazione, fornisce delle stime della precipitazione areale sufficientemente affidabili nel caso della aggregazione temporale giornaliera o mensile del dato.

Ogniquale volta viene scelta una sezione di chiusura sulla mappa degli ordini, il modello calcola: il bacino sotteso a quella sezione e, per quel bacino, la mappa dei topoietai delle piogge e delle temperature.

Questo criterio di calcolo richiede però qualche attenzione, specie quando la distribuzione delle stazioni sia poco densa e la geomorfologia del territorio sia molto complessa come nei bacini montani; si rischia infatti di assegnare ad una certa area delle caratteristiche climatiche (qui riassunte da precipitazione e temperatura) molto diverse da quelle che realmente ne sono effettivamente rappresentative.

Con riferimento al nostro caso studio, la presenza di una stazione termopluviometrica tra Moena e Pian Fedaia avrebbe probabilmente fornito una distribuzione spaziale di piogge e temperature più vicina alla realtà. Come si vede dalle mappe dei topoieti di figura 13, l'influenza della stazione termopluviometrica di Pian Fedaia sulla parte alta del bacino è quasi eccessiva (copre circa metà del bacino considerato con sezione di chiusura a Soraga). Le basse temperature di quella zona infatti perdono di rappresentatività, aumentando, mano a mano che ci si allontana dal massiccio della Marmolada.

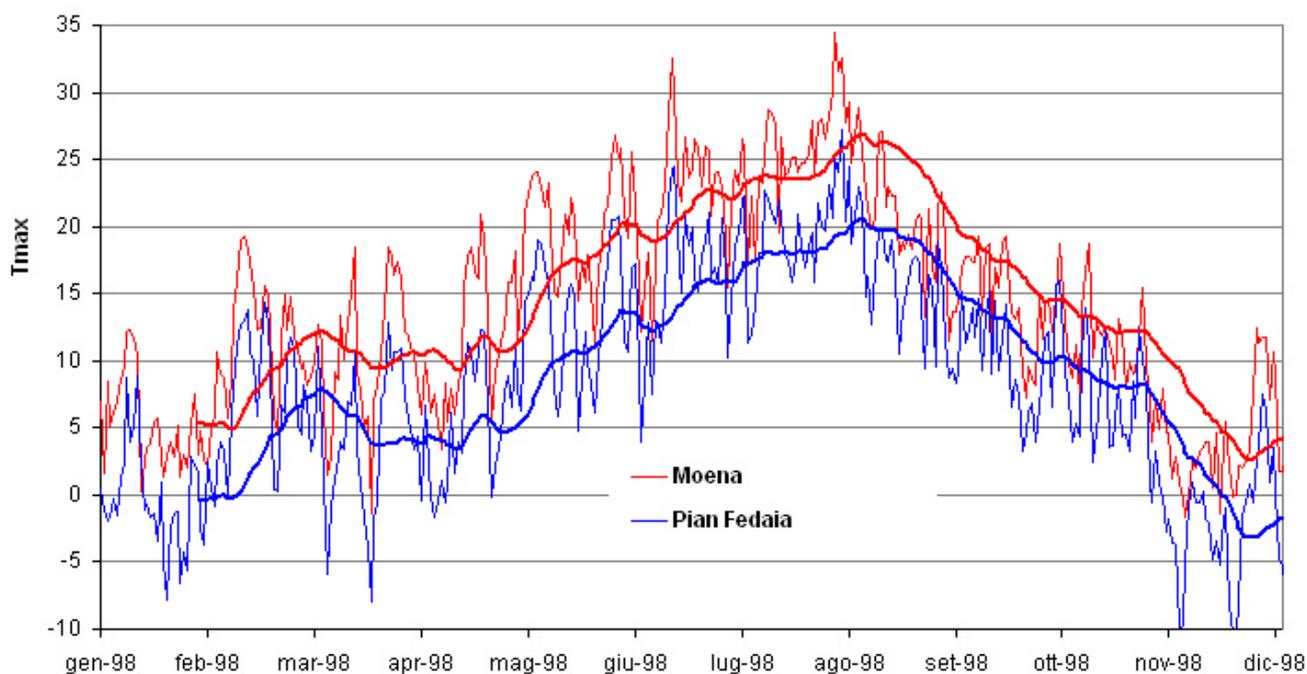


*Figura 13. Topoieti delle piogge e delle temperature per il bacino con chiusura a Soraga; verde chiaro = parte esterna al bacino considerato, verde pisello = influenza stazione Pian Fedaia, verde scuro = influenza stazione Passo Costalunga, verde oliva = influenza stazione Moena, nero = influenza stazione Passo Valles.*

Per capire quanto rapidamente in un bacino montano le caratteristiche climatiche cambiano anche in pochi chilometri, basta confrontare l'andamento delle temperature massime nel 1998 che si hanno alla stazione di Pian Fedaia ed alla stazione di Moena (figura 14), distanti in linea d'aria circa una ventina di km.

Osservando le medie mobili calcolate per le due stazioni si nota subito come, durante tutto il periodo dell'anno, la differenza media sulla temperatura massima sia di circa 5 °C. Questa

differenza fa capire come spesso in bacini montani gli eventi meteorici (ad esempio neve piuttosto che pioggia) siano influenzati da situazioni microclimatiche locali che nella modellistica possono essere colte solo con una fitta distribuzione di stazioni termopluviometriche. Nel nostro caso comunque si ha una buona distribuzione di stazioni nella parte più bassa del bacino che in parte compensa la carenza della parte alta; i risultati ottenuti con questa distribuzione sono stati in ogni caso più che soddisfacenti.



*Figura 14. Andamento temperature massime per le stazioni di Pian Fedaia e di Moena: in grassetto sono riportate le medie mobili con periodo di 30 giorni.*

## ALTRI DATI NECESSARI AL BILANCIO IDROLOGICO

Il modello oltre ai dati pluviometrici e termometrici richiede, per l'esecuzione del bilancio, altre informazioni:

- **Condizioni iniziali del bilancio**, in termini di altezza iniziale del manto nevoso (mm), contenuto d'acqua nel suolo (mm) e nel volume profondo (mm). La conoscenza delle condizioni iniziali non è comunque fondamentale in quanto all'interno del modello è prevista la possibilità di implementare il bilancio utilizzando più cicli di calcolo. Utilizzando zero cicli di calcolo, il bilancio è realizzato una sola volta partendo dalle condizioni iniziali fissate. Utilizzando uno o più cicli di calcolo, il bilancio è realizzato più volte fissando di volta in volta come condizioni iniziali i valori ottenuti a fine periodo di simulazione; dopo alcuni cicli, in genere già due, si trova il valore di convergenza delle condizioni iniziali.

Nella nostra elaborazione, non conoscendo le reali condizioni iniziali, per facilitare il processo di convergenza appena descritto, si sono utilizzati dei valori iniziali vicini a quelli forniti alla fine dei dieci anni di bilancio, utilizzando 1 ciclo di calcolo aggiuntivo.

*Manto nevoso = 20 mm*

*Contenuto d'acqua nel suolo = 50 mm*

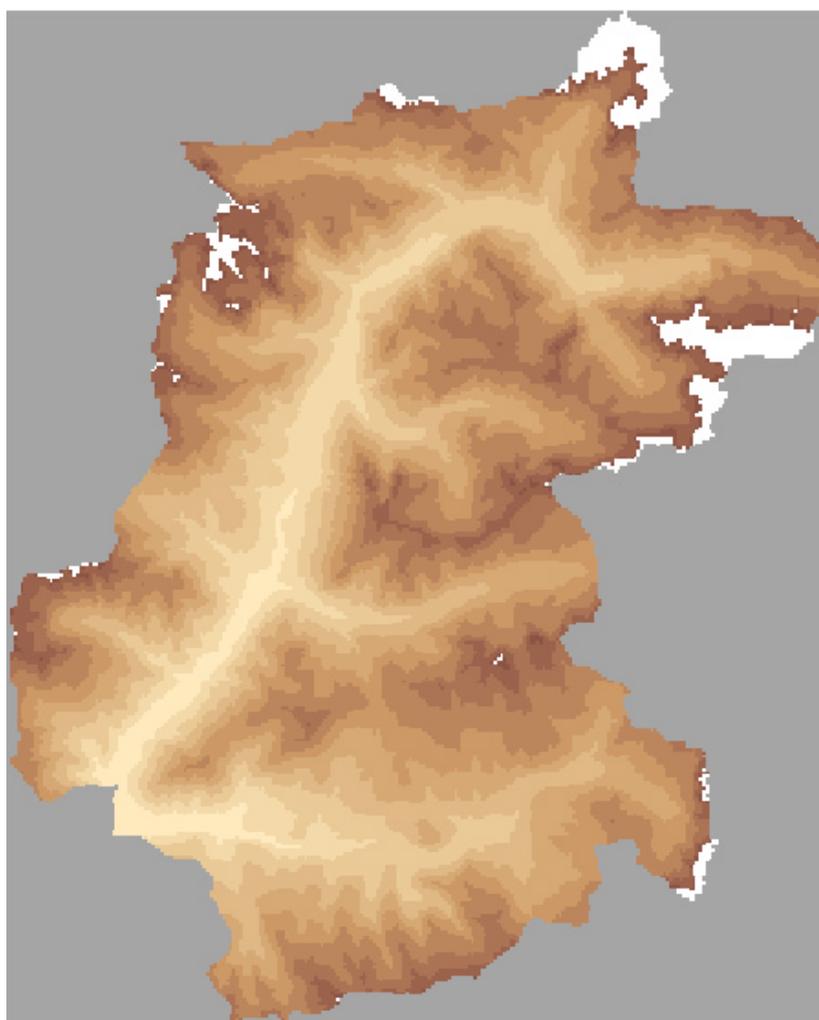
*Volume profondo = 200 mm*

- **Umidità relativa media.** Il dato di umidità è molto importante in quanto entra in gioco nel calcolo dell'evapotraspirazione potenziale e reale. La scarsità di misure di questo tipo di dato, basti pensare infatti che solo le più moderne centraline meteorologiche sono dotate di sensori per questo tipo di parametro, e l'alta incertezza associata ad ogni modellazione dei processi di evapotraspirazione, ha portato gli autori del modello ad assumere un legame lineare tra umidità e temperatura e a considerare un valore di umidità relativa uniforme su tutto il bacino considerato.

Il modello richiede perciò il tasso di umidità medio relativo per tutto il bacino alla temperatura di 20 °C. Il valore da noi fissato, sulla base di osservazioni dell'andamento annuale di questo parametro su alcune stazioni dell'Istituto Agrario di San Michele all'Adige, è pari a:

*Ur (20°C) = 0.65*

- **Quota nevi perenni.** La quota delle nevi perenni rappresenta sostanzialmente il limite al di sopra del quale si trovano i nevai ed i ghiacciai o comunque le nevi presenti per la quasi totalità dell'anno. Questo dato è molto importante per realizzare un corretto bilancio idrologico in quanto su tutte le celle che si trovano ad una quota superiore a questa il manto nevoso ha, per il modello, un comportamento diverso rispetto a quello assegnato alle quote inferiori. Il suo scioglimento contribuisce al rimpinguamento delle falde che sostengono il deflusso nei periodi di magra. Utilizzando anche il tematismo “ghiacciai” presente nel database di AQUARIUM si è stabilita pari a **2600m** la quota per tale limite. In figura 15 è riportata la differenziazione spaziale del comportamento nivale contemplata dal programma.



*Figura 15. Distribuzione delle nevi perenni sul bacino con quota limite fissata a2600 m.*

Oltre a queste informazioni il modello richiede 9 parametri lumped (uguali su tutto il bacino) che utilizza per simulare l'intensità dei processi che contribuiscono all'esecuzione del bilancio. Per la descrizione accurata di questi parametri si faccia riferimento alla descrizione di MODIDR contenuta nel **Manuale Didattico per l'Utilizzo dei Modelli Relativi alle Acque Superficiali**. La spiegazione di questi parametri verrà comunque ripresa nel successivo capitolo relativo alla taratura del modello.

## I DATI PUNTUALI UTILIZZATI PER LA TARATURA

I dati idrometrici consistono nei valori di portata media giornaliera o mensile (comunque l'aggregazione temporale deve essere la stessa dei dati termopluviometrici), espressa in mc/s, misurata presso una o più stazioni idrometriche del bacino.

La disponibilità di questi dati permette di effettuare le tarature del modello in quanto i deflussi simulati possono essere confrontati con quelli misurati nei punti di chiusura di bacini o sottobacini in cui vi è appunto un idrometro.

Per la nostra applicazione l'unica stazione idrometrica disponibile nella parte alta del bacino è quella di Soraga, visibile in figura 16.



*Figura 16. Sezione dell'Avisio a Soraga dove è presente la stazione di misura idrometrica.*

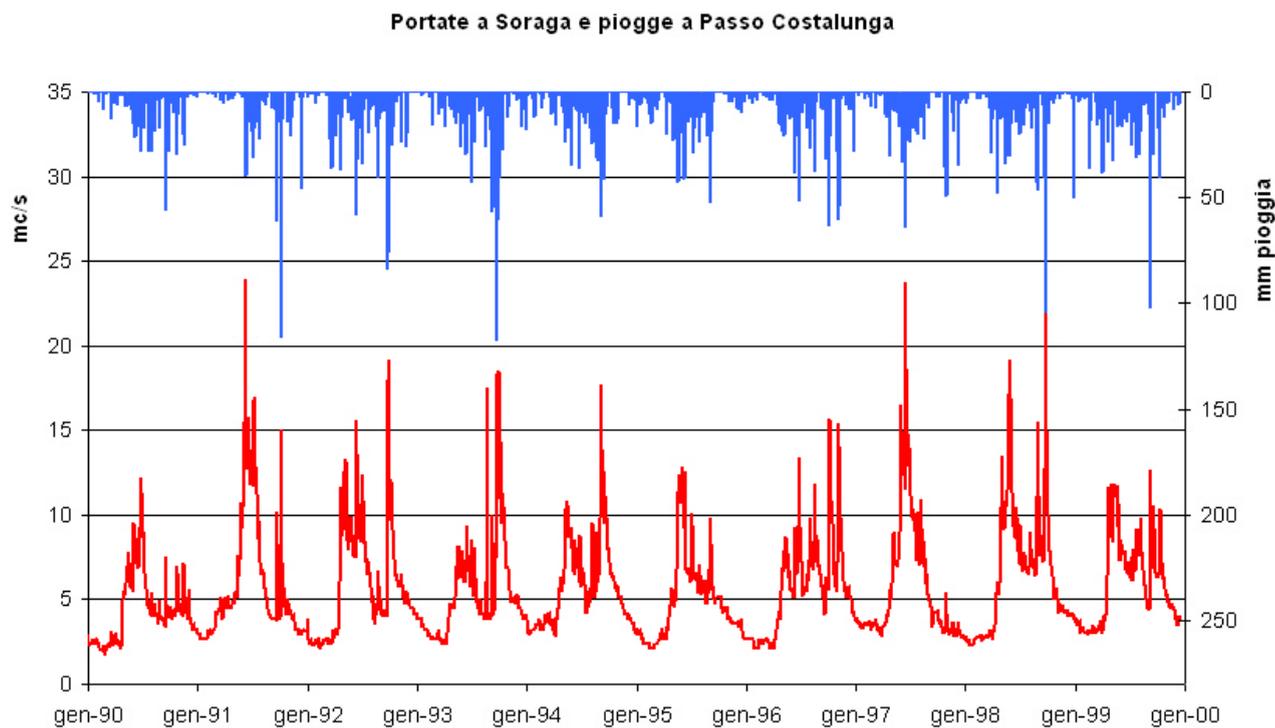
Per questa stazione è stata recuperata la serie storica dei dati giornalieri di portata che va dal primo gennaio 1990 al 31 dicembre del 1999 anche se i dati disponibili su supporto magnetico partivano da molto prima del 1990.

La scelta di utilizzare comunque solo questo decennio è nata da delle considerazioni di carattere tecnico sulle modalità di misura o meglio di stima del dato di portata. Si sa che nelle stazioni idrometriche ciò che realmente viene misurato è il valore di tirante del corso d'acqua in una sezione rettangolare dove la distribuzione delle linee di flusso risulta essere abbastanza uniforme e parallela alla direzione principale del moto; la portata viene poi stimata sulla base di una formula (scala delle portate o di deflusso) ricavata, in un certo periodo temporale e con certe condizioni della corrente, correlando i valori di tirante con i valori di portata, questa volta misurata tramite dei mulinelli. Ipotizzando che la sezione sia costruita in modo tale da evitare, al variare della portata del corso d'acqua, che la corrente transiti da lenta a veloce passando attraverso la critica o viceversa, da veloce a lenta, e che, in corrispondenza della sezione di misurazione, non si instaurino profili di moto diversi dall'uniforme, la determinazione della portata avviene comunque attraverso un metodo di stima spesso non molto preciso. La scala delle portate infatti, calcolata per uno o alcuni valori del tirante, diventa sempre più imprecisa mano a mano che i valori di tirante si discostano da quelli utilizzati per il calcolo, e questo avviene tipicamente nelle fasi di magra e di piena.

Riassumendo perciò quanto detto, la stima della portata è affetta da due tipi di errore: il primo legato alla corretta misura del tirante idrico in relazione allo strumento utilizzato (galleggiante, ultrasuoni, ecc.); il secondo legato all'esattezza ed alla precisione con cui la scala di deflusso, dato il tirante, è in grado di fornire la portata. Sommati assieme questi due tipi di imprecisione possono anche causare degli errori percentualmente elevati sul valore della portata stimata rispetto a quella reale.

Ritornando al perché per la simulazione è stato scelto il suddetto decennio, la motivazione si trova nel fatto che nel 1989 la sezione di misura è stata ricostruita, e questo ha portato una discontinuità nella stima del deflusso prima e dopo la modifica. Abbiamo ritenuto perciò controproducente allungare il periodo di simulazione di alcuni anni a discapito dell'introduzione di un ulteriore errore nella stima del dato che si sarebbe sommato a quello sistematico già presente con un'unica scala di deflusso. Dieci anni di dati sono inoltre, come già detto, più che sufficienti per un corretto bilancio idrologico.

Nel grafico di figura 17 è riportato l'andamento delle portate giornaliere misurate a Soraga, per il periodo di simulazione considerato (asse delle ordinate di sinistra), e, per lo stesso periodo, l'andamento delle piogge misurate dalla stazione di Passo Costalunga (asse delle ordinate di destra). L'incrocio dei due grafici mette in evidenza la relazione diretta tra piogge e portate.



*Figura 17. Andamento delle portate presso Soraga e delle piogge presso Passo Costalunga.*

A conclusione del paragrafo vale la pena ricordare che il dato idrometrico in almeno una sezione del bacino è necessario per la corretta taratura del modello su quel bacino. In mancanza di tale dato l'unica modalità di taratura è quella di utilizzare un set di parametri derivati dalla taratura su un bacino limitrofo o di analoghe caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche. La disponibilità di più stazioni di misura della portata su di uno stesso bacino ovviamente consentirebbe una taratura più raffinata e rispondente alla realtà.

## IL BILANCIO IDROLOGICO

Dopo aver predisposto tutti i dati necessari, il modello esegue il bilancio idrologico distribuito, ovvero cella per cella del bacino; la composizione, intesa come somma dei valori di output delle singole celle, fornisce il valore relativo all'intero bacino. Lasciando la descrizione dettagliata di come avviene passo per passo il bilancio alla manualistica di MODIDR (vedi bibliografia), in questo capitolo ci limitiamo a descrivere brevemente la logica di calcolo utilizzata dal modello ed i parametri che intervengono nei vari stadi del bilancio.

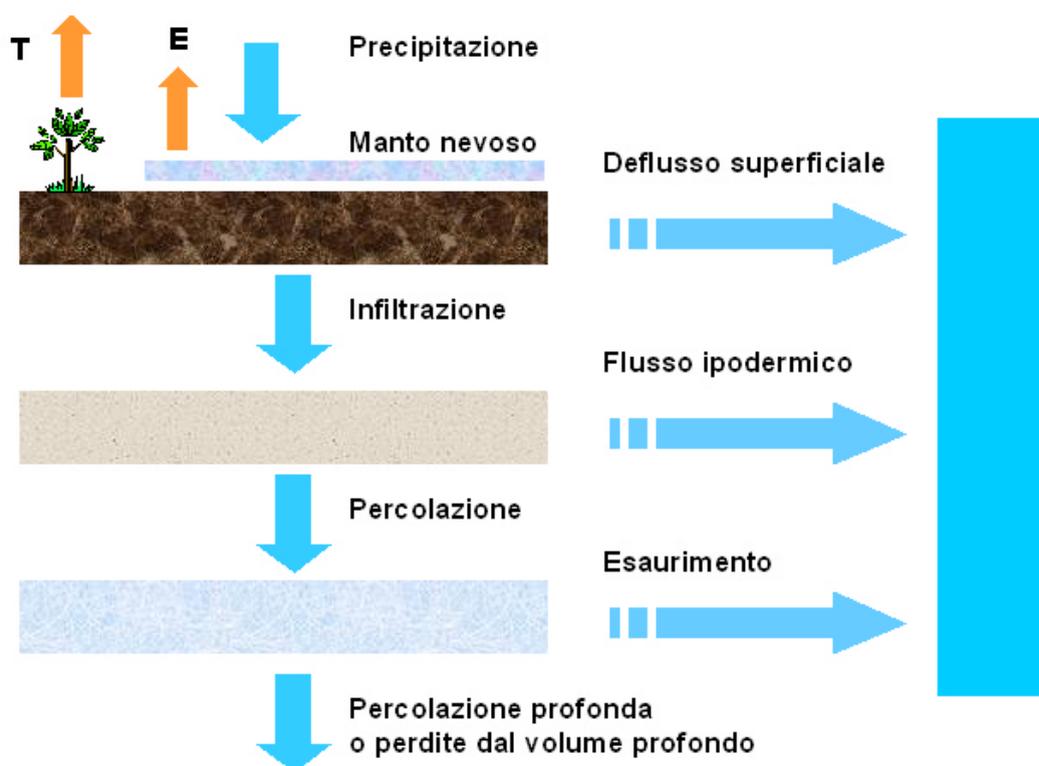


Figura 18. Schema di modellazione del suolo utilizzato da MODIDR per il bilancio.

Con riferimento allo schema di figura 18, il modello partendo dal dato pluviometrico valuta, in funzione della temperatura, se la precipitazione è sotto forma di pioggia o di neve. L'eventuale frazione di neve caduta contribuisce alla crescita del manto nevoso, il quale è però anche soggetto allo scioglimento, sempre in funzione del regime delle temperature e che contribuisce alla formazione del deflusso; lo scioglimento è regolato dai parametri  $P_h$ , fusione della neve dovuta alla pioggia, e  $F_h$ , fusione della neve dovuta allo scambio termico con l'aria. Nel caso in cui la cella si trovi ad una quota superiore a quella fissata per la presenza di nevi perenni, il modello esegue

ugualmente i calcoli ma non aggiorna il valore dello spessore del manto nevoso. Per la frazione di pioggia caduta più la quantità d'acqua affluita al suolo a causa dello scioglimento, viene valutata l'evapotraspirazione potenziale (tramite la formula del Serra).

Il suolo, ripartito tramite il parametro  $C$  tra suolo capillare e suolo gravitazionale, è interessato da una serie di processi che sono: la formazione di deflusso superficiale e ipodermico (dovuto all'infiltrazione), l'evapotraspirazione e la percolazione, ovvero il passaggio dell'acqua dal suolo al volume profondo.

Il primo bilancio avviene sul suolo capillare che si svuota a causa dell'evapotraspirazione; il modello, in funzione del contenuto d'acqua, valuta se l'evapotraspirazione reale è minore o uguale alla potenziale. La quantità d'acqua che residua dall'evapotraspirazione va ad interessare il bilancio sul suolo gravitazionale (o volume gravitazionale), per il quale si ipotizza che sia la formazione del deflusso ipodermico sia della percolazione avvenga secondo un modello di serbatoio lineare; i due fenomeni sono regolati rispettivamente dal coefficiente  $K_i$  il primo e dai coefficienti  $V_{inf}$  e  $q_{max}$  il secondo.

L'acqua infine, attraverso la percolazione, raggiunge il volume profondo e contribuisce alla sua ricarica; il volume profondo rappresenta la schematizzazione della riserva costituita dall'acquifero sottostante il suolo. Lo svuotamento del volume profondo avviene attraverso due modalità: l'esaurimento, che costituisce la portata uscente dalla falda verso il reticolo idrografico, e la percolazione profonda, che rappresenta la perdita d'acqua verso acquiferi circostanti. I due fenomeni, schematizzati sempre secondo un modello di serbatoio lineare, sono regolati rispettivamente dai parametri  $a$  e  $b$ . Per la ricarica del volume profondo non si considerano eventuali apporti alla falda da bacini esterni.

La portata complessiva, cella per cella, è quindi costituita dalla somma di tre contributi: deflusso superficiale o eccedenza, deflusso ipodermico e deflusso profondo; è dal confronto di questo valore con quello misurato che si sviluppa la taratura del modello. Tale valore viene trasferito alla foce secondo uno schema di trasferimento lineare, traslando nel tempo il contributo della singola cella in funzione del valore del tempo di trasferimento proprio della cella, ricavato dalla *mappa dei tempi di trasferimento*. Il parametro che regola il tempo di trasferimento  $o$ , se si vuole, il tempo di ritardo con cui il contributo di una cella giunge alla foce è  $V_t$ , velocità di trasferimento.

E' importante osservare che tutti i processi che entrano in gioco nella determinazione del bilancio sono schematizzati e prodotti come output dal modello; in particolare il modello permette di controllare:

- formazione/scioglimento del manto nevoso;
- infiltrazione e ricarica nel suolo;
- formazione di runoff superficiale (eccedenza);
- formazione di deflusso ipodermico;
- percolazione;
- formazione di deflusso profondo;
- perdite del volume profondo verso acquiferi confinanti;
- trasferimento dei deflussi dalla cella alla chiusura del bacino;
- evapotraspirazione.

Questi singoli processi verranno meglio illustrati nel successivo capitolo dedicato alla taratura del modello.

## LA TARATURA

La taratura del modello consiste, fissata una sezione di chiusura nel bacino per la quale siano disponibili le misurazioni di portata, nel cercare di riprodurre al meglio possibile, con la portata simulata, l'andamento della portata misurata, agendo su un set di parametri lumped. In altre parole l'obiettivo è quello di trovare l'insieme ottimale di parametri che minimizzano lo scarto tra portate simulate e portate misurate. Utilizzando la base dati precedentemente descritta si è proceduto alla taratura del modello idrologico prendendo come riferimento la stazione idrometrica di Soraga, che sottende un bacino di area 201.4 km<sup>2</sup>.

La figura 19 è utile per capire la procedura seguita in fase di taratura.

Intervallo di variazione dei parametri del modello	
Valore minimo	Valore massimo
$II_n$	0   0.1
$\phi_n$	0   0.1
$Q_{max}$	0   8
$V_{inf}$	0   4
$K_i$	0   0.01
$\alpha$	0   0.001
$\beta$	0   1
$V$	0   2
$C$	0   1

Parametri di modello	
$II_n$	0.002
$\phi_n$	0.032
$Q_{max}$	3.04
$V_{inf}$	1.6
$K_i$	0.0035
$\alpha$	0.0003
$\beta$	0.09
$V$	2
$C$	0.3

Figura 19. Finestra **Parametri e condizioni iniziali** utilizzata in MODIDR per fissare i parametri di taratura.

La prima operazione da fare è la scelta di una sezione sul bacino rispetto alla quale effettuare la taratura, nel nostro caso l'unica disponibile è quella di Soraga; nella finestra *Selezione bacino* (rif. figura 19) è indicato il codice della stazione e le relative coordinate Est e Nord UTM sulla

mappa. Selezionata la sezione di chiusura, premendo il tasto *Calcola bacino e topoieti*, il modello determina il bacino sotteso a quella sezione e, per esso, calcola le mappe dei topoieti delle piogge e delle temperature. Avendo a disposizione più stazioni idrometriche nel bacino è possibile realizzare più tarature ed eventualmente porle a confronto. Il tasto di selezione *Sezione generica* consente, a taratura avvenuta e quindi con il set di parametri fissato, di selezionare sulla mappa degli ordini una generica sezione di chiusura del bacino e rispetto ad essa simulare il bilancio e generare una serie di valori sintetici di portata; questo argomento lo vedremo più nel dettaglio nel capitolo dedicato agli output.

La finestra *Condizioni iniziali e valori prefissati*, come si può vedere, mostra alcuni dei dati di input precedentemente discussi.

Dopo aver definito il bacino sul quale eseguire la taratura si sceglie il *Periodo di simulazione* ovvero il periodo temporale, compatibile con la serie storica dei dati di input disponibili, rispetto al quale eseguire il bilancio. La nostra scelta è stata quella di realizzare il bilancio su tutto il periodo per il quale si aveva disponibilità di dati e quindi dal 01/01/1990 al 31/12/1999.

Nella finestra *Parametri di modello* si fissano i valori dei parametri, citati nel capitolo relativo al bilancio idrologico, che regolano l'intensità dei vari fenomeni fisici che intervengono nella determinazione del bilancio. Il valore dei parametri deve essere contenuto in un range, fissato dall'operatore, riportato nella finestra *Intervallo di variazione dei parametri del modello*. E' utile fissare un range di variazione entro il quale si ritiene valido il valore del parametro perché il modello permette, in prima battuta, quando non si conosce nulla sui possibili valori che devono assumere questi parametri, di trovare in automatico la combinazione di valori che minimizza lo scarto tra la portata simulata e quella misurata. Questo tipo di procedura viene condotta iterativamente dal programma, che va a modificare a rotazione ciascun parametro nel tentativo di massimizzare la varianza spiegata  $R^2$ ; i parametri vengono modificati inizialmente di una quantità pari a 1/100 dell'intervallo predefinito in modo da individuare i gradienti di variazione di  $R^2$ . Individuato il gradiente che massimizza  $R^2$ , il parametro viene modificato di una quantità che raddoppia ad ogni iterazione. E' bene ricordare che questo processo, a seconda delle dimensioni del bacino e del periodo di simulazione scelto, può durare con le macchine attualmente disponibili anche molte ore.

Il set di parametri trovato con questa procedura deve ovviamente essere attentamente controllato per verificare se i valori di ogni parametro sono, in relazione al bacino considerato, fisicamente accettabili. E' sempre e comunque necessaria una correzione manuale dei parametri ed eventualmente la ripetizione della procedura automatica di taratura.

La finestra *Parametri di calcolo* consente infine di impostare il passo spaziale di calcolo ed il numero di cicli che il programma deve realizzare prima di chiudere il bilancio. La condizione di passo di calcolo 1:1 corrisponde alla condizione in cui tutte le celle vengono analizzate nel calcolo del bilancio su base distribuita; il passo 1:2 corrisponde ad un calcolo limitato ad una sola cella ogni due, e così via. Ovviamente si utilizzerà un passo di calcolo elevato (1:4 ÷ 1:10) nella prima fase di “sgrezzatura” del set di parametri per passare poi ad un passo più raffinato (1:1 ÷ 1:2) in fase di affinamento del set di parametri.

Il numero di cicli (da 0 in avanti) serve, come già precedentemente spiegato, a far calcolare al programma le condizioni iniziali quando queste non siano ben conosciute.

In questa finestra viene poi automaticamente riportata, fissato il bacino da esaminare, l’area dello stesso e la varianza spiegata  $R^2$  la quale compare ad esecuzione di bilancio avvenuta.

Cliccando sul tasto *Esecuzione bilancio* il programma esegue il bilancio con i parametri riportati a video nella finestra e produce un grafico ed una tabella di bilancio che consentono di capire visivamente (figura 20) e numericamente (figura 25) il grado di taratura ottenuto; vedremo poi dettagliatamente le finestre *Grafico di bilancio* e *Tabella di bilancio*.

E’ utile capire qual è il significato della varianza spiegata  $R^2$  ai fini della taratura del modello.

La varianza spiegata è rappresentata dalla seguente formula.

$$R^2 = \text{Varianza spiegata} = \frac{\text{Varianza deflusso simulato} - \text{Varianza scarti}}{\text{Varianza deflusso simulato}}$$

dove:

*Varianza deflusso simulato* = è la varianza del segnale del deflusso simulato nel tempo;

*Varianza scarti* = è la varianza del segnale ottenuto come differenza tra il segnale del deflusso simulato e del deflusso misurato, ossia la varianza del segnale degli scarti.

Il massimo valore che può assumere questo parametro è 1, quando cioè il segnale deflusso simulato è identico al segnale deflusso misurato e quindi gli scarti sono tutti nulli.  $R^2$  può anche assumere valori negativi qualora la simulazione sia talmente sbagliata da rendere la varianza degli scarti maggiore di quella del segnale stesso. Nei casi reali spesso non si riesce, per ovvi motivi, a spingersi oltre un valore di 0.8; un valore compreso tra 0.6 e 0.8 è perciò indice di una buona taratura.

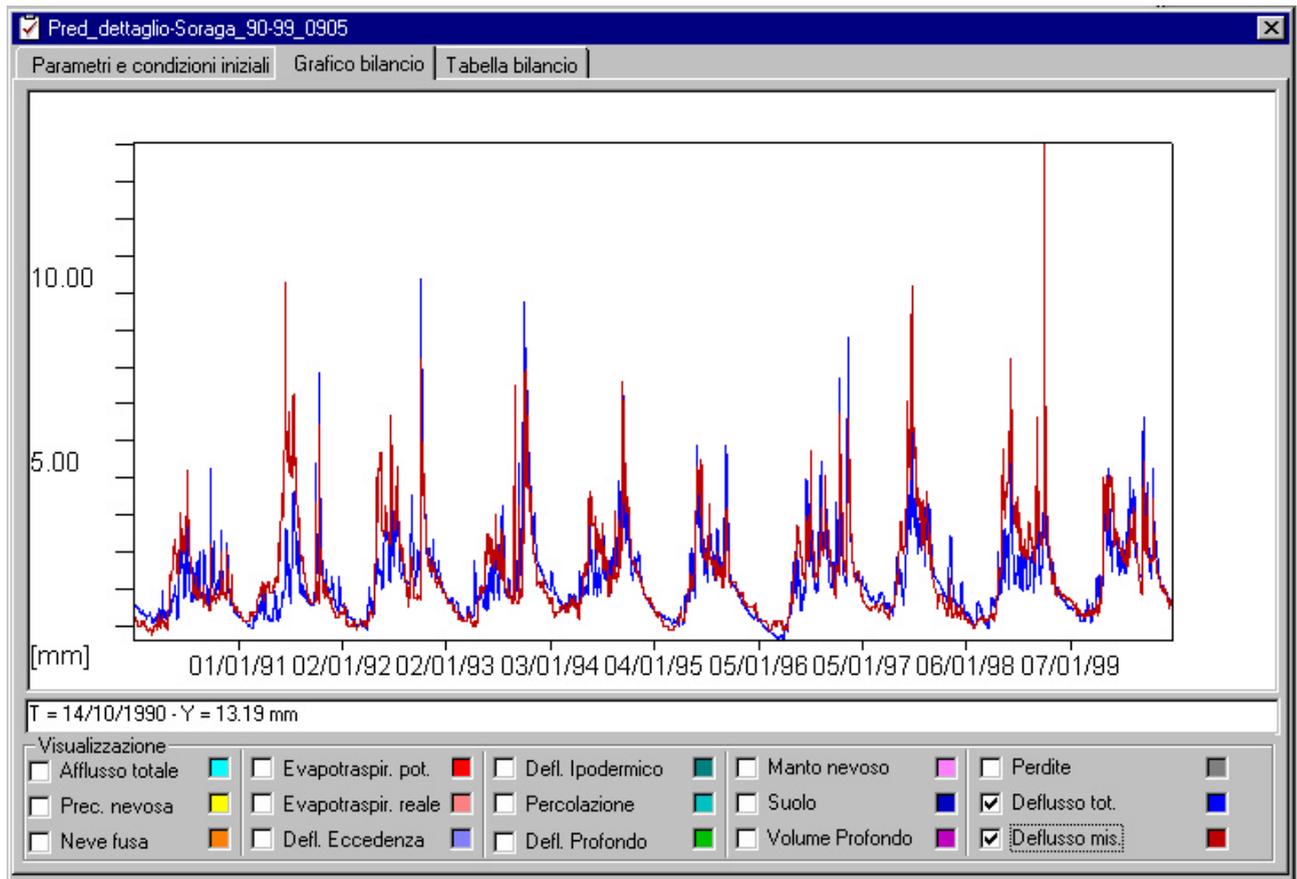


Figura 20. Bilancio ottenuto con il set di parametri “definitivo”, in rosso è riportato il deflusso misurato e in blu quello simulato.

La figura 19 nel riquadro *Parametri di modello* mostra i parametri da noi trovati al termine delle operazioni di taratura del modello, sul decennio 1990-1999, chiudendo il bacino alla sezione idrometrica di Soraga. Elenchiamo di seguito i parametri ed i rispettivi valori commentando il loro ruolo nel bilancio.

<b><i>P<sub>n</sub></i></b>	fusione della neve dovuta alla pioggia	=	0.002 mm/mm °C
-----------------------------	--	---	----------------

<b><i>F<sub>n</sub></i></b>	fusione della neve dovuta allo scambio termico con l'aria	=	0.032 mm/h °C
-----------------------------	---	---	---------------

Questi due parametri sono tra i più delicati da stimare specie in bacini come quello dell'Avisio dove la formazione del deflusso nei periodi di magra, tipicamente quelli estivo ed invernale, è strettamente legata alla fusione delle nevi perenni. Difficilmente si trovano informazioni in letteratura relativamente a questi parametri se non riferiti a valori puramente teorici. La loro regolazione è stata perciò fatta riferendosi ai periodi di minimo deflusso (vedi figura 20), facendo in modo che curva simulata e curva misurata in questi periodi andassero a coincidere; i due

parametri agiscono infatti traslando verticalmente l'intera curva simulata. Un altro parametro che agisce, assieme a questi, allo stesso modo sulla curva del deflusso simulato è l'umidità relativa  $U_r$ .

<b><math>q_{max}</math></b> moltiplicatore della massima capacità di ritenuta	=	3.04 mm
---	---	---------

<b><math>V_{inf}</math></b> moltiplicatore della massima velocità di infiltrazione a saturazione	=	1.6 mm/h
--	---	----------

Questi parametri vanno a moltiplicare, cella per cella, i valori di capacità di ritenuta e di velocità di infiltrazione delle mappe della capacità di ritenuta e della velocità di infiltrazione; il loro rapporto,  $V_{inf}/q_{max}$  regola come già spiegato la rapidità con cui l'acqua percola dal terreno verso il volume profondo; agendo su di essi si regola dunque la rapidità di ricarica della falda. E' utile ricordare che la regolazione di questo fenomeno può essere realizzata o agendo direttamente sui due parametri appena illustrati, attuando quindi una regolazione lumped su tutto il bacino, o modificando le tabelle di associazione della capacità di ritenuta e velocità di infiltrazione. Agendo sulle tabelle si ha la possibilità di variare localmente le caratteristiche idrauliche del terreno e quindi di attuare una regolazione più precisa rispetto a quella effettuata con i parametri lumped; d'altra parte questo tipo di regolazione è molto più onerosa in quanto richiede di ricalcolare le mappe prima di realizzare nuovamente il bilancio.

<b><math>K_i</math></b> coefficiente di deflusso ipodermico	=	0.0035 1/h
---	---	------------

Il coefficiente di deflusso ipodermico regola appunto il deflusso ipodermico e dunque il deflusso in condizioni di terreno saturo, condizioni che si hanno durante le precipitazioni. Il suo ruolo principale è perciò quello della regolazione dell'ampiezza dei picchi di deflusso.

<b><math>a</math></b> coefficiente di deflusso profondo	=	0.0003 1/h
---	---	------------

Il coefficiente di deflusso profondo regola sostanzialmente la velocità con cui il volume profondo restituisce l'acqua, ricevuta attraverso la percolazione, al reticolo idrografico. Il suo ruolo è determinante specialmente quando si è in condizioni di magra allorché il deflusso dovuto all'esaurimento è preponderante rispetto a quello ipodermico e a quello di eccedenza (che in genere risulta nullo). Una sua prima stima, che generalmente risulta corretta, si può ottenere dai dati di portata misurata calcolando su un diagramma logaritmico la pendenza della curva temporale della portata durante la fase di esaurimento. Nel grafico di figura 20 si nota molto bene la coincidenza delle fasi di esaurimento dei deflussi misurato e simulato.

<b>b</b>	coefficiente delle perdite dal volume profondo	=	0.09 (adimensionale)
----------	--	---	----------------------

Questo coefficiente rappresenta la frazione di volume d'acqua che viene perduta dal volume profondo. La sua regolazione va ad agire, assieme al coefficiente **a**, direttamente sulla portata di esaurimento; più grande è **b** infatti più acqua viene persa dal bacino e minore risulta essere la portata restituita al reticolo. La determinazione di **a** e **b** va in genere fatta contemporaneamente controllando le fasi di esaurimento.

<b>V</b>	velocità di trasferimento	=	2 m/s
----------	---------------------------	---	-------

La velocità di trasferimento serve per calcolare il tempo di ritardo  $T_c$  (h) o di trasferimento della risorsa dalla generica cella alla foce, Questo valore va a modificare (sempre in modo lumped) i tempi di trasferimento già calcolati, per ogni cella, con la *mappa dei tempi*. Il ruolo di questo parametro è dunque quello di portare il segnale simulato in fase con quello misurato (coincidenza temporale dei picchi).

<b>C</b>	frazione di suolo capillare (capacità di campo)	=	0.3 (adimensionale)
----------	---	---	---------------------

Quest'ultimo parametro regola infine la frazione di suolo capillare rispetto a quello gravitazionale. Agisce principalmente sull'evapotraspirazione.

Il set di parametri trovato ha fornito, utilizzando passo di calcolo 1:1 e numero di cicli pari ad 1, un  $R^2 = 0.638$ . Per una taratura su di un periodo di 10 anni questo si può ritenere un ottimo valore; vedremo poi la bontà del risultato anche nella simulazione delle curve di durata.

Dal grafico di figura 20 si può notare come il deflusso simulato riproduca meglio il misurato nelle fasi di esaurimento (magra delle portate) piuttosto che nelle fasi di piena. Questo è spiegabile osservando che questo tipo di modello non è adatto a cogliere i picchi di piena in ragione principalmente di due motivi: il primo è la scala temporale su cui il modello lavora (il minimo intervallo di aggregazione è il giorno); il secondo è che esso assume una velocità di trasferimento del deflusso che è costante su tutto il bacino. Vedremo nel capitolo dedicato agli output come il passaggio ad una scala di aggregazione temporale maggiore, il mese, consenta al modello di simulare in modo corretto anche i picchi di portata (notevolmente smorzati dalla media mensile). Il fatto che i picchi di portata non vengano simulati bene dal modello ha poca importanza perché chi fa governo della risorsa idrica è interessato a tutelare i minimi deflussi dei corsi d'acqua, in

relazione alle possibili derivazioni o prelievi che su di essi insistono. Per questo i bilanci idrologici sono più finalizzati ad una corretta previsione dei regimi di portata di magra.

Sul *Grafico di bilancio* di figura 20 è possibile visualizzare, oltre che gli andamenti di deflusso simulato e misurato, anche una serie di altri parametri, rappresentativi dei processi che contribuiscono al bilancio idrologico, che illustrano in modo dettagliato la formazione del deflusso. Gli incroci tra questi parametri sono molteplici, nel prossimo capitolo verranno mostrati solo i più significativi per la comprensione del bilancio. Da notare che l'unità di misura dei grafici prodotti da MODIDR sono i mm per unità di area.

## GLI OUTPUT DEL MODELLO

Riportiamo dapprima il confronto tra portata simulata e misurata a taratura avvenuta utilizzando la rappresentazione grafica di Excel dove è possibile visualizzare le portate nella loro giusta unità di misura, il m<sup>3</sup>/s. La conversione da mm a m<sup>3</sup>/s avviene moltiplicando il valore in mm (trasformato in metri) per l'area del bacino considerato e dividendo per il numero di secondi contenuti nel passo temporale scelto (24 \* 3600 nel caso il passo temporale sia il giorno).

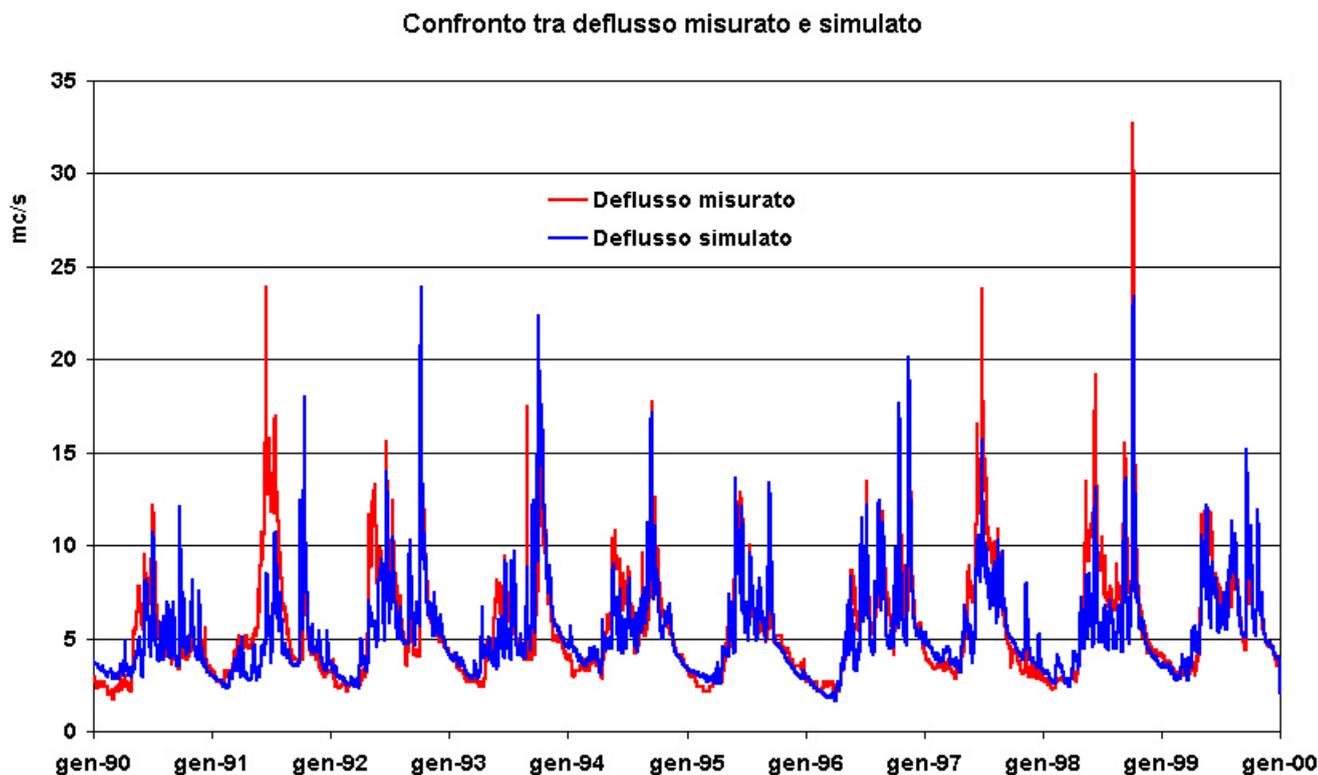


Figura 21. Andamento della portata simulata rispetto a quella misurata ottenuto utilizzando il set di parametri lumped sopra descritto.

Realizzato il bilancio il modello produce come output oltre che l'andamento temporale del deflusso, nella sezione di chiusura scelta, anche l'andamento di tutte le grandezze che intervengono nell'esecuzione del bilancio.

E' allora possibile visualizzare ad esempio l'istogramma delle precipitazioni giornaliere sovrapposto al deflusso simulato (figura 22); si nota come ai massimi di portata corrispondano i picchi di precipitazione.

Dal grafico di figura 23, sul quale è rappresentata, assieme al deflusso, la neve fusa (istogramma colore arancio), si vede come un grosso contributo all'incremento primaverile di portata sia dato dal consistente scioglimento delle nevi, che è massimo in primavera e diventa molto esiguo nel periodo invernale.

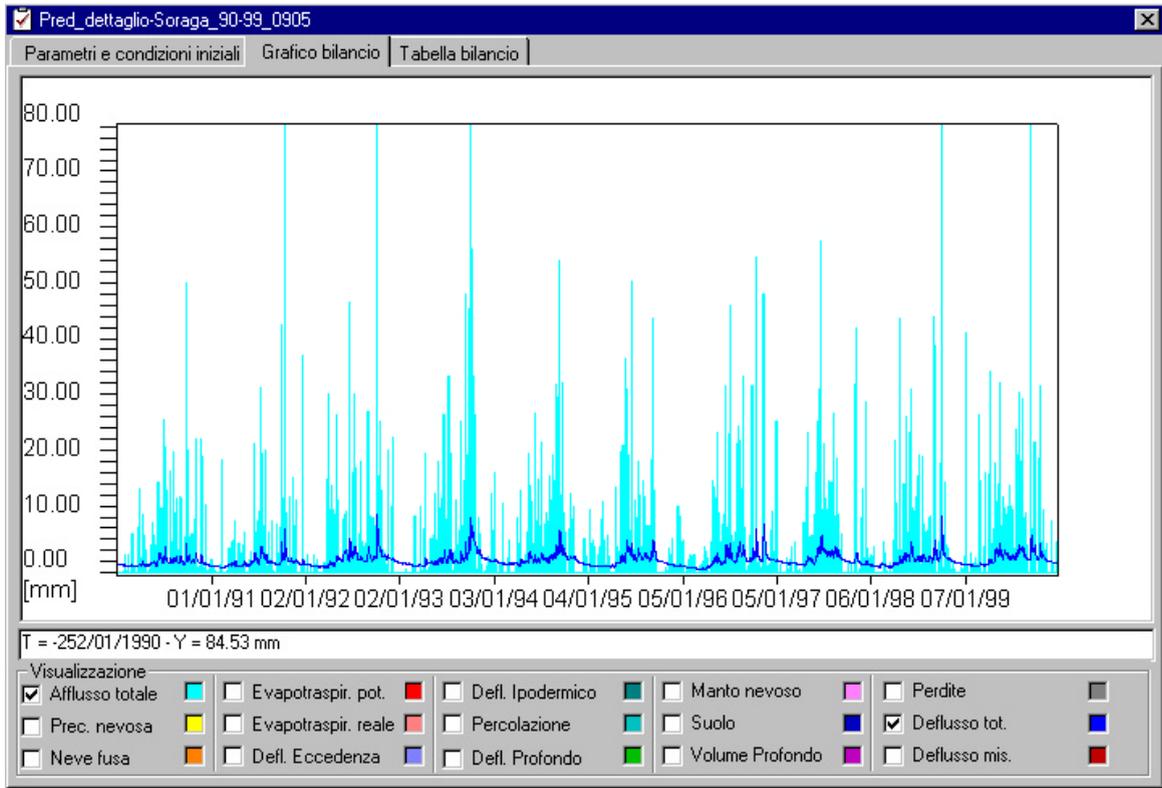


Figura 22. Andamento della portata simulata a Soraga (blu) e delle precipitazioni giornaliere (azzurro) per il decennio simulato.

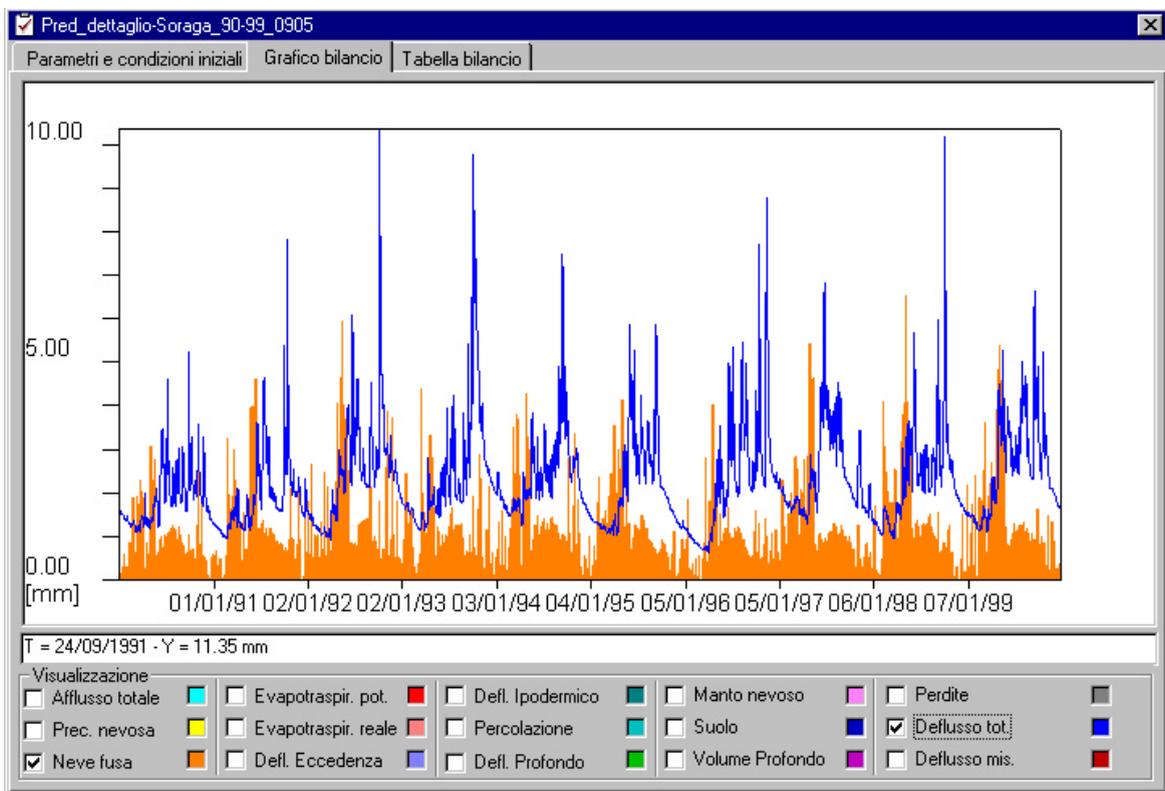


Figura 23. Andamento della portata simulata (blu) e dello scioglimento nivale (arancio).

Nella figura successiva si riportano il deflusso totale, il deflusso profondo ed il deflusso ipodermico. Si noti come il deflusso complessivo sia la perfetta composizione degli altri due (il deflusso di eccedenza è risultato in questo caso trascurabile); nei periodi primaverili ed estivi i picchi di deflusso sono generati dal contributo del flusso ipodermico, mentre nei periodi invernali, quando le precipitazioni sono scarse e solo sotto forma di neve, il deflusso è sostenuto unicamente dal rilascio della falda (volume profondo).

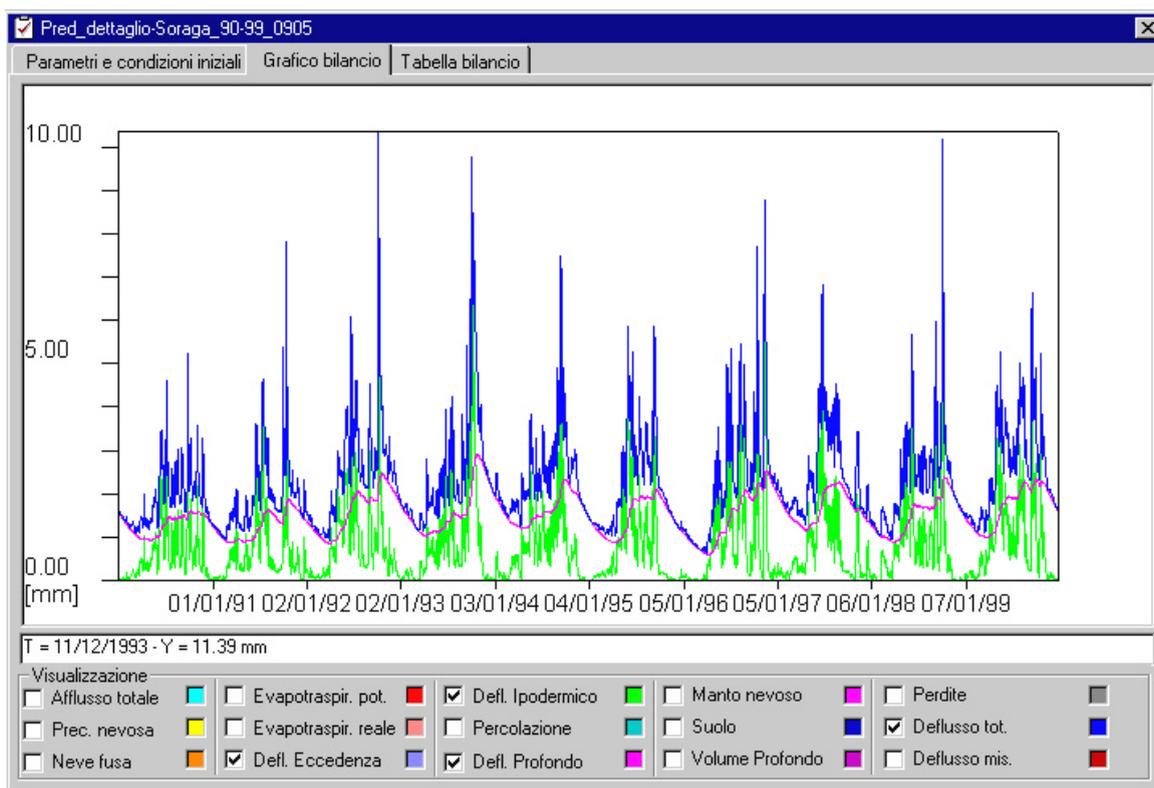


Figura 24. Deflusso totale (blu) ottenuto come somma del deflusso profondo (fucsia) e del deflusso ipodermico (verdino).

Come si può vedere dal menù sotto i grafici, numerose sono le grandezze che il modello permette di incrociare e siccome tutte queste sono visualizzate in millimetri, per unità di area e di tempo, il loro confronto è diretto.

La comparazione delle grandezze simulate è molto utile, specie in fase di taratura, per capire in che modo i vari parametri agiscono sulle componenti del bilancio.

Il confronto per via grafica è ovviamente più qualitativo che quantitativo, nel senso che permette una immediata visione dei fenomeni ma non consente di coglierne l'andamento in termini di valori assoluti. Un raffronto più dettagliato tra le diverse componenti del bilancio idrologico può essere fatto attraverso la *Tabella di bilancio*. In essa sono riportati, per ogni componente, i valori

assunti giorno per giorno per tutto il periodo di simulazione considerato. Una parte della tabella è visibile in figura 25.

Nella tabella 3 si riportano i valori totali o i valori medi sui 10 anni (somma di tutti i valori giornalieri diviso il numero di giorni considerati) delle diverse componenti del bilancio idrologico ottenuti con la taratura alla sezione di Soraga.

Tempo	Affl.tot.[mm]	Prec.Nev.[mm]	Neve fusa[mm]	Et pot.[mm]	Et reale[mm]	Ecced.[mm]	Q ipod.[mm]	Q perc. ▲
01/01/1990	0.000	0.000	0.132	0.096	0.096	0.000	0.022	0.041
02/01/1990	0.000	0.000	0.220	0.142	0.142	0.000	0.026	0.050
03/01/1990	0.000	0.000	0.164	0.134	0.134	0.000	0.030	0.058
04/01/1990	0.000	0.000	0.111	0.116	0.116	0.000	0.029	0.057
05/01/1990	0.000	0.000	0.101	0.094	0.094	0.000	0.026	0.050
06/01/1990	0.000	0.000	0.057	0.083	0.083	0.000	0.022	0.041
07/01/1990	0.000	0.000	0.018	0.046	0.046	0.000	0.017	0.031
08/01/1990	0.000	0.000	0.037	0.049	0.049	0.000	0.013	0.024
09/01/1990	0.000	0.000	0.119	0.087	0.087	0.000	0.014	0.026
10/01/1990	0.000	0.000	0.229	0.123	0.123	0.000	0.020	0.039
11/01/1990	0.000	0.000	0.292	0.150	0.150	0.000	0.031	0.061
12/01/1990	0.000	0.000	0.260	0.145	0.145	0.000	0.040	0.080
13/01/1990	0.000	0.000	0.252	0.136	0.136	0.000	0.046	0.091
14/01/1990	0.000	0.000	0.230	0.141	0.141	0.000	0.049	0.098
15/01/1990	0.000	0.000	0.273	0.111	0.111	0.000	0.053	0.105
16/01/1990	0.000	0.000	0.482	0.206	0.206	0.000	0.059	0.117
17/01/1990	0.000	0.000	0.445	0.346	0.346	0.000	0.050	0.098
18/01/1990	0.000	0.000	0.567	0.330	0.330	0.000	0.031	0.057
19/01/1990	0.062	0.039	0.240	0.167	0.167	0.000	0.023	0.041
20/01/1990	0.000	0.000	0.137	0.179	0.179	0.000	0.021	0.042
21/01/1990	0.000	0.000	0.238	0.294	0.294	0.000	0.019	0.041
22/01/1990	0.000	0.000	0.278	0.294	0.294	0.000	0.025	0.059
23/01/1990	0.000	0.000	0.184	0.273	0.273	0.000	0.029	0.071
24/01/1990	0.000	0.000	0.212	0.238	0.238	0.000	0.031	0.075
25/01/1990	0.000	0.000	0.237	0.189	0.189	0.000	0.034	0.082

Figura 25. Tabella di bilancio fornita da MODIDR.

Tabella 3. Totale sui 10 anni delle componenti del bilancio idrologico.

Descrizione	Valore totale / medio sui 10 anni
Afflusso totale [mm]	10333
Precipitazione Nevosa [mm]	1703
Neve fusa [mm]	2840
Evapotraspirazione potenziale[mm]	2594
Evapotraspirazione reale [mm]	2593
Eccedenza [mm]	0.01
Q ipodermica [mm]	2866
Q percolazione [mm]	6010
Q profonda [mm]	5469
Manto nevoso [mm]	22
Suolo [mm]	137
Volume profondo [mm]	229
Perdite [mm]	541
Q totale[ mm]	8334
Q misurata [mm]	8710
Q totale [m <sup>3</sup> /s]	5.32
Q misurata [m <sup>3</sup> /s]	5.56

Allo scopo di verificare il comportamento del modello al variare della scala temporale di aggregazione si sono convertiti i dati in ingresso da giornalieri a mensili. In particolare si sono ricompilati i file relativi ai dati di pioggia, temperatura e portata; si sono mantenute invece uguali le mappe numeriche ed il set di parametri precedentemente stabiliti. Il grafico di figura 26 rappresenta sempre il confronto tra deflussi simulati e misurati a Soraga, questa volta però con l'aggregazione mensile del dato.

Si nota subito come, rispetto al grafico di figura 20, la sovrapposizione di deflusso simulato e misurato migliori (ad esclusione di un picco anomalo nel deflusso misurato nel 1991). Il miglioramento non è solo visivo ma anche numerico, MODIDR fornisce infatti per questa simulazione una varianza spiegata pari a  $R^2 = 0.729$ , un miglioramento dunque rispetto al caso precedente di circa 10 punti percentuali.

Questo risultato oltre ad evidenziare quello che già si sapeva e cioè che questi modelli danno i risultati migliori sulle scale spaziali più grandi, l'aggregazione mensile del dato consente infatti al modello di cogliere anche la maggior parte dei picchi di portata, mette in evidenza che il set di parametri scelto per il bacino dell'alto Avisio è corretto.

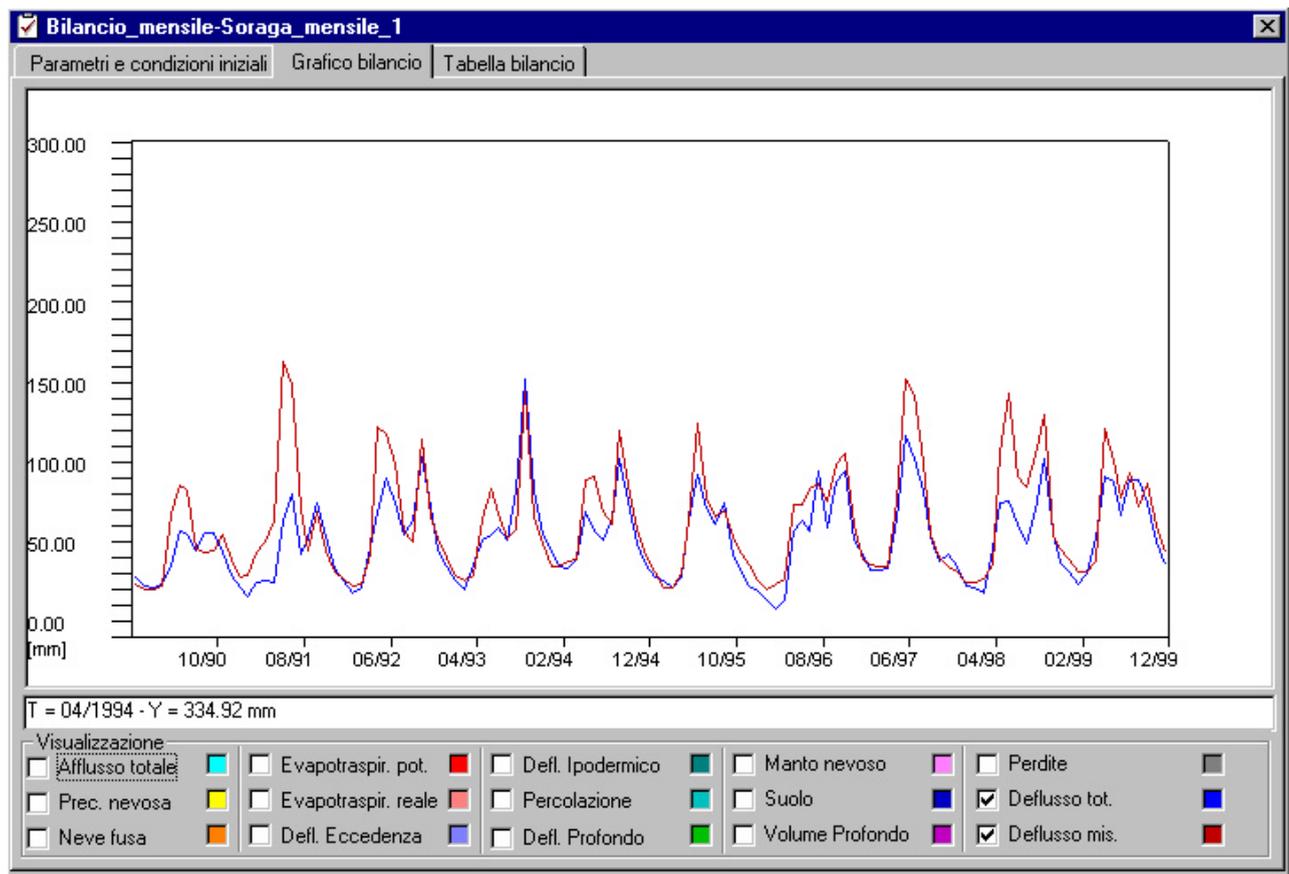


Figura 26. Confronto tra deflusso simulato e misurato a Soraga con aggregazione mensile del dato.

Realizzata la taratura del modello e verificata la validità degli output da esso prodotti si ha ora a disposizione un set di parametri che sono rappresentativi della parte di bacino sotteso dalla sezione utilizzata appunto per la taratura. E' perciò possibile simulare l'andamento del deflusso in una sezione di un sottobacino contenuta nel bacino analizzato, sulla quale non si hanno a disposizione dati sperimentali rilevati in sito, utilizzando lo stesso set di parametri. E' anche possibile fare una stima dell'andamento dei deflussi in sottobacini esterni a quello utilizzato per la taratura o in bacini più grandi che comprendano quello di taratura; in questo caso l'affidabilità del dato è però minore rispetto al caso precedente, in quanto le caratteristiche geomorfologiche del nuovo bacino o della parte di bacino aggiuntiva non hanno "partecipato" alla determinazione dei parametri lumped. Più quindi ci si sposta a valle della sezione di chiusura utilizzata per la taratura, più la precisione del modello va scemando.

Anche le simulazioni dei deflussi in sottobacini contenuti in quello analizzato richiedono però delle attenzioni. La precisione del modello diminuisce infatti al ridursi dell'area del sottobacino esaminato, sia perché le imprecisioni della rappresentazione numerica (DTM con passo 100 m) diventano più marcate, sia perché possibili situazioni idrogeologiche anomale e localizzate hanno

poca influenza se la superficie considerata è molto vasta (vengono mediate). Possono essere invece determinanti nella generazione del deflusso se contenute in una piccola area. La soglia dei 5÷10 km<sup>2</sup> può essere considerata il discriminante fra le due situazioni.

Nei capitoli successivi illustreremo due possibili utilizzi del modello di bilancio idrologico: la stima degli input del modello di qualità QUAL2EU e la determinazione delle curve di durata in sezioni di chiusura di bacini non monitorati.

## INTEGRAZIONE CON IL MODELLO DI QUALITÀ QUAL2EU

L'applicazione del modello di qualità QUAL2EU all'asta dell'Avisio prevede la suddivisione del corso d'acqua in due tratti: dalla diga della Fedaià fino al bacino di Pezzè (che rappresenta una discontinuità idraulica) di Moena e da Moena a Predazzo. Per l'implementazione il modello necessita degli input di portata dei tronchi che affluiscono in Avisio.

Il modello idrologico, tarato, è stato utilizzato per stimare le portate di tutti i corsi d'acqua affluenti dell'Avisio nei due tratti considerati. In particolare si è stimato l'andamento temporale delle portate relativamente ai mesi di gennaio, febbraio e marzo dell'anno 1999; su questo periodo è stato poi calcolato un valore medio di portata.

Prima dell'avvento dei modelli, questi tipi di stima venivano fatti semplicemente dividendo la portata monitorata in una sezione per l'area del bacino imbrifero sotteso, il valore di portata specifica veniva poi moltiplicato per l'area del sottobacino dell'affluente considerato. Questo metodo, oltre che considerare erroneamente un contributo specifico di portata uguale per tutto il bacino, non può inoltre essere applicato, senza possibili grossolani errori, a bacini esterni a quello utilizzato per il calcolo del contributo specifico di portata.

Utilizzando le simulazioni modellistiche, si ha una notevole riduzione del margine di errore in quanto la portata viene stimata, per ogni sottobacino, in base alle caratteristiche proprie di quell'area (piovosità, presenza o meno di nevi perenni, caratteristiche geolitologiche, ecc.).

La bontà del dato simulato migliora poi ovviamente a seconda del periodo considerato (periodo di magra piuttosto che di piena) e dell'intervallo temporale su cui si realizza la media.

A conferma di quanto appena detto si riportano le medie realizzate su intervalli temporali sempre maggiori delle portate misurate e simulate presso la sezione di Soraga nei mesi gennaio, febbraio e marzo del 1999. L'obiettivo è quello di mostrare come al dilatarsi del periodo temporale di media il deflusso simulato sia sempre più rappresentativo di quello misurato. In tabella 4 sono riportate le medie per i vari intervalli temporali considerati: i quindici giorni, il mese ed i tre mesi. Nella prima colonna sono riportati gli intervalli temporali rispetto ai quali sono state realizzate le medie che sono riportate nella seconda e nella terza colonna rispettivamente per portata simulata e portata misurata. La quarta colonna riporta, in valore assoluto, gli scarti tra le medie delle due colonne precedenti. L'ultima colonna riporta infine la media degli scarti della colonna 4 (somma degli scarti / numero periodo omogenei).

L'elaborazione è riportata anche sul grafico di figura 27.

Tabella 4. Confronto tra medie di portata misurata e simulata presso la sezione di Soraga su intervalli temporali diversi.

Periodo di media	Q simulata media	Q misurata media	ABS(Qs-Qm)	Media scarti
1°_15_gen	3.42	3.97	0.55	
2°_15_gen	3.34	3.62	0.27	
1°_15_feb	2.94	3.26	0.32	
2°_15_feb	2.71	3.03	0.33	<b>0.31</b>
1°_15_mar	3.49	3.14	0.35	
2°_15_mar	3.09	3.16	0.07	
gennaio	3.38	3.79	0.41	
febbraio	2.83	3.15	0.32	<b>0.29</b>
marzo	3.28	3.15	0.13	
ge/fe/ma	3.18	3.37	0.19	<b>0.19</b>

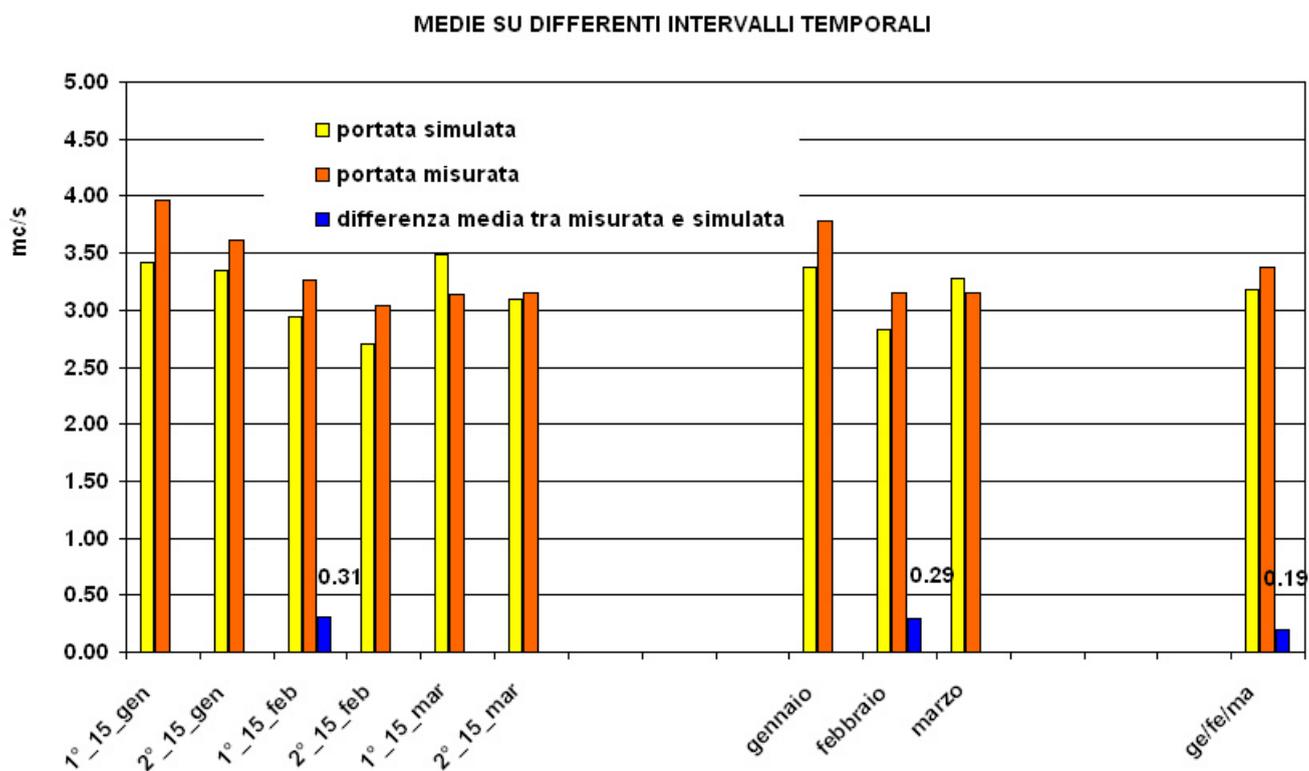


Figura 27. Dati di tabella 4 in forma grafica.

E' immediato osservare che al dilatarsi del periodo temporale rispetto al quale viene calcolata la media, le differenze tra portata simulata e misurata diminuiscono, in particolare la media degli scarti passa da  $0.31 \text{ m}^3/\text{s}$  per gli intervalli di 15 giorni (scala temporale minima di AQUARIUM), a  $0.29 \text{ m}^3/\text{s}$  per gli intervalli mensili per giungere a  $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$  per l'intervallo temporale trimestrale.

Nel nostro caso, il periodo di applicazione di QUAL2EU è localizzato nei mesi di forte pressione turistica (gennaio, febbraio e marzo), periodo che corrisponde alla fase di esaurimento per il regime delle portate dell'Avisio; per quanto precedentemente spiegato questo periodo coincide con quelli in cui il modello idrologico fornisce i risultati migliori.

La procedura seguita per la stima delle portate utilizzate in QUAL2EU è la seguente:

- individuazione su cartografia numerica di AQUARIUM degli affluenti dell'Avisio per i tratti Fedaia-Soraga e Moena-Predazzo;
- localizzazione sulla mappa degli ordini di MODIDR della sezione di ingresso dell'affluente nell'Avisio (il modello ricostruisce il bacino imbrifero sotteso e la distribuzione di piogge e temperature);
- implementazione del bilancio idrologico per quel sottobacino per il decennio di simulazione considerato;
- calcolo della media e della varianza dei valori di portata sui mesi di gennaio, febbraio e marzo 1999 (media trimestrale);
- predisposizione dato di input per QUAL2EU.

A carattere di esempio viene mostrata l'intera procedura appena descritta per la stima del regime di deflusso di uno degli affluenti del primo tratto schematizzato da QUAL2EU; in particolare l'affluente preso in considerazione è il Rio Duron.

La figura 28 mostra l'interfaccia AQUARIUM con selezionato il bacino del Rio Duron.

Individuato e localizzato il Rio Duron è possibile, utilizzando la finestra di MODIDR *Parametri e condizioni iniziali* riportata in figura 19, selezionare nella sottofinestra *Selezione bacino* il comando Sezione generica. A questo punto viene mostrata la mappa degli ordini sulla quale è possibile selezionare la cella di chiusura del bacino di interesse; la selezione avviene con doppio click del mouse sulla cella di confluenza di Rio Duron in Avisio (per una corretta selezione è generalmente necessario operare uno zoom sulla mappa). La figura 29 mostra quanto appena descritto.

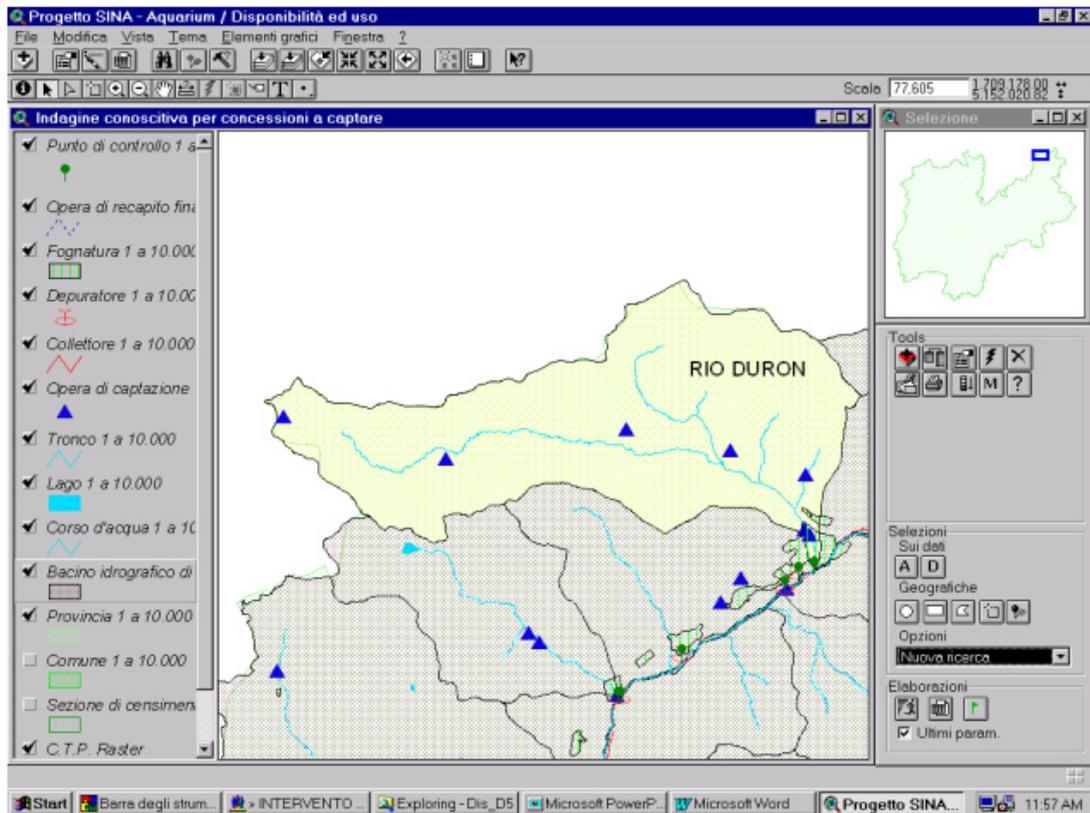


Figura 28. Localizzazione del Rio Duron e del suo bacino sulla cartografia numerica di AQUARIUM.

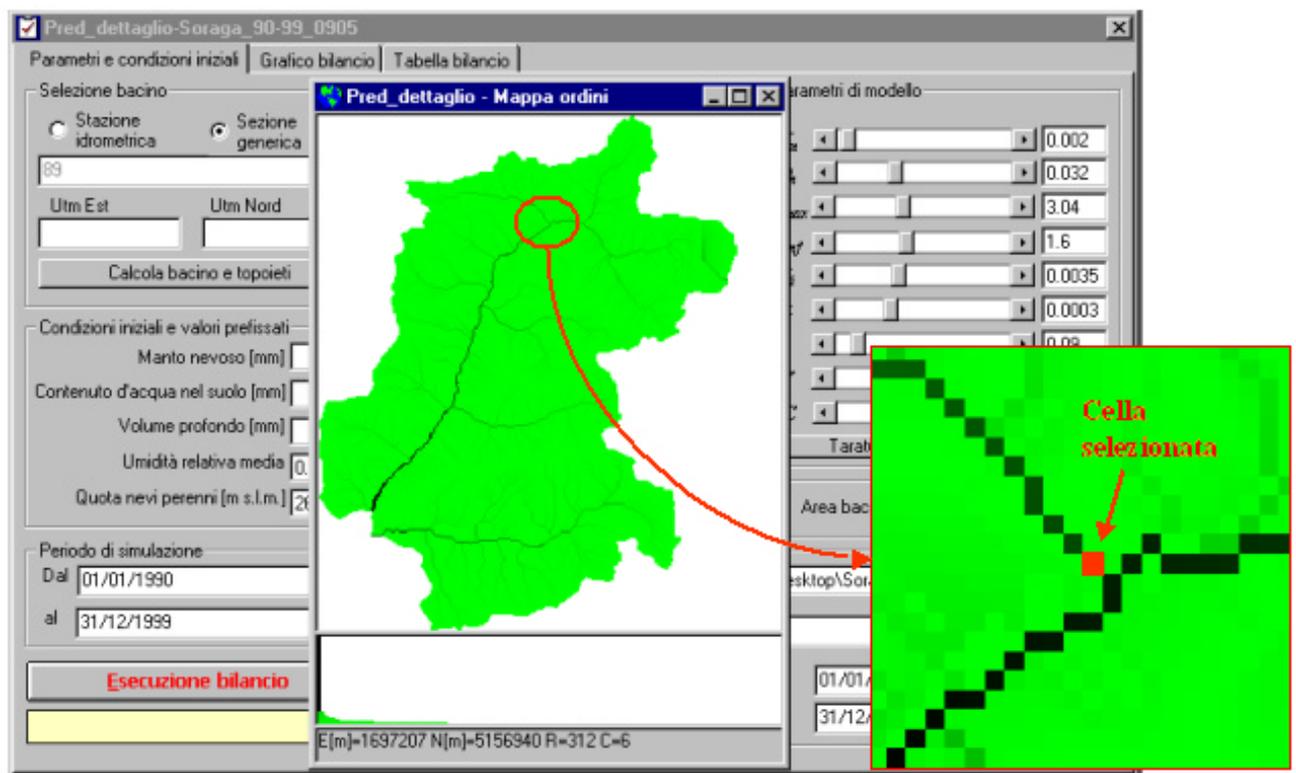


Figura 29. Selezione di una generica sezione di chiusura di un sottobacino.

Selezionata la cella di chiusura MODIDR calcola il bacino imbrifero sotteso da quella cella e le mappe di distribuzione delle piogge e delle temperature sempre per quel bacino (figura 30); il modello ripete dunque i passi descritti nel capitolo relativo alla taratura.



Figura 30. Da sinistra a destra rispettivamente: mappa del bacino del Rio Duron, mappa dei topoieti delle piogge e mappa dei topoieti delle temperature.

L'implementazione del bilancio avviene a questo punto utilizzando il set di parametri trovato in fase di taratura; il periodo considerato per il bilancio è sempre il decennio. Dalla *Tabella di bilancio* è possibile poi esportare un file di output nel quale sono contenuti tutti i valori giornalieri delle componenti del bilancio.

Una media delle portate simulate, alla sezione di chiusura del bacino del Duron, nel periodo gennaio-febbraio-marzo conduce al valore di portata da utilizzare come dato di input nella schematizzazione di QUAL2EU in corrispondenza appunto dell'ingresso puntuale del Duron.

La procedura descritta è stata applicata a tutti gli affluenti dell'Avisio schematizzati in QUAL2EU; il risultato delle elaborazioni è riportato in tabella 5 per il primo tratto esaminato ed in tabella 6 per il secondo.

A fianco del valore medio di portata, nelle tabelle, è stata inserita anche la deviazione standard; i valori relativamente bassi di quest'ultima confermano che è lecito assumere, nei mesi considerati, il valore medio della portata come rappresentativo dell'effettivo regime di deflussi in quel periodo.

Con riferimento alla tabella 5 si osserva che alcuni sottobacini considerati hanno delle superfici molto piccole, dell'ordine del kmq; per questi bacini la stima fornita dal modello può risultare imprecisa (vedi ultima parte del capitolo "Gli output del modello"). Si è comunque deciso

di utilizzare ugualmente i valori stimati in quanto il contributo di portata all'asta principale di questi bacini è minimo e in ogni caso questo metodo di stima è sicuramente migliore di quello basato sul valore specifico di portata per unità di area.

La tabella richiama tre note che vengono di seguito spiegate.

**Nota 1:** con headwater intendiamo tutta la parte di bacino captata dall'Avisio prima della confluenza con il Rio Contrin; per semplicità in QUAL2EU si è ipotizzato che tutto il tratto a monte della confluenza con il Contrin abbia un valore di portata costante in quanto prima di questa confluenza non si hanno affluenti importanti e non si ha alcun tipo di scarico organico.

**Nota 2:** il corso d'acqua richiamato è il Rio Cernadoi che si trova in sx orografica, in realtà il bacino sotteso fa riferimento a quello del Cernadoi più quello di un altro piccolo affluente in destra orografica, speculare al Cernadoi; per la schematizzazione di QUAL2EU i due bacini sono stati perciò aggregati in un unico input.

**Nota 3:** tra gli affluenti dell'Avisio, San Nicolò e San Pellegrino, in sx orografica, c'è una parte di bacino che non confluisce in Avisio attraverso un ben determinato affluente ma vi confluisce tramite una serie di incisioni, più o meno marcate, che non possono essere considerate degli affluenti veri e propri. Per la schematizzazione in QUAL2EU si è perciò deciso di stimare la portata complessiva di questo sottobacino e di considerarla come input distribuito nel tratto d'asta tra il Rio San Nicolò ed il Rio San Pellegrino.

Con riferimento invece alla tabella 6 va detto che le stime dei deflussi sono state fatte utilizzando sempre il set di parametri ricavati dalla taratura rispetto a Soraga; valgono quindi tutte le considerazioni fatte precedentemente sulla bontà dei risultati relativamente ai bacini esterni a quello utilizzato per la taratura.

Anche la tabella 6 riporta due note.

**Nota 4:** portata stimata in uscita dal bacino di Pezzè di Moena.

**Nota 5:** idem della nota 2 con l'accortezza di sostituire a San Nicolò, San pellegrino e a San Pellegrino, Travignolo.

Tabella 5. Affluenti considerati per il primo tratto di QUAL2, tra la Fedaià e il bacino di Pezzè di Moena.

Corso d'acqua	Area bacino sotteso (Km <sup>2</sup> )	Media portata sui mesi gennaio/febbraio/marzo (m <sup>3</sup> /s)	Deviazione standard
Headwater <sup>1</sup>	19.5	0.37	0.031
Rio Contrin	17.7	0.361	0.029
Rio Cernadoi <sup>2</sup>	1	0.015	0.001
Rio Antermont	21.8	0.449	0.037
Rio Duron	20.4	0.339	0.028
Rio di Greppa	4.3	0.064	0.006
Rio drio le Pale	1.2	0.017	0.005
Rio di Dona	2.8	0.042	0.006
Rio Udai	7.8	0.167	0.014
Rio Soial	16.9	0.344	0.029
Rio San Nicolò	37.5	0.601	0.113
Rio di Chiesa	0.8	0.012	0.001
Rio di Valle	5.5	0.097	0.009
Rio Wallace	2.7	0.04	0.007
Rio Barbide	1.6	0.023	0.005
Bacino tra S. Nicolò e S. Pellegrino (sx. orog.) <sup>3</sup>	4.5	0.068	0.01

Tabella 6. Affluenti considerati per il secondo tratto di QUAL2, tra Pezzè di Moena e Predazzo.

Corso d'acqua	Area bacino sotteso (Km <sup>2</sup> )	Media portata sui mesi gennaio/febbraio/marzo (m <sup>3</sup> /s)	Deviazione standard
Headwater <sup>4</sup>	-	0.2	-
Rio san Pellegrino	41.8	0.648	0.01
Rio Costalunga	13.7	0.209	0.025
Rio Fedea	1.4	0.020	0.006
Rio Valsorda	13.9	0.261	0.025
Bacino tra S. Pellegrino e Travignolo (sx. orog.) <sup>5</sup>	2.4	0.049	0.008
Rio Gardonè	11	0.138	0.053

Quanto riportato è un tipico esempio di utilizzo dei modelli di bilancio; grazie ad essi è possibile ricostruire in modo abbastanza preciso l'andamento dei deflussi lungo un corso d'acqua. Questo tipo di dato è utilizzato come dato di ingresso in altri modelli, tipicamente di qualità (QUAL2EU) ma anche quantitativi (IRAS), il cui esito dipende molto dalla correttezza degli input inseriti tra i quali giocano un ruolo fondamentale quelli di portata.

## **SUPPORTO ALLE DECISIONI NEL GOVERNO DELLA RISORSA IDRICA: CURVE DI DURATA**

Si è già detto inizialmente come la simulazione del regime di deflussi in sezioni non monitorate di un bacino, per le quali dunque non si ha alcuna informazione sulle portate che vi defluiscono, sia utile quando, negli interventi di governo della risorsa idrica (rilascio concessione derivazioni, autorizzazione scarichi, ecc.), è comunque necessario avere almeno una stima della portata minima che defluisce nel corso d'acqua.

Il risultato della simulazione del regime di deflussi in una sezione può essere visto in due modi diversi: o come andamento della portata nel tempo, o come *curva di durata* o *curva di tenuta* delle portate.

La curva di durata si ottiene ordinando i valori di portata non in ordine cronologico ma in ordine decrescente o secondo la loro frequenza di presenza dopo aver definito le rispettive classi. Le portate  $Q$  sono cioè ordinate secondo una variabile che esprime la durata o la permanenza di un assegnato valore di  $Q$  relativamente al periodo considerato. La curva, per le modalità stesse di costruzione, ha andamento monotono.

Considerando ad esempio i valori di portata misurati in un anno, il valore minimo di portata è detto *portata permanente* (per quell'anno) e corrisponde perciò ad una frequenza del 100%.

Questa curva è sempre stata molto utilizzata da chi si occupa del rilascio di concessioni per derivazioni e opere di presa, essa consente infatti, fissato un valore di portata di rispetto (deflusso minimo) che deve essere sempre presente nell'arco dell'anno, di stabilire il quantitativo di portata che può essere derivato senza causare alcun problema al corso d'acqua.

La modellazione numerica può essere allora utile per la costruzione di curve di durata su corsi d'acqua non monitorati riguardo ai quali non si ha alcuna misura sperimentale.

Per valutare la bontà del modello rispetto a questo tipo di simulazioni si sono confrontate le curve di durata, alla sezione idrometrica di Soraga, ottenute ordinando i dati sperimentali e quelli simulati dal modello con il set di parametri fissati in fase di taratura. Con riferimento all'anno 1999, scelto per l'applicazione del modello di qualità QUAL2EU, il confronto è visibile in figura 31. Il grafico evidenzia la bontà della simulazione per questo anno, le due curve di durata si possono ritenere infatti praticamente coincidenti.

Per tutti gli altri anni del decennio considerato i confronti sono visibili in figura 32.

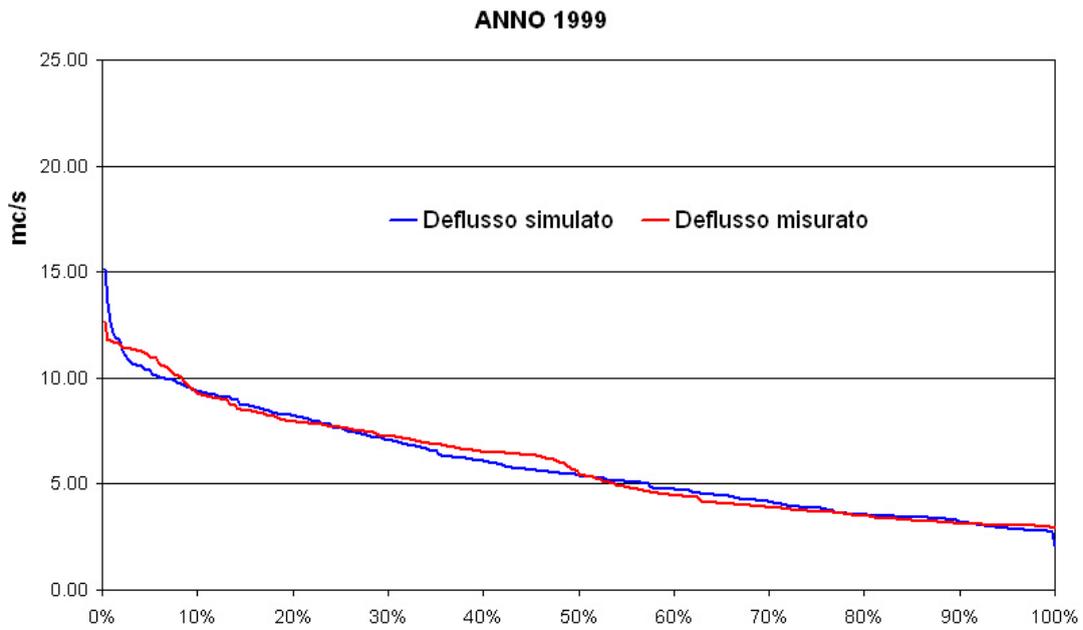
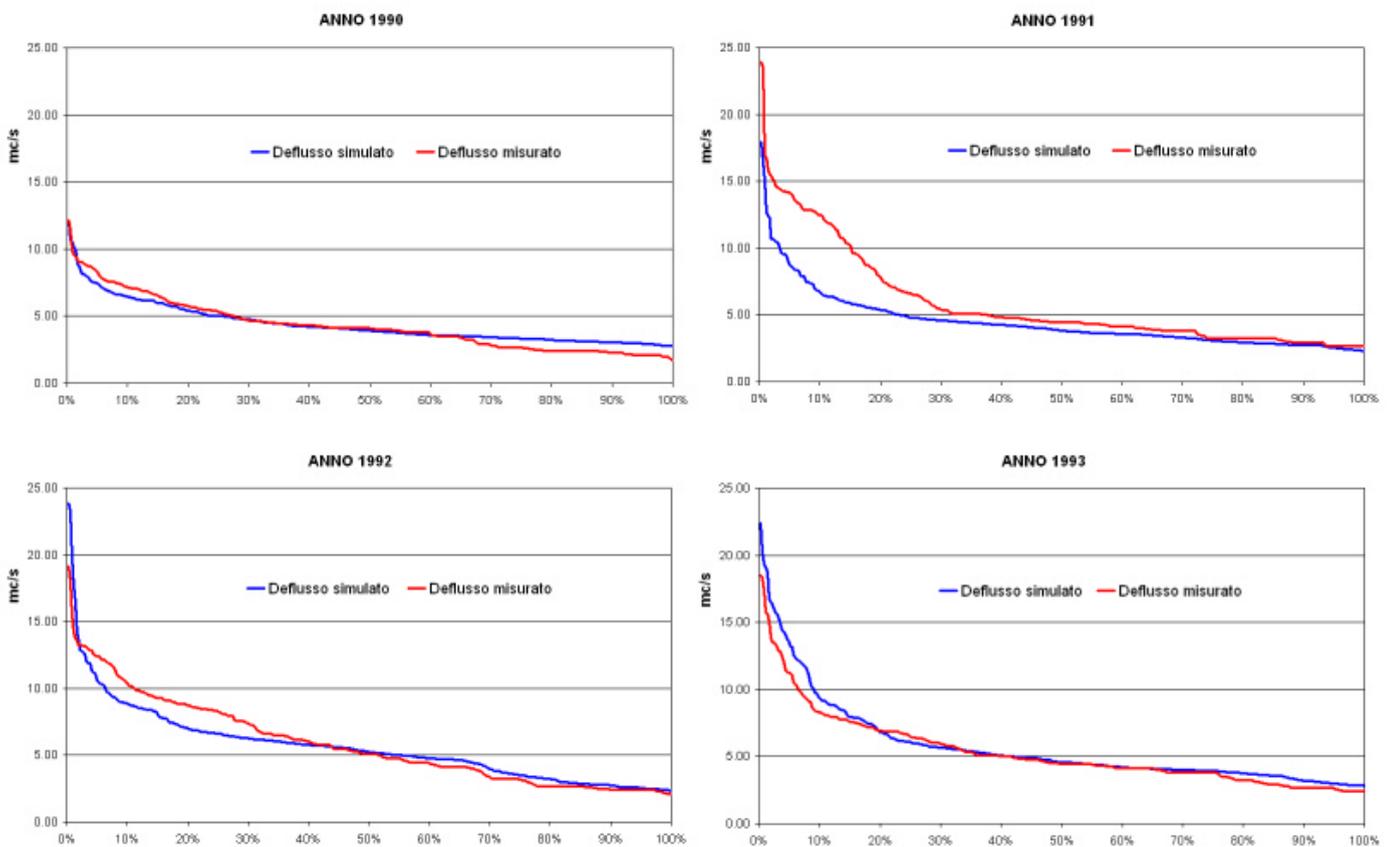


Figura 31. Confronto tra le curve di durata ottenute con i valori misurati e con i valori simulati di deflusso presso la sezione di Soraga nell'anno 1999.



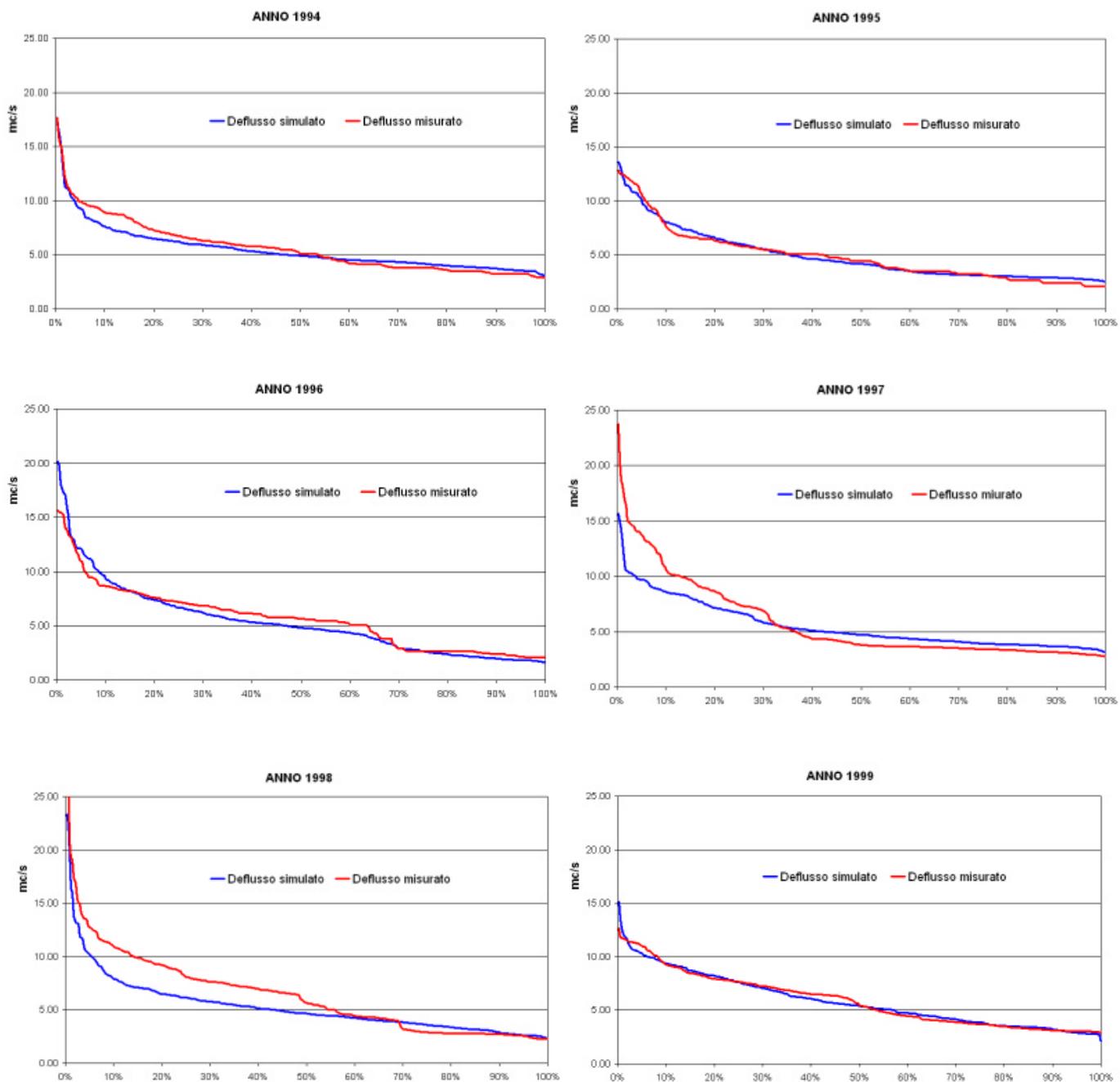


Figura 32. Confronto tra le curve di durata annuali ottenute con i valori misurati e con i valori simulati di deflusso presso la sezione di Soraga nel decennio 1990-1999.

Osservando i grafici di figura 32 si può notare come le curve di durata, ottenute con i valori sperimentali e con quelli generati sinteticamente dal modello, si discostino anche significativamente in corrispondenza dei valori di portata elevati, ossia per quei valori di portata che hanno frequenza inferiore al 50% (valori che vengono mantenuti dal corso d'acqua per meno del 50% del periodo esaminato). In corrispondenza invece dei valori di portata minori, la cui frequenza di tenuta è superiore al 50%, le due curve tendono a sovrapporsi.

Questo fatto, in accordo con quanto detto nel capitolo relativo alla taratura, mette in evidenza la maggiore bontà del modello nella simulazione dei minimi di portata o, se si vuole, delle fasi di esaurimento piuttosto che nelle fasi di piena.

Visto che attualmente l'utilizzo principale delle curve di durata è relativo alla stima della portata permanente (con frequenza del 100%) piuttosto che alla stima dei volumi massimi che possono essere sfruttati, il modello si presta perciò molto bene ad essere utilizzato per la costruzione di curve di durata in sezioni non monitorate di un bacino rispetto al quale sia stata eseguita una taratura in una sezione il cui andamento della portata sia noto.

E' importante evidenziare che le stime dei valori di portata che si hanno nelle fasi di esaurimento sono soggette ad errori assoluti più contenuti delle stime relative ai periodi di piena. E' indicativo al proposito il grafico di figura 31 nel quale sono rappresentate tutte le curve di durata relative agli anni 1990-1999 ottenute con i valori di portata misurati presso la stazione idrometrica di Soraga. Indicando su di esso i valori di portata con frequenza 10%, quelli cioè mantenuti dal corso d'acqua per il solo 10% dell'anno, si osserva che nel decennio considerato la variazione che hanno subito è piuttosto elevata. Indicando invece i valori di portata con frequenza 90% (valori mantenuti dal corso d'acqua per il 90% dell'anno), si nota che la variazione assoluta subita nel decennio è molto inferiore rispetto al caso precedente.

Il grafico di figura 34 mostra invece la media delle curve di durata del grafico di figura 33 (che è diversa dalla curva di durata media). Si osserva una rapida diminuzione della deviazione standard (area rossa) che si assesta rapidamente a valori costanti; l'errore percentuale, ottenuto come rapporto tra la curva della deviazione standard e la curva del valore medio, assume un andamento oscillante attorno al valore del 15%. Nelle curve di durata quindi ad una rapida diminuzione dell'errore assoluto della stima che si ha spostandosi verso i minimi di portata, corrisponde un errore relativo pressoché costante.

### CONFRONTO CURVE DI DURATA

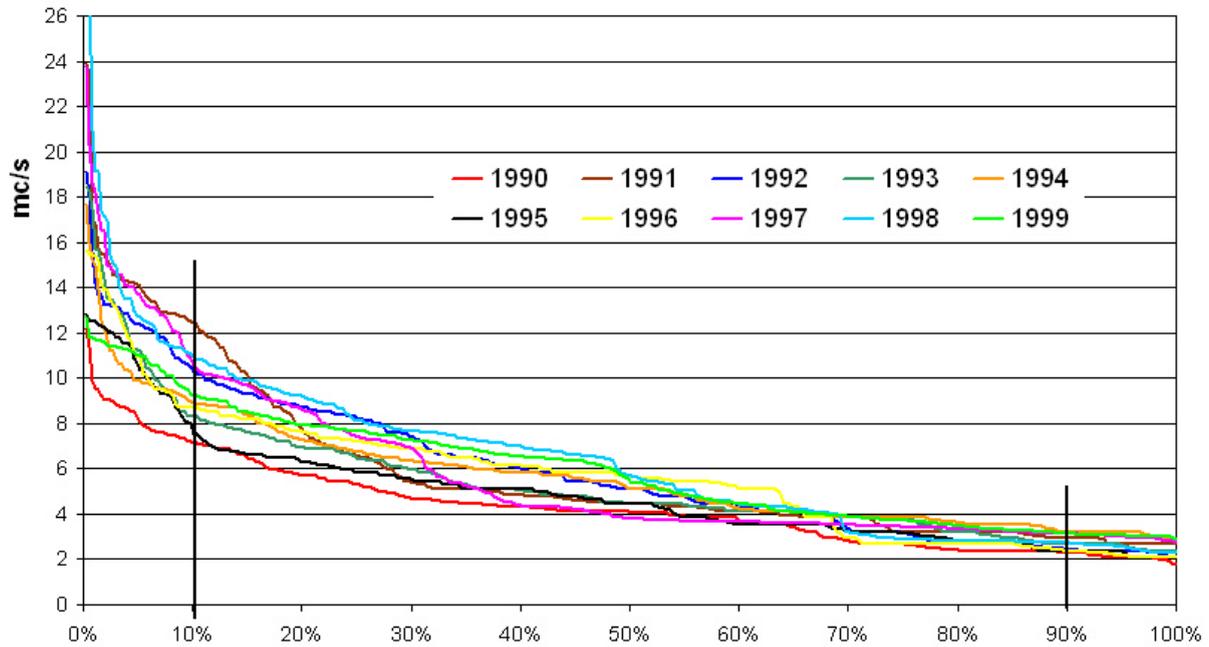


Figura 33. Confronto tra le curve di durata ottenute con i valori di portata misurati presso la sezione di Soraga negli anni 1990-1999.

### MEDIA CURVE DI DURATA

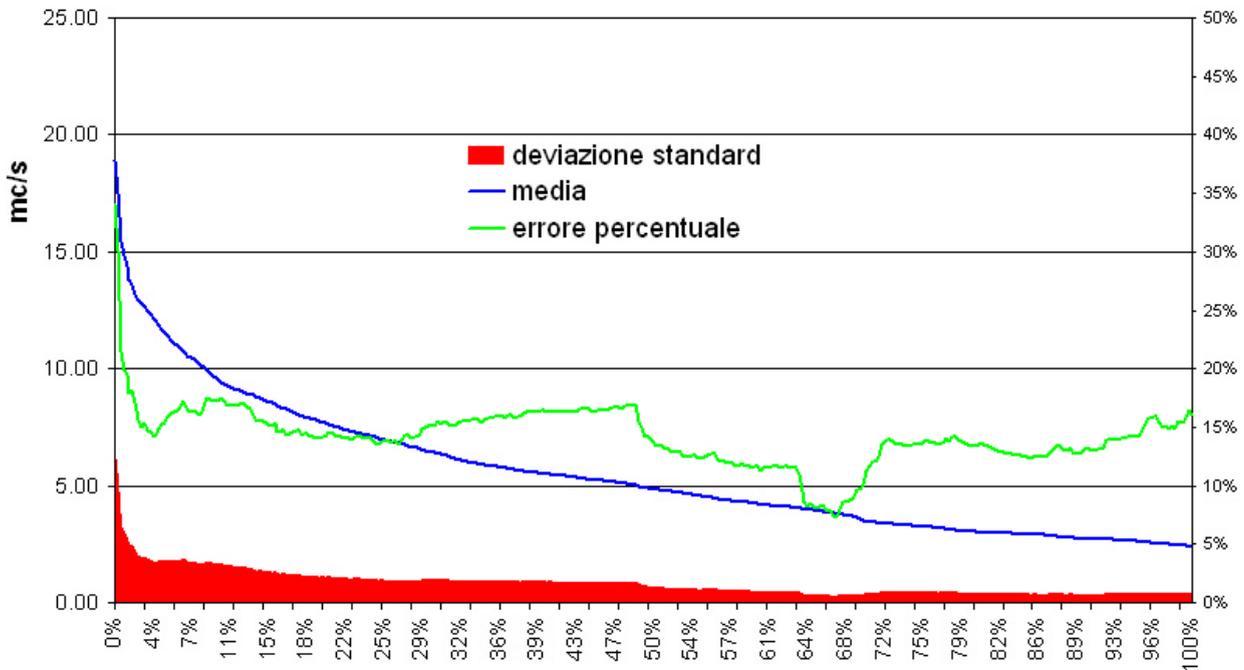


Figura 34. Media delle curve di durata del grafico precedente, deviazione standard ed errore percentuale (deviazione standard/media).

Sempre con riferimento alla stazione idrometrica di Soraga si sono costruite le curve di durata utilizzando i dati di portata relativi all'intero periodo di simulazione. In figura 35 è riportato il confronto tra la curva ottenuta con i dati reali e quella ottenuta con i dati sintetici. Si ha anche in questo caso una conferma della validità del modello nel simulare deflussi "ordinari" su lunghi periodi temporali.

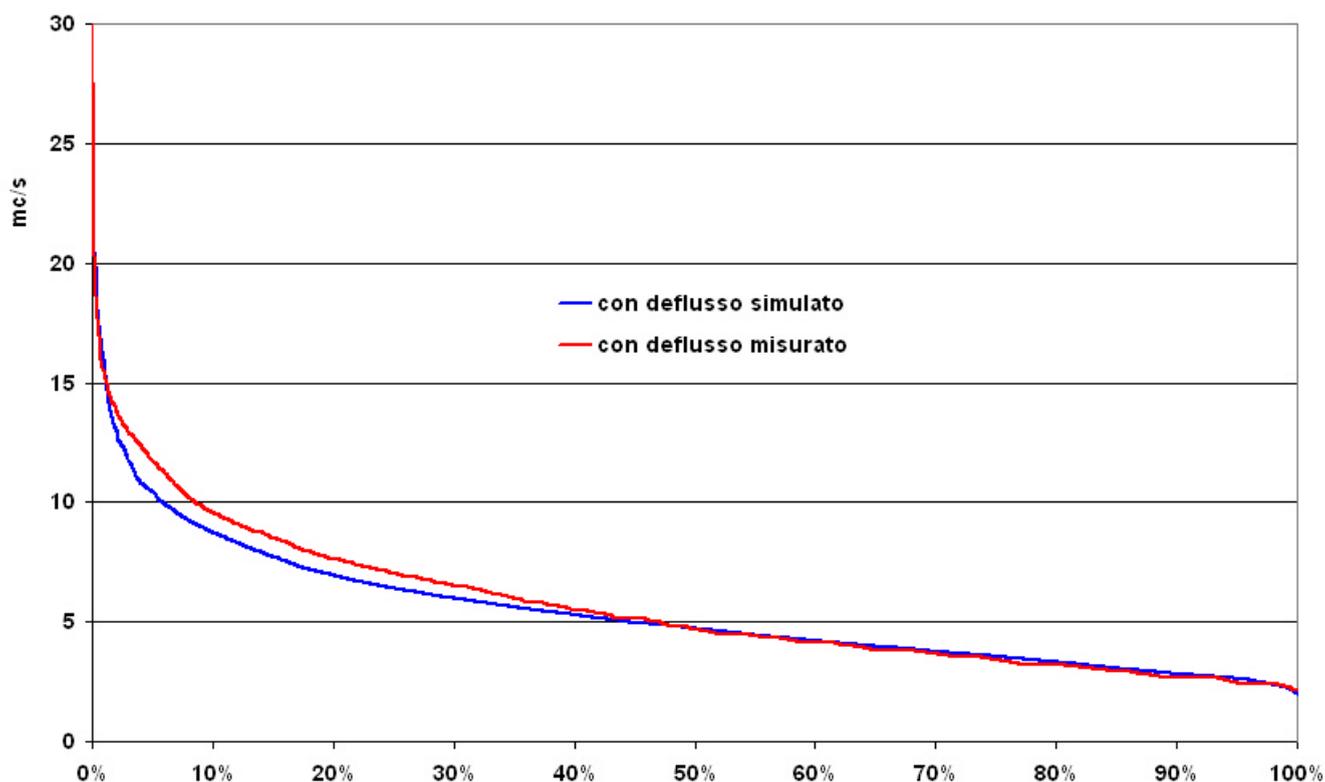


Figura 35. Curve di durata presso la sezione di Soraga ottenute con i dati di portata giornalieri relativi a tutto il decennio.

Verificata, attraverso il confronto nella stazione idrometrica di Soraga, la validità del modello anche nella determinazione delle curve di durata, è possibile, come si è detto, utilizzare lo stesso per costruire curve di durata su corsi d'acqua non monitorati appartenenti al bacino.

Con riferimento al bacino del rio Duron per il quale, nel capitolo precedente, sono state descritte dettagliatamente le modalità di stima del regime di deflussi nel decennio considerato, è possibile organizzare in ordine decrescente i valori giornalieri di portata relativi a 10 anni e costruire una curva di durata decennale.

CURVA DI DURATA RIO DURON, ANNI 1990 - 1999

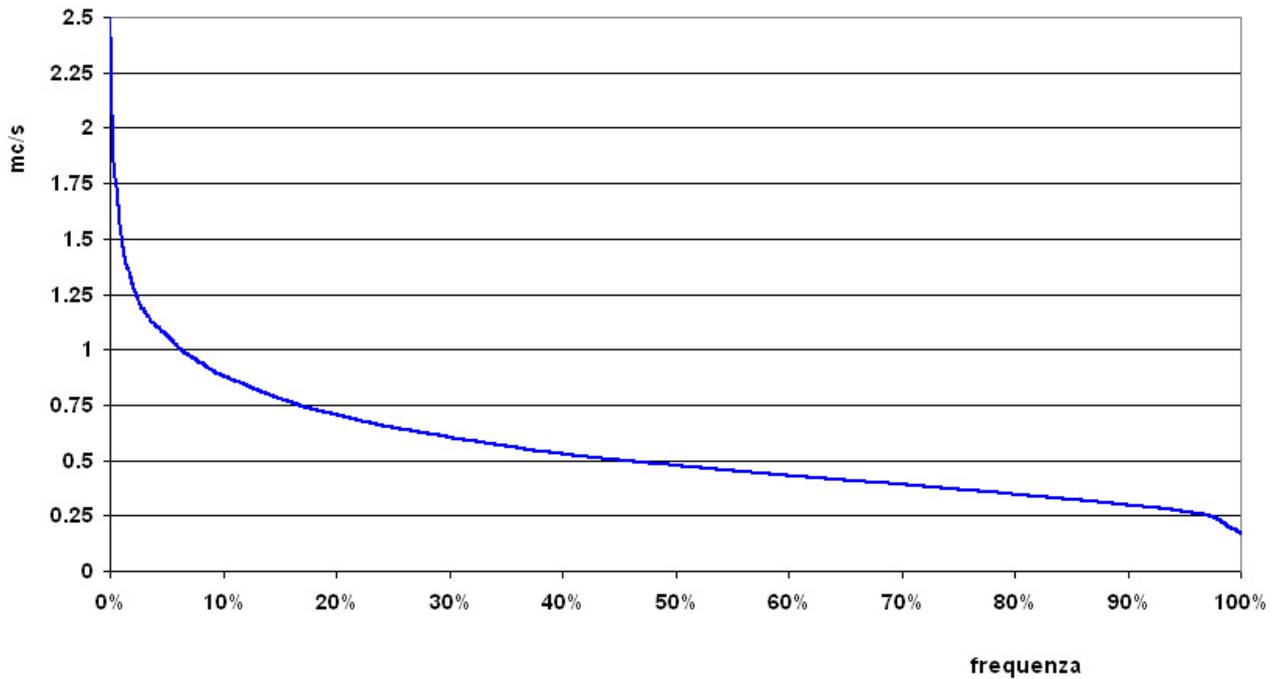


Figura 36. : curva di durata del Rio Duron alla sezione di confluenza in Avisio, ottenuta con 10 anni di dati di portata giornaliera stimati dal modello.

Su questa curva si possono fare numerose considerazioni, sia riguardo al deflusso minimo che deve essere garantito nel caso del rilascio di una o più concessioni a derivare, sia riguardo ai volumi d'acqua che possono essere sfruttati ad esempio da un eventuale impianto idroelettrico o di innervamento.

I presupposti per la "bontà" del dato ci sono tutti, il bacino ha infatti un'area sufficientemente grande (20.4 kmq) ed è sottobacino di quello utilizzato per la stima del set di parametri di taratura. E' ovvio che i valori non possono essere presi come assoluti ma sono affetti da un certo errore che risulta difficilmente quantificabile (per quantificarlo esattamente servirebbe una stazione di misura per la verifica delle simulazioni) ma che sicuramente è accettabile se non si è in possesso di nessun altro tipo di dato.

## CONSIDERAZIONI GENERALI SUGLI OUTPUT DI MODIDR

L'applicazione di MODIDR al bacino dell'alto Avisio (praticamente la Val di Fassa), ha richiesto un consistente lavoro (circa 2 mesi di tempo) per il reperimento e la predisposizione dei dati di input. Sia di cartografia numerica che i dati termopluviometrici infatti, non erano ancora stati inseriti in AQUARIUM. Solo un continuo e completo aggiornamento della base dati di AQUARIM potrà dunque consentire l'estrazione dei dati utili al modello in automatico, diminuendo i tempi di realizzazione grazie alle procedure di integrazione AQUARIUM-MODELLI già predisposte.

Il modello si presta bene a produrre bilanci su bacini "naturali", intendendo con ciò, bacini il cui regime dei deflussi non sia regolato da serbatoi o da grandi opere idrauliche. E' comunque possibile, agendo direttamente sul DTM elaborato dal modello, considerare l'eventuale presenza di invasi che sversano in bacini diversi da quello in cui si trovano; questo è proprio il caso dell'invaso della Fedaiia che nel presente caso studio è stato escluso dal bacino dell'Avisio. Le operazioni di modifica del DTM non sono elementari e richiedono una certa esperienza ed accortezza.

La presenza all'interno del bacino di invasi che laminano il naturale deflusso attraverso, ad esempio, lo sfruttamento idroelettrico, può essere messa in conto solamente combinando il modello di bilancio con modelli di trasferimento come IRAS. Nel presente caso studio l'invaso di Pezzè di Moena obbliga, volendo effettuare un bilancio a valle di esso, a realizzare un primo bilancio sul bacino che chiude subito a monte dell'invaso, a considerare il trasferimento della risorsa a valle seguendo le regole di rilascio dell'ENEL e a combinare questo rilascio con gli altri deflussi "naturali" che si realizzano a valle dell'invaso (stimati sempre con MODIDR).

Con riferimento al passo spaziale utilizzato nel modello digitale del terreno, si è visto che i 100m rappresentano, per bacini di dimensione tra i 100 ed i 400 km<sup>2</sup>, un buon compromesso tra precisione di rappresentazione e tempi necessari alle elaborazioni. Il continuo miglioramento delle capacità di calcolo delle macchine utilizzate consentirà, in tempi brevi, il facile utilizzo del DTM con passo a 40m. Oltre questi valori non ha senso spingere la precisione di rappresentazione in quanto, per ottenere dei benefici, sarebbe necessaria anche una riduzione della scala temporale che, per MODIDR, ha come unità rappresentativa il giorno.

Per quanto riguarda il raster preposto a fornire le informazioni sulle caratteristiche idrauliche del suolo, la mappa della geolitologia risulta sufficiente a fornire le distinzioni, relativamente a capacità di ritenuta e velocità di infiltrazione, delle principali classi di suolo.

La taratura del modello alla sezione di chiusura di Soraga, l'unica disponibile nella parte di bacino analizzata, ha messo in evidenza alcuni aspetti interessanti:

- un periodo di simulazione di dieci anni è sufficiente a mandare a “regime” i processi che caratterizzano il ciclo idrologico (volume in falda, manto nevoso, etc.);
- la maggior predisposizione del modello alla simulazione del regime di deflussi ordinario e delle fasi di esaurimento. Le simulazioni dei periodi di piena (picchi di portata) sono più problematiche in ragione sia della scala temporale utilizzata dal modello, la minima è il giorno, sia dalle modalità con cui il programma simula il trasferimento del deflusso;
- la miglior riproduzione del deflusso misurato, in particolare dei picchi, se l’aggregazione del dato diventa mensile. Questo perché l’operazione di media smorza i picchi del segnale;
- la validità del modello nella simulazione di deflussi per la costruzione di curve di durata, specie se queste sono utilizzate per considerazioni sui minimi deflussi.

L’utilizzo del modello nel caso studio, per la stima dei dati di portata utilizzati come input dal modello di qualità, ha fornito degli ottimi risultati; il modello di qualità QUAL2EU ha infatti simulato in modo soddisfacente la situazione attuale, indice della bontà dei dati di input sia quantitativi che qualitativi. La ragione sta nell’aggregazione temporale del dato di portata, i tre mesi sono infatti compatibili con la scala temporale di AQUARIUM e consentono di mediare eventuali situazioni anomale prodotte dalla simulazione.

Un impiego importantissimo del modello è la ricostruzione delle curve di durata in sezioni non monitorate del bacino analizzato, per le quali non si ha alcun tipo di misura. Questa informazione, la cui bontà aumenta se il regime che interessa simulare è quello dei minimi di portata, è utilissima anche in vista dei nuovi vincoli normativi dettati dal DL. 152 per il governo della risorsa idrica. Quantitativi derivabili e pareri sui prelievi possono, con la modellistica, avere un fondamento reale o, comunque, essere supportati da informazioni tecnicamente valide.

La possibilità inoltre di ricostruire andamenti dei deflussi, rispetto ad anni passati, in sezioni nelle quali sia stata monitorata la sola qualità, rende appetibile il modello anche per stime delle variazioni dei carichi inquinanti negli anni.

Per le potenzialità mostrate MODIDR può sicuramente diventare un punto cardine, all’interno del sistema di supporto alle decisioni che è AQUARIUM, sia come tramite tra aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa idrica, sia come strumento di governo per la salvaguardia dei deflussi minimi.

# **APPLICAZIONE DEL MODELLO DI QUALITA' VETTORIALE QUAL2EU ALL'ALTO BACINO DELL'AVISIO**

## **BREVE DESCRIZIONE DEL MODELLO E POTENZIALITA' SFRUTTATE NELL'APPLICAZIONE**

La modellistica della qualità fluviale nasce come necessità nel momento in cui, i monitoraggi puntuali non riescono più a soddisfare da soli a specifiche esigenze conoscitive e la gestione di qualità ha bisogno di strumenti di validazione per la verifica e la progettazione. Il modello di qualità QUAL2EU rappresenta uno strumento in grado di soddisfare le esigenze sopra elencate consentendo una modalità di utilizzo facilitata a chi è familiare con l'ambiente Windows.

Per una approfondita analisi del funzionamento e delle potenzialità di QUAL2EU è consigliata la lettura delle specifiche pubblicazioni citate nella bibliografia. Tuttavia si ritiene utile fornire una sommaria descrizione del modello.

QUAL2EU è un modello vettoriale di qualità in grado di simulare fino a 15 costituenti del corso d'acqua:

- Ossigeno Disciolto
- Biochemical Oxygen Demand
- Temperatura
- Crescita Algale
- Azoto Organico
- Ammoniaca
- Nitriti
- Nitrati
- Fosforo Organico
- Fosforo Disciolto
- Coliformi
- Un Costituente Non Conservativo
- Tre Costituenti Conservativi

Scorrendo la lista si può ravvisare la possibilità di soddisfare alle esigenze degli indici chimico e microbiologico che assieme all'indice biologico compongono l'indice sintetico in utilizzo presso l'APPA di Trento.

Nel presente caso studio ci si è limitati alla simulazione dell'Ossigeno Disciolto, del BOD e della temperatura per una prima analisi del territorio.

Il modello è applicabile a corsi d'acqua ben miscelati supponendo quindi che i maggiori fenomeni di trasporto avvengano in direzione longitudinale, cioè lungo l'asta del torrente. E' inoltre possibile simulare affluenti puntuali e distribuiti, scarichi inquinanti puntuali e distribuiti lungo l'asta, captazioni puntuali e distribuite. La schematizzazione del tratto di Avisio considerato ha reso necessario la simulazione di scarichi puntuali (depuratori e vasche Imhoff), affluenti puntuali e distribuiti (confluenze, restituzioni e bacini distribuiti longitudinalmente lungo l'asta), captazioni puntuali (opere di derivazione).

Una delle maggiori limitazioni al programma è dovuta alla costanza che devono avere le portate e gli input inquinanti durante il periodo della simulazione, risulta quindi importante la schematizzazione e la media dei periodi "tipici" di un corso d'acqua in cui conta il regime idraulico ma soprattutto la distribuzione temporale degli inquinanti.

Il caso studio, che sarà presentato nelle successive pagine, consiste in una simulazione di tipo stazionario, che permetta una prima verifica della attuale situazione del torrente e la predisposizione di diversi scenari di intervento.

## LA SCELTA DEL PERIODO PER LA SIMULAZIONE E LA SCHEMATIZZAZIONE DELL'ASTA DEL TORRENTE AVISIO (DAL LAGO DI PIAN DELLA FEDAIA A PREDAZZO)

Le variabili che condizionano la qualità del torrente Avisio nel tratto considerato (Lago di Pian della Fedaiia – Predazzo) sono essenzialmente il regime idraulico e la pressione antropica dovuta al turismo.

I picchi annuali di presenze di tipo turistico sono essenzialmente due: quello estivo, con picco di massimo in agosto, e quello invernale, che è distribuito da dicembre a marzo. L'incrocio temporale tra le due variabili considerate con il maggior impatto sulla qualità si verifica nei mesi di gennaio, febbraio e marzo quando, in concomitanza alla massiccia presenza turistica invernale, si verifica la magra del torrente col conseguente minimo di diluizione degli inquinanti (figura 37).

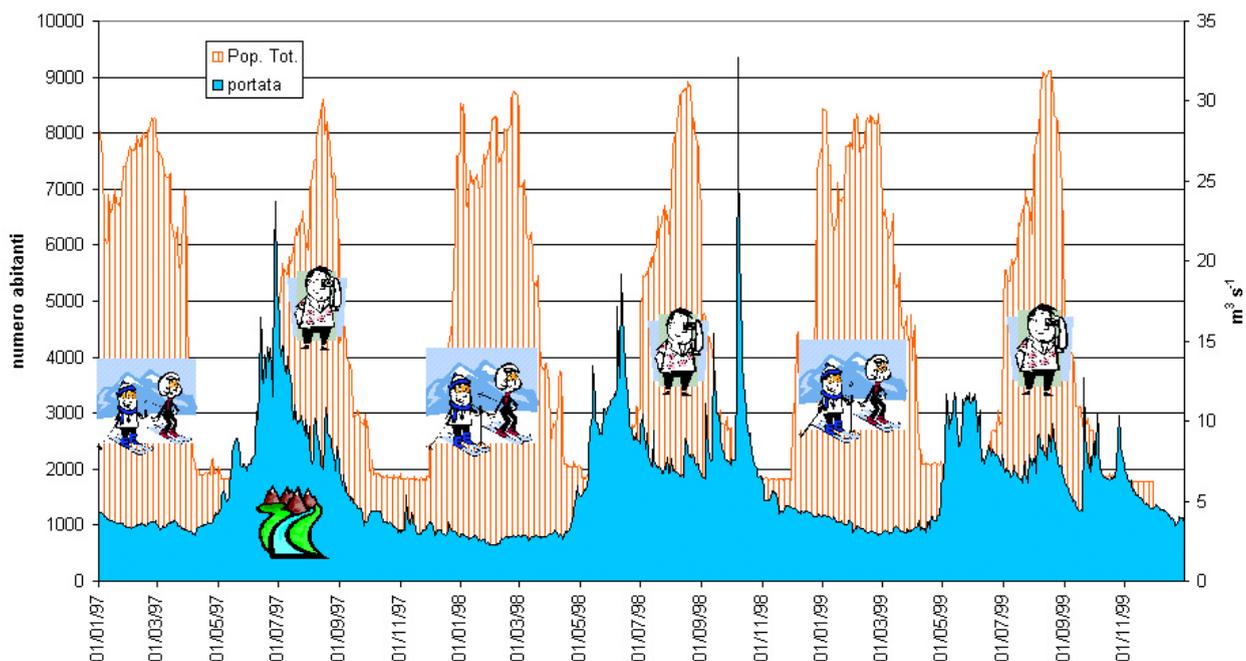


Figura 37. Confronto tra il deflusso misurato a Soraga (in blu) e le presenze nel Comune di Canazei (in arancio) nel triennio 97-99.

Come si è precedentemente affermato, il modello QUAL2EU prevede la stazionarietà delle portate e degli input inquinanti durante il periodo della simulazione. Considerando la scala temporale di progetto del sistema AQUARIUM nel suo insieme e constatando la variabilità giornaliera di alcuni parametri in gioco (lo scarico di una Imhoff ad esempio subisce delle oscillazioni quantitative e qualitative durante l'arco della giornata) si è ritenuto appropriato l'utilizzo di una scala temporale mensile. Tale scelta è stata vincolata in primis dall'impossibilità di avere tutti i dati di input con una cadenza temporale inferiore alla settimana (Tabella 7), e quindi

dalle finalità di una simulazione modellistica che non prevede risultati esatti ma confronto di scenari.

*Tabella 7. Scala temporale dei dati a disposizione per la Val di Fassa.*

<b>Dati</b>	<b>Scala temporale</b>
Portate Avisio	<b>Giornaliera</b>
Imhoff	<b>Stimata</b>
Depuratori	<b>Settimanale</b>
Derivazioni	<b>Giornaliera</b>
Presenze alberghiere	<b>Giornaliera</b>
Presenze extra-alberghiere	<b>Mensile</b>
Monitoraggi	<b>Settimanale</b>
Sonde	<b>Oraria</b>

La scelta del periodo per la simulazione è ricaduta sui tre mesi gennaio febbraio marzo avendo riscontrato una discreta omogeneità dei dati di portata e di presenze turistiche per questo periodo nel corso degli anni novanta.

Purtroppo i tempi per la realizzazione del caso studio non permettono, al momento, l'utilizzo di dati provenienti da uno stesso anno. I dati di monitoraggio, infatti, riguardano il 2000, mentre le informazioni fornite dagli enti competenti si riferiscono al 1999. Quando sarà disponibile l'aggiornamento per il 2000 di tali dati questa discrepanza potrà essere risolta.

Come tutti i programmi di simulazione QUAL2EU necessita di una schematizzazione funzionale dell'asta fluviale che permetta al programma l'integrazione tramite elementi computazionali. Tale elaborazione deve essere frutto di un modello concettuale quanto più dettagliato, in grado di rappresentare, o quantomeno rilevare, tutti i fenomeni che concorrono a modificare l'equilibrio di un ambiente.

Per la schematizzazione si è utilizzata l'interfaccia ArcView del sistema AQUARIUM (figura 38), che ha permesso un veloce calcolo delle distanze e della localizzazione dei diversi input puntuali. Tale discretizzazione ha previsto una suddivisione in due del tratto considerato, in quanto il serbatoio di Pezzè di Moena rappresenta una discontinuità sia per la qualità, non sono noti i fenomeni biochimici che avvengono all'interno del corpo idrico, che per la quantità, nel tratto immediatamente a valle dello sbarramento l'Avisio presenta tratti completamente privi di acqua.

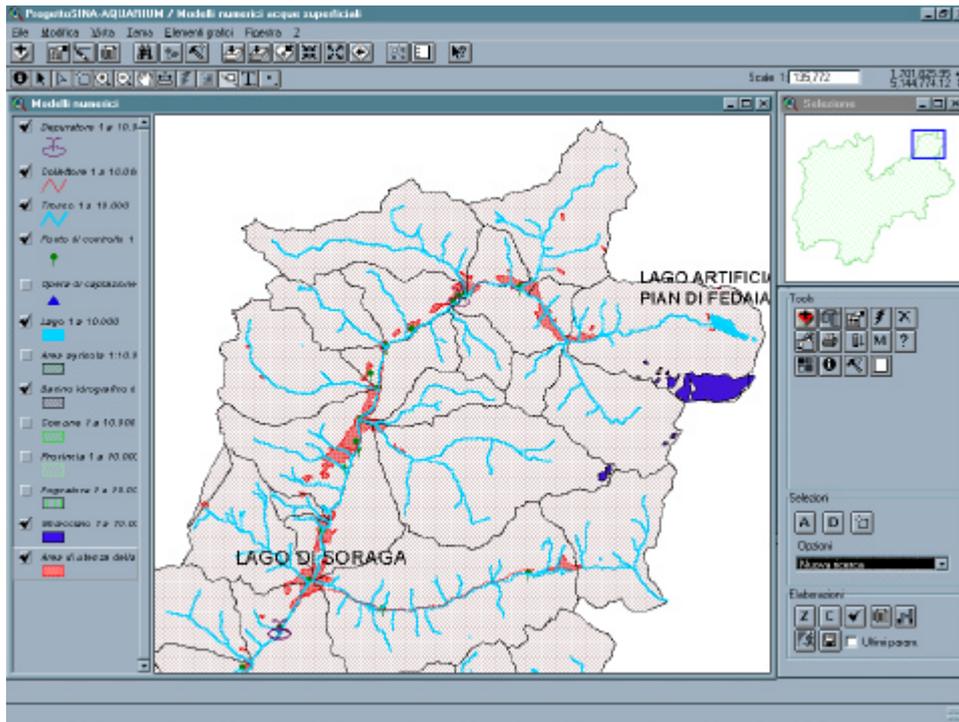


Figura 38. Visualizzazione dell'area di interesse.

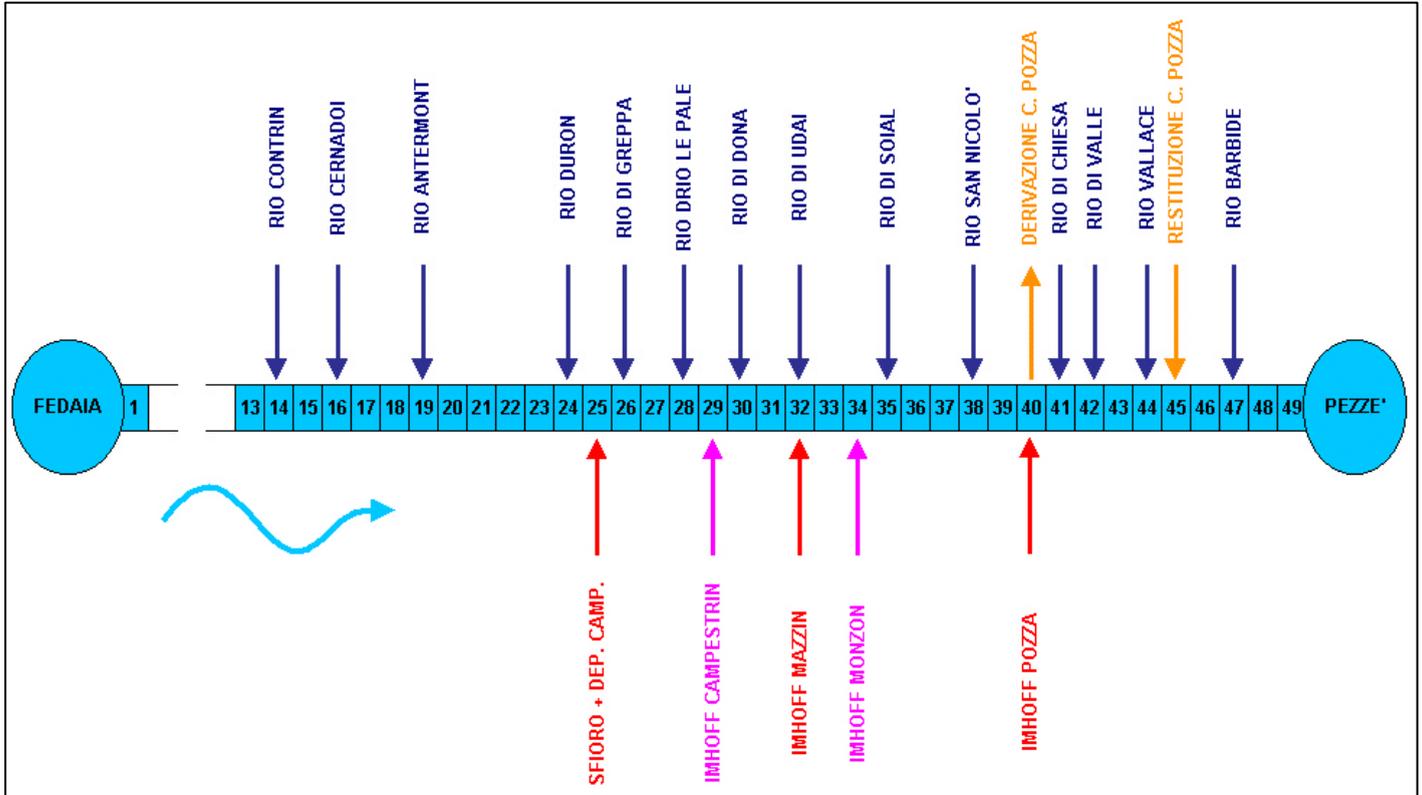


Figura 39. Modello concettuale del tratto superiore del torrente Avisio ricavato dalle informazioni contenute in AQUARIUM. Ogni tratto rappresenta un "reach".

La schematizzazione prevede la definizione di “reach” e di “element” (Figura 39). Il “reach” rappresenta un tratto di asta fluviale con caratteristiche omogenee, ogni “reach” è composto da un determinato numero di “element” che rappresentano gli elementi computazionali. Nella schematizzazione si sono utilizzati quanti più “element” possibili per ottenere una migliore precisione. Il caso studio ha permesso di utilizzare “element” di 50 m e “reach” composti da 10 “element”. Questo significa che un input di inquinante puntuale, ad esempio, scarica “puntualmente” su 50 m di torrente (non si possono distinguere due input che distano meno di 50 m) e che il dettaglio massimo per la descrizione geometrica e delle caratteristiche idrauliche dell’asta è di 500 m (scabrezza, pendenza, etc.). Tale precisione è comunque sufficiente per permettere uno studio dettagliato dei fenomeni che avvengono nel torrente.

## **GLI INPUT QUALITATIVI PER IL PROGRAMMA: STIMA, AFFIDABILITA' E CONSIDERAZIONI GENERALI**

Essendo QUAL2EU un programma di stima della qualità, esso si rivela esigente per quanto riguarda il dettaglio degli input la cui precisione è determinata dall' "element" (elemento computazionale che misura nella realtà 50 m).

### **Aspetti idraulici**

Per quanto riguarda la descrizione dei fenomeni idraulici, il programma offre la possibilità di schematizzare il deflusso tramite la scala delle portate oppure supponendo sezioni trapezoidali. È stata scelta la seconda possibilità, essendo la conoscenza della scala delle portate limitata ad un solo punto (Soraga) e conoscendo invece in maniera dettagliata le sezioni e i coefficienti di scabrezza per 20 km a valle dei principali sbarramenti (per gentile concessione dell'Autorità di Bacino). Il range di variazione della scabrezza secondo Manning varia da 0.034 a 0.044 ( $s \cdot m^{-1/3}$ ).

La costante di dispersione longitudinale è stata determinata adimensionalizzando il coefficiente di dispersione  $D_L$  ottenuto mediante la formula di Fischer:

$$D_L = 0.011 \cdot \frac{U^2 \cdot b^2}{u^* \cdot \frac{A}{b}}$$

dove  $U$  velocità media della corrente,  $b$  larghezza della sezione,  $u^*$  velocità d'attrito,  $A$  area della sezione bagnata.

Il range di variazione della costante di dispersione, ottenuta dividendo il coefficiente  $D_L$  per la velocità d'attrito e il tirante, lungo il tratto considerato varia da 7 a 284.

### **I depuratori**

I principali inquinanti puntuali che vengono sversati in alveo nel tratto considerato provengono da depuratori, vasche Imhoff e collettori; non sono stati considerati rilevanti gli inquinamenti diffusi visto che allevamento e agricoltura rivestono un ruolo secondario nella valle.

I depuratori che insistono sul tratto interessato dalla nostra indagine sono i depuratori biologici di Campitello e Moena, un terzo è in fase di realizzazione presso il Comune di Pozza.

<b>Depuratore Biologico</b>	Campitello	Moena
Autorizzazione	24-03-98	02-04-98
Potenzialità (Ab. Eq).	30000	17000

I dati relativi ai depuratori (per gentile concessione del SOIS) hanno cadenza settimanale. Nelle tabelle 8 e 9 sono riportati, relativamente al periodo gennaio febbraio marzo 1999, dati riguardanti: la portata istantanea e la portata media giornaliera, la temperatura del liquame in ingresso e ed in uscita al depuratore, l'ossigeno disciolto in uscita dal depuratore, il BOD5 in ingresso ed in uscita. Il dato relativo al BOD5 è un dato medio giornaliero stimato con un campionatore che effettua, durante le 24 ore, prelievi orari.

Tabella 8. Elaborazioni dei dati settimanali del depuratore di Moena per i mesi gennaio-febbraio-marzo 1999.

<b>MOENA</b>	<b>Q ist</b>	<b>Q med</b>	<b>T in</b>	<b>T out</b>	<b>Oss disciolto</b>	<b>BOD5 in</b>	<b>BOD5 out</b>
	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	°C	°C	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>
MAX	338	203	7.6	9.2	9.8	495	29
MIN	139	142	5.1	5.9	6.1	179	6
<b>MEDIA</b>	<b>216.6</b>	<b>162.5</b>	<b>6.6</b>	<b>7.1</b>	<b>7.8</b>	<b>276.7</b>	<b>13.1</b>
DEVST	70.7	17.1	0.7	0.8	1.1	77.3	6.5
Abbattimento medio BOD5 95.26%							

Tabella 9. Elaborazioni dei dati settimanali del depuratore di Campitello per i mesi gennaio-febbraio-marzo 1999.

<b>CAMPITELLO</b>	<b>Q ist</b>	<b>Q med</b>	<b>T in</b>	<b>T out</b>	<b>Oss disciolto</b>	<b>BOD5 in</b>	<b>BOD5 out</b>
	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	°C	°C	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>	mg l <sup>-1</sup>
MAX	218	164	12.2	12	8.8	538	20
MIN	131	140	8.6	8.3	6	305	6
<b>MEDIA</b>	<b>158.5</b>	<b>153.8</b>	<b>11</b>	<b>10.8</b>	<b>7.8</b>	<b>374.8</b>	<b>12.3</b>
DEVST	22.8	8.4	1.1	1	0.9	68.5	4.8
Abbattimento medio BOD5 96.72%							

I due depuratori forniscono una resa di abbattimento accettabile secondo gli standard in vigore. Gli scarichi avvengono sempre tramite una condotta in cemento su sponda, senza alcun diffusore.

Il depuratore di Campitello presenta, nei periodi di massima pressione dovuta la turismo, difficoltà nello smaltire sia il sovraccarico idraulico che di carico organico (in questi periodi si rileva anche un aumento delle concentrazioni). Vi è quindi la presenza di uno scolmatore che sversa il liquame in eccesso direttamente in alveo. Tale svaso non è trascurabile. Per lo stesso periodo ne è stata quantificata la portata (per concessione del SOIS) che ha permesso, utilizzando la concentrazione di BOD5 medio in ingresso al depuratore di Campitello, di determinare il carico che insiste sul torrente.

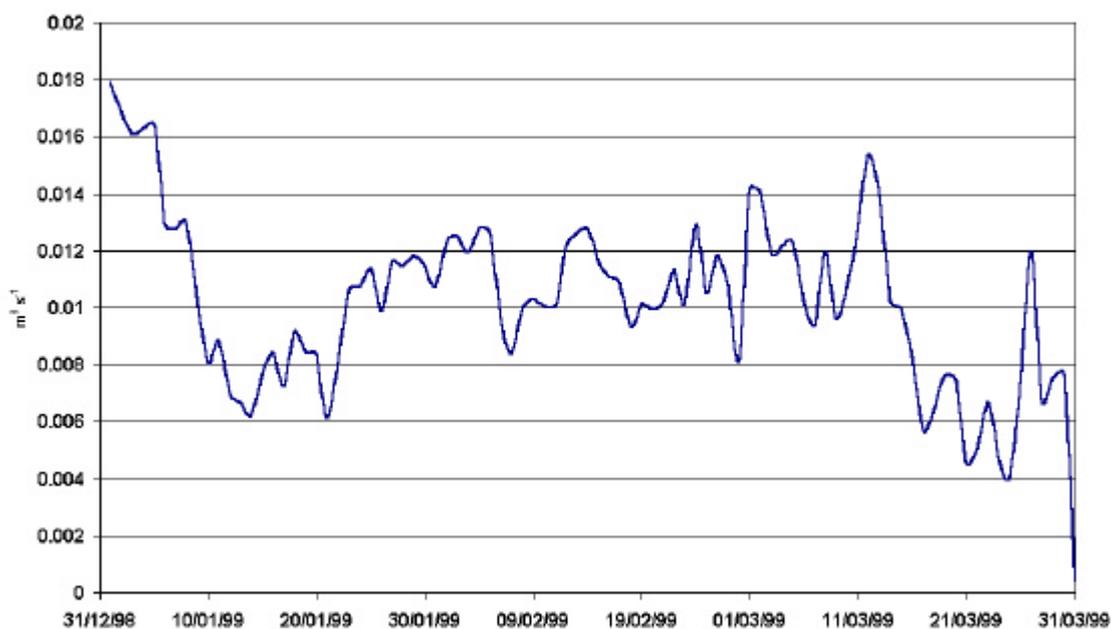


Figura 40. Portate sfiorate presso il depuratore di Campitello nei mesi gennaio-febbraio-marzo 1999.

La portata media sfiorata per i tre mesi considerati risulta essere di  $0.0102 \text{ m}^3/\text{s}$ , il carico medio di BOD5 sversato risulta quindi pari a  $3.825 \text{ g/s}$ . Considerato che il carico medio in uscita dal depuratore risulta di  $0.526 \text{ g/s}$ , è comprensibile come questo sfioro possa compromettere, nei periodi di massima pressione antropica, l'azione del depuratore.

### **Altre sorgenti di inquinamento puntuale**

Un ruolo importante nell'apporto di inquinante di tipo puntuale è giocato dalle vasche Imhoff. Tali vasche sono spesso state utilizzate in passato al servizio di piccole comunità (sul migliaio di abitanti) in quanto permettevano una discreta depurazione senza la necessità di una conduzione specializzata e con investimenti quindi limitati. Le Imhoff permettono la decantazione per gravitazione dei fanghi e la loro digestione anaerobica. Questo processo, che avviene spontaneamente grazie alla disposizione degli spazi all'interno delle vasche, necessita comunque di uno svuotamento regolare dei fanghi processati per ottimizzarne il funzionamento (sono raggiungibili abbattimenti di BOD5 attorno al 20%).

La situazione delle Imhoff in Val di Fassa presenta carenze per quanto riguarda l'aspetto della manutenzione, con la conseguente diminuzione della capacità di abbattimento. Nella simulazione abbiamo supposto vasche Imhoff caratterizzate quindi da abbattimento trascurabile. Tale conclusione è supportata dall'osservazione diretta degli scarichi che presentano materiale grossolano che non dovrebbe essere presente durante un corretto funzionamento del sistema.

Una volta localizzate le vasche e verificata sul territorio la loro attività, si è resa necessaria una stima dei carichi prodotti. Non avendo a disposizione misure dirette si è optato per una stima che andasse a considerare la popolazione presente nella valle nei diversi periodi dell'anno.

I dati a disposizione per tale stima sono quelli forniti dal Servizio Statistica e riguardano:

- Il numero dei residenti;
- Il numero delle presenze alberghiere (aggregazione giornaliera);
- Il numero delle presenze extra-alberghiere (aggregazione mensile).

La stima delle presenze viene effettuata tramite metodi di monitoraggio standard le cui metodologie possono essere approfondite presso il sito:

[www.provincia.tn.it/Statistica/Pubblicazioni/AnnTur1998/Premessa.htm](http://www.provincia.tn.it/Statistica/Pubblicazioni/AnnTur1998/Premessa.htm).

La scala temporale scelta per questo caso studio è quella mensile, si è utilizzata la media del “giorno medio mensile” dei tre mesi gennaio-febbraio-marzo 1999. Per “giorno medio mensile” si intende la somma:

$$pop. \text{ residente '98} + \frac{\sum_i \left( \text{presenze alberghiere} \right)_i}{\sum_i} + \frac{\text{presenze extralberghiere}}{\sum_i}$$

dove  $i$  = giorni nel mese

Tale dato, considerando una produzione media giornaliera per abitante equivalente di 60 g di BOD5, dovrebbe fornire il carico prodotto dalla popolazione presente sul territorio. Si è però resa necessaria una verifica del dato. Il carico prodotto dalla popolazione presente nella valle è stato comparato con il carico misurato in ingresso ai depuratori. Per questo confronto, avendo a disposizione il giorno esatto del prelievo presso il depuratore, si è utilizzata una stima più precisa della popolazione, in particolare rispetto al caso precedente si è utilizzata l'aggregazione giornaliera del dato alberghiero. La formula utilizzata per la stima degli abitanti risulta quindi:

$$pop. \text{ residente '98} + \left( \text{presenze alberghiere} \right)_i + \frac{\text{presenze extralberghiere}}{\sum_i}$$

dove  $i$  = giorni nel mese

Tale formula permette di tenere maggiormente in considerazione possibili scostamenti dai valori medi determinati con il “giorno medio mensile”, ed è stata utilizzata solo per il suddetto confronto.

I grafici presentati qui di seguito, mostrano due curve:

- la curva ottenuta interpolando i carichi misurati settimanalmente in ingresso ai depuratori di Campitello e Moena nel 1999<sup>1</sup> (colore blu continua);
- la curva ottenuta moltiplicando la stima della somma della popolazione residente, alberghiera ed extralberghiera nel giorno del prelievo moltiplicata per una produzione media di BOD5 pari a 60 g ab<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> (colore rosso tratteggiata).

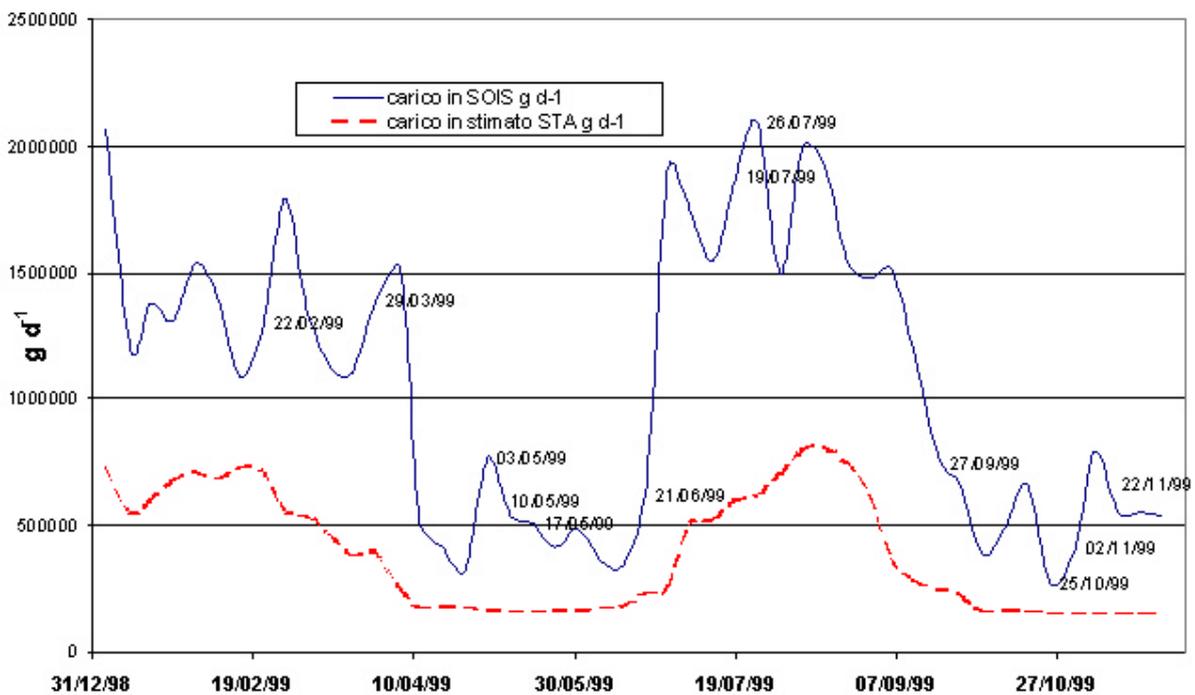


Figura 41. Confronto tra il carico misurato in ingresso al depuratore di Campitello e quello stimato.

<sup>1</sup> Misure campionate sulle 24 ore.

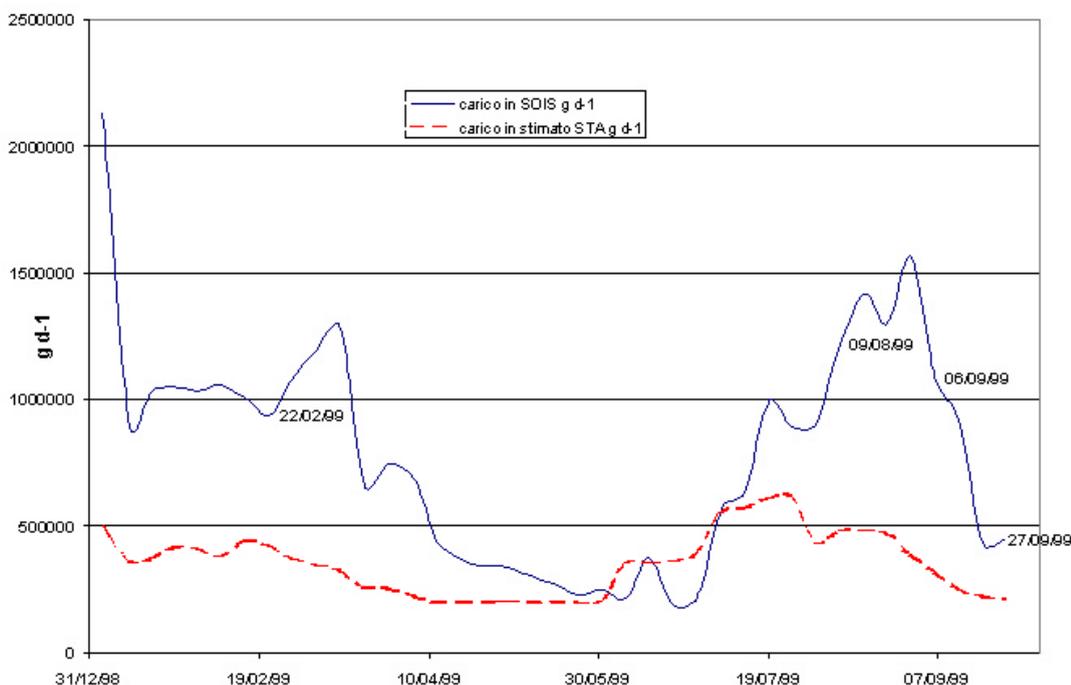


Figura 42. Confronto tra il carico misurato in ingresso al depuratore di Moena e quello stimato.

I grafici mostrano un certo scostamento delle stime che si manifesta in modo più incisivo nei periodi di picco delle presenze, sintomo che i metodi statistici di censimento non colgono a pieno i movimenti turistici.

Per una migliore stima degli scarichi non monitorati (in particolare delle vasche Imhoff) si è quindi deciso di calcolare un coefficiente, rapporto tra il carico stimato tramite censimento della popolazione e i carichi in ingresso ai depuratori. Questo coefficiente permetterà di cogliere in modo più corretto l'andamento degli scarichi una volta conosciuta la popolazione servita nel periodo d'interesse.

Considerando il periodo temporale scelto, si è deciso di costruire un coefficiente basato sui tre mesi gennaio-febbraio-marzo 1999 in maniera separata per i due depuratori.

Valori del coefficiente per i mesi gennaio-febbraio-marzo 1999		
località	coefficiente	popolazione giornaliera media servita
CAMPITELLO	<b>2.34</b>	9861
MOENA	<b>2.9</b>	6220

Sono state quindi estrapolate la media semplice e la media pesata sul numero di abitanti medi serviti giornalmente.

Media semplice	Media pesata
2.62	2.56

Si è deciso di adottare un coefficiente pari a  $2.5^2$  per la stima dei carichi inquinanti di origine civile insistenti sull'Avisio, ad esclusione dei depuratori. Quindi, per gli scarichi non monitorati, si calcola:

$$carico_j = pop_j \cdot 60 \cdot 2.5$$

dove j = Comuni serviti

E' necessario trattare a parte anche il concetto di concentrazione del BOD5 nel liquame prodotto. Questo valore, oltre a essere mutevole nel corso della giornata e dei periodi dell'anno, è sicuramente caratteristico delle utenze servite, sia per quanto riguarda abitudini che per la tipologia di fognatura in servizio.

Come si è visto in precedenza (tabelle 8 e 9), gli ingressi ai due depuratori presentano concentrazione medie differenti:

BOD5 in ingresso	Campitello	Moena
mg l-1	374.8	276.7

Si è quindi deciso di utilizzare le due diverse concentrazioni supponendo che la variabile più importante per la differenziazione fosse il tipo di turismo presente: la zona di Campitello e Canazei sono quindi caratterizzate da una maggiore concentrazione di BOD5, dovuta al tipo di turismo "mordi e fuggi"; la concentrazione riscontrata a Moena è stata invece ritenuta propria di presenze legate in modo più deciso ai pernottamenti.

Nell'ipotesi di caratterizzare le due zone con i valori dei due liquami in ingresso ai due depuratori si sono considerati anche per gli altri scarichi puntuali (Imhoff e sfiori), i valori di ossigeno disciolto e temperatura tipici dei due depuratori.

---

<sup>2</sup> Chiameremo tale coefficiente "coefficiente MS", carico Misurato/carico Stimato.

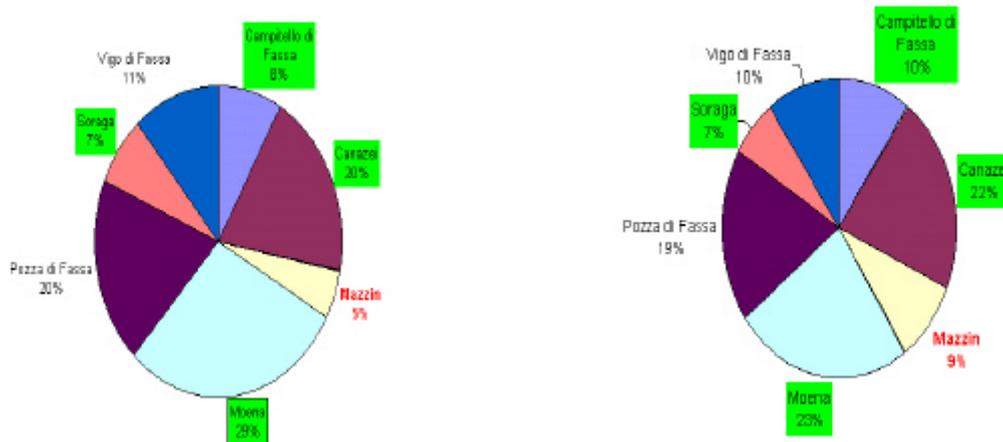


Figura 43. I due diagrammi a torta mostrano le relative distribuzioni della popolazione nei casi di popolazione residente 98 (sinistra) e massima pressione antropica degli anni 1997-98-99 (destra). In verde sono evidenziate le utenze servite da depuratore biologico. Notare come l'incremento di presenze avvenga nei Comuni appartenenti alla parte alta del bacino (Campitello, Canazei, Mazzin). Tale analisi conferma la tendenza a due tipi di turismo nella valle che giustifica così la scelta di due diversi tipi di concentrazioni del liquame. Mazzin, uno dei Comuni non serviti da biologico, mostra il maggior incremento proporzionale.

### Carico antropico giornaliero medio dei mesi caratterizzati da maggior pressione

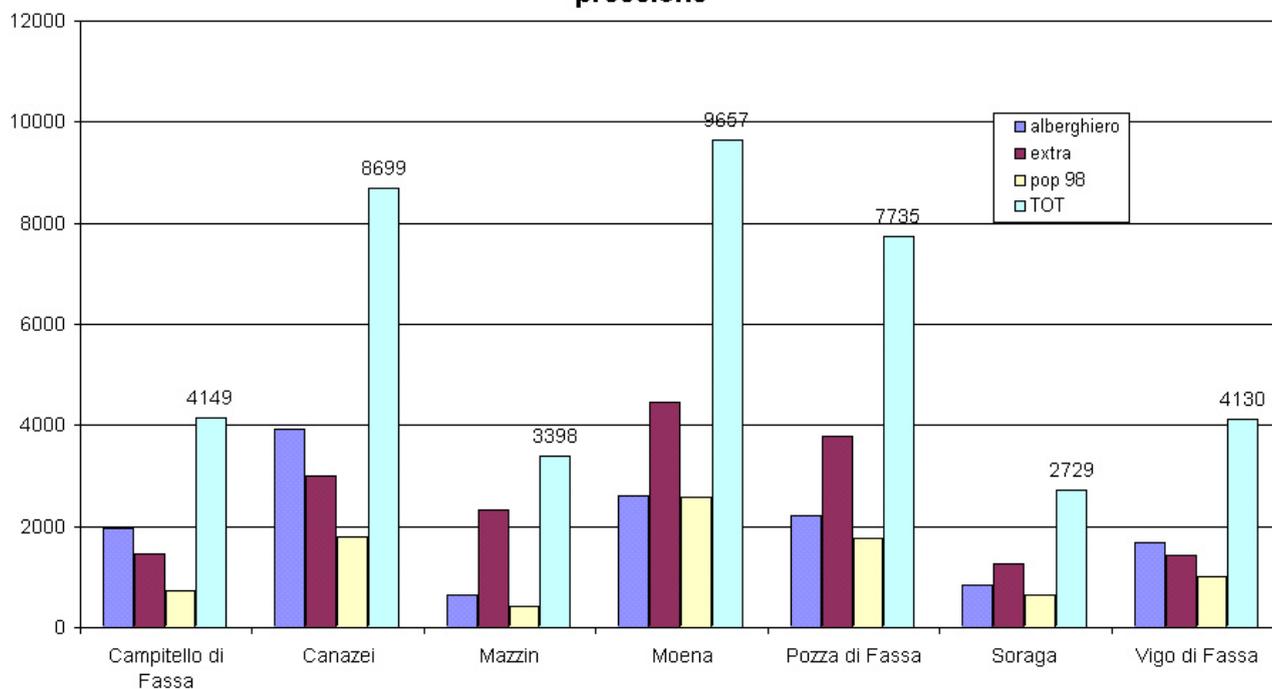


Figura 44. L'istogramma quantifica, Comune per Comune, il giorno medio del mese caratterizzato da maggior pressione antropica negli anni 1997-1998-1999 (non vi è coerenza temporale tra i dati relativi ai Comuni).

## Le cinetiche di consumo dell'ossigeno e di ossigenazione

Come è stato anticipato, il caso studio costruito in Val di Fassa ha sviluppato le dinamiche relative a BOD, ossigeno disciolto e temperatura.

Il programma consente di simulare il consumo di ossigeno dovuto alle sostanze in sospensione e a quelle contenute nei sedimenti. Considerando il regime idraulico e lo stato del greto del torrente si è supposto di poter trascurare il consumo di ossigeno dovuto ai sedimenti e ci si è invece dedicati alla determinazione delle cinetiche del materiale in sospensione. Il programma utilizza cinetiche del primo ordine:

$$\frac{\partial L}{\partial t} = -K_1(T) \cdot L$$

dove:

$L$  = concentrazione ultima di BOD,  $\text{mg l}^{-1}$ ;

$K_1$  = coefficiente di deossigenazione, temperatura dipendente,  $\text{d}^{-1}$ .

Il coefficiente  $K_1$  a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  è stato determinato in laboratorio fornendo un valore pari a circa  $0.6\text{ d}^{-1}$ . Non avendo però utilizzato una procedura standard e necessitando tale valore di maggiori conferme, si preferisce utilizzare il valore  $0.3\text{ d}^{-1}$  in accordo con i dati reperiti in letteratura a riguardo (**Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling, EPA, 1985**). L'equazione che relaziona la costante cinetica con la temperatura è la seguente:

$$K_T = K_1(20^\circ) \cdot \Theta^{(T-20^\circ)}$$

$\Theta$  è un valore facilmente reperibile in letteratura, nel caso in esame si è utilizzato il valore di default del programma pari a  $1.047\text{ d}^{-1}$ .

Il programma, che svolge i calcoli basandosi sul BOD ultimo, offre la possibilità di convertire direttamente tale valori nel valore BOD5. La conversione avviene per mezzo di un parametro (KBOD) che regola l'equazione:

$$BOD_5 = BOD_u \cdot (1 - e^{-5 \cdot KBOD})$$

Il valore utilizzato è lo stesso determinato in precedenza.

Questa opzione, attivabile nella schermata “Water Quality Simulation”, permette all’utente di lavorare sempre in termini di BOD5.

Il coefficiente di ossigenazione è stato assegnato di volta in volta, considerando i dati ottenuti tramite il monitoraggio in sito; anche in questo caso si tratta di una cinetica del primo ordine il cui parametro  $K_2$  però, a differenza del caso del consumo di ossigeno, è stato tarato a posteriori. Il range di variazione di  $K_2$  nel caso studio è 0.3-0.5 d<sup>-1</sup>.

La simulazione della temperatura è principalmente legata allo scambio termico torrente-ambiente esterno. Contano quindi le caratteristiche geografiche e climatologiche: ad esempio il programma risale all’irraggiamento tramite la posizione assegnata per mezzo di coordinate. (per maggiori informazioni si rimanda alla documentazione del corso SINA del settembre 1999).

## GLI INPUT QUANTITATIVI, LA RELAZIONE CON IL MODELLO DI DEFLUSSO MODIDR

Gli input quantitativi concernenti le portate dell'Avisio e dei suoi affluenti sono state determinate sfruttando la compatibilità di QUAL2EU con il modello di deflusso a scala di bacino MODIDR. MODIDR fornisce l'andamento del deflusso giornaliero rispetto ad una qualsiasi sezione di chiusura del bacino dove è avvenuta la taratura. Il dato quantitativo necessario per il caso studio è un valore medio dei tre mesi gennaio-febbraio-marzo 1999. Tale scala temporale è giustificata dall'incrocio tra periodo di magra, chiaramente identificabile nei diagrammi di deflusso, e il periodo di massima presenza antropica invernale.

Nella maggior parte dei casi i sottobacini si chiudono in maniera definita indicando l'affluente di drenaggio tra quelli schematizzati in QUAL2EU. In alcuni casi, quando il sottobacino si sviluppa longitudinalmente lungo l'asta fluviale e presenta solitamente forti pendenze e un'estensione limitata, i drenaggi individuati non sono schematizzati nel programma di qualità in maniera puntuale. Questo tipo di input influisce poco alla luce del periodo scelto per la simulazione, infatti si tratta di un periodo poco piovoso in cui lo scorrimento superficiale direttamente in alveo assume un'importanza marginale per l'incremento della portata, si è comunque deciso di introdurre il dato nella simulazione attraverso una schematizzazione di input distribuito.

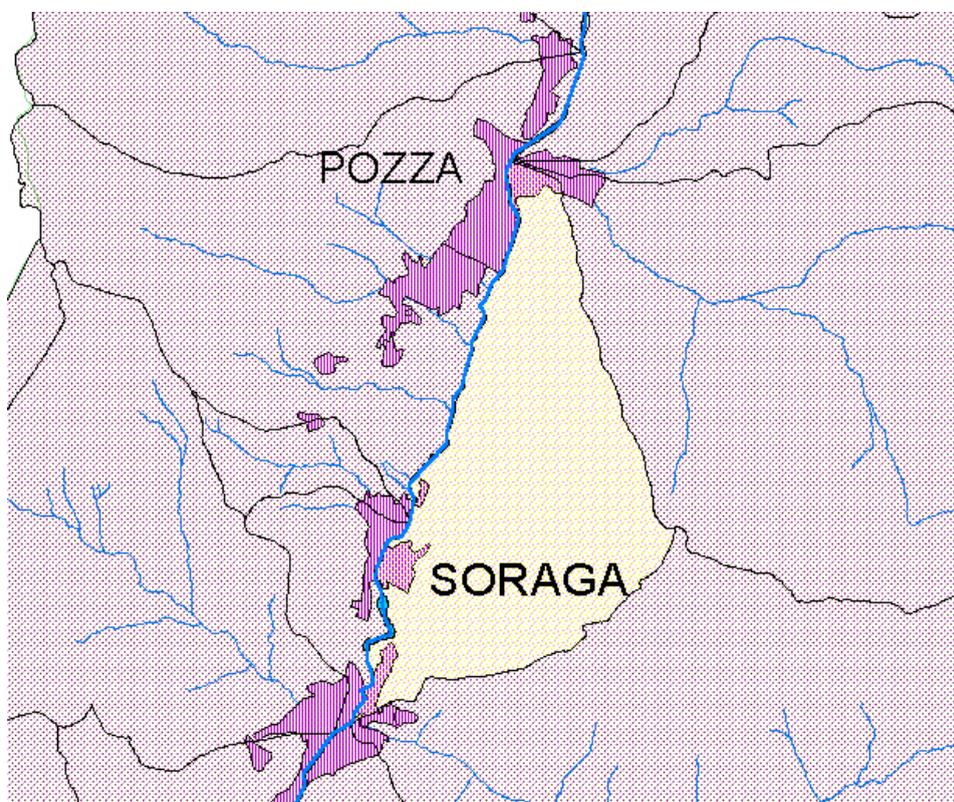


Figura 45. Il bacino evidenziato in giallo non presenta corsi d'acqua significativi al suo interno, il suo drenaggio è stato rappresentato in QUAL2EU come un input di portata distribuito.

## I DATI NECESSARI PER LA TARATURA DI QUAL2EU

Per una verifica delle simulazioni effettuate dal programma e per un confronto degli output, che permetta una taratura dei parametri, si rendono necessari dati rilevati in sito. Nello svolgimento del caso studio in Val di Fassa, principalmente tre sono state le modalità per il reperimento dei dati:

1. campagna di monitoraggio ad hoc sviluppata grazie all'appoggio dell'APPA nel periodo gennaio-febbraio-marzo 2000;
2. posizionamento di due sonde ad immersione per la determinazione in continuo dei dati;
3. riferimento ai monitoraggi precedentemente effettuati dall'APPA negli anni 1998, 1999 sui corsi d'acqua principali e secondari.

### **Campagna di monitoraggio**

La campagna di monitoraggio si è sviluppata con cadenza settimanale nel periodo d'interesse.

I punti interessati sono stati:

- P.1 torrente Avisio, a monte dello stadio del ghiaccio di Alba di Canazei, Comune di Canazei;
- P.2 torrente Avisio, a valle della confluenza del rio Udai, Comune di Mazzin;
- P.3 rio San Pellegrino, subito a monte della confluenza col torrente Avisio, Comune di Moena;
- P.4 torrente Avisio, a monte del ponte Stalimen, a fianco dei trampolini di salto con gli sci di Predazzo, Comune di Predazzo;
- P.5 torrente Avisio, circa 200 metri a valle della restituzione della Centrale Idroelettrica di Predazzo, Comune di Predazzo

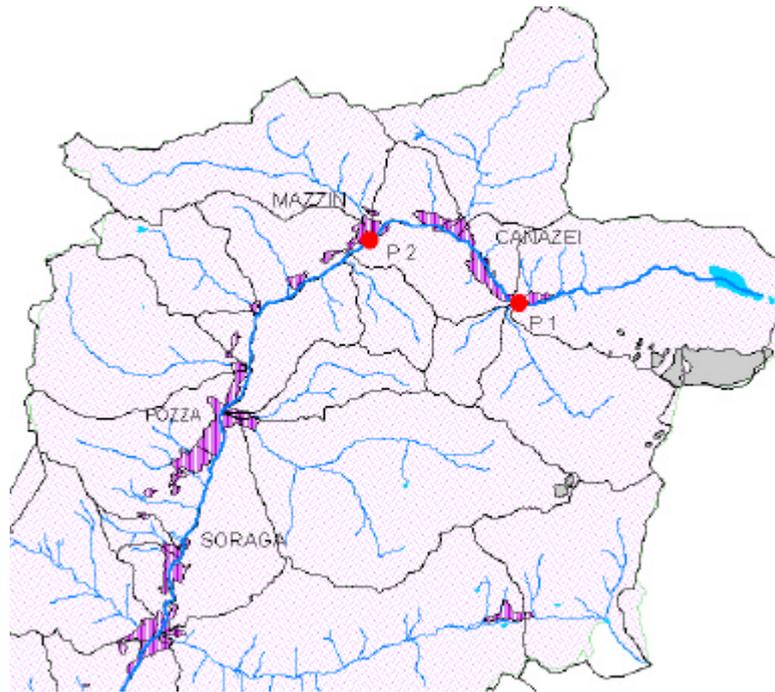


Figura 46. In rosso sono rappresentati i due punti del torrente Avisio monitorati nella parte alta del torrente.

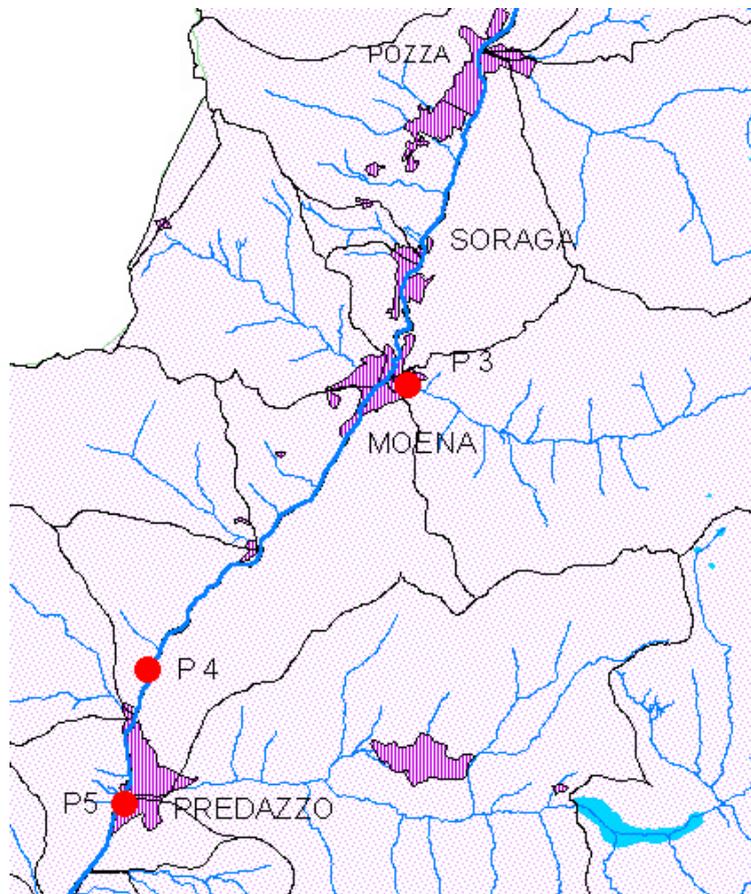


Figura 47. In rosso sono localizzati i punti di monitoraggio relativi alla parte bassa del corso d'acqua.

Alcuni campionamenti saltuari sono stati inoltre effettuati sull'Avisio presso la sezione di misura del deflusso di Soraga, appena a monte della confluenza del Rio San Pellegrino, sul rio di Soial e sul Rio di Valle.

I parametri rilevati in sito sono stati:

- Ossigeno disciolto;
- Percentuale di ossigeno rispetto alla saturazione;
- Temperatura.

L'unico parametro rilevato in laboratorio è stato il BOD5.

Lo strumento utilizzato per la determinazione dei parametri in sito è l'ossimetro portatile COM 381 della Endress+Hauser le cui caratteristiche salienti sono:

Metodo per la calibrazione	In aria
Range della pendenza	0.6 – 1.2
<b>Concentrazione ossigeno disciolto</b>	
Range	0.00 – 19.99 mg l <sup>-1</sup>
Precisione	± 0.5 del valore misurato
	± 1 cifra a temperature comprese tra 5 °C e 30 °C
Risoluzione	0.01 mg l <sup>-1</sup>
<b>Temperatura</b>	
Range	Da -5 a 50.0 °C
Precisione	0.1 K ± 1 cifra a temperature comprese tra -10 °C e 55 °C
Risoluzione	0.1 K

Tale strumento è stato utilizzato secondo manuale. L'incertezza nel determinare la concentrazione di ossigeno disciolto risulta comunque più elevata rispetto a quanto dichiarato. Il problemi sono legati all'ossidazione delle superfici degli elettrodi, all'usurarsi della membrana contenente l'elettrolita, alle basse temperature di utilizzo e al fatto che la misura risente in modo marcato delle condizioni locali.

## Sonde ad immersione

Questo tipo di misura ha la caratteristica della continuità rispetto al tempo.

Le due sonde sono state posizionate al punto 1 ed al punto 4 della campagna di monitoraggio.



*Figura 48. Punto 1, sezione dove è stata posizionata la sonda multiparametrica Grant.*



*Figura 49. Punto 4, sezione dove è stata posizionata la sonda Hydrolab presso la località trampolini a monte di Predazzo.*

I parametri rilevati nel periodo di interesse sono stati:

- temperatura;
- ossigeno disciolto;
- percentuale di saturazione dell'ossigeno;
- profondità;
- conducibilità;
- torbidità;
- PH

Al punto 1 è stata utilizzata la sonda 3800 water quality logger prodotta da Grant Instruments. Tale sistema è composto da un data logger collegato in maniera permanente al corpo sonda. Per migliorare la sicurezza nella procedura di acquisizione dati si è optato per uno scaricamento dei dati dal data logger tramite portatile con cadenza settimanale. Le batterie sono state cambiate due volte nei tre mesi di attività

Tale sonda è stata posizionata all'inizio del tratto interessato per consentire l'acquisizione delle condizioni al contorno di monte per il modello. I problemi relativi a questa sonda sono stati: un periodo di colonizzazione da parte di macroinvertebrati che hanno inficiato le misure di torbidità, la perdita di una settimana di dati dovuta allo scaricamento delle batterie e l'indeterminazione dei dati relativi all'ossigeno disciolto delle ultime due settimane di funzionamento dovuta all'ossidazione degli elettrodi causata dalla lunga permanenza in acqua.

Caratteristiche tecniche della sonda Grant 3800 per i parametri di diretto interesse per il caso studio	
<b>Rilevamento orario dei dati</b>	
<b>Pressione atmosferica</b>	
Range	Da 50 a 110 kPa
Precisione	$\pm 0.5\%$ su tutta la scala a 25 °C $\pm 2\%$ su tutta la scala da 5 a 45 °C
Risoluzione	0.1 kPa
<b>Ossigeno disciolto</b>	
Range	Da 0 a 20 mg l <sup>-1</sup>
Precisione	Il valore maggiore tra il $\pm 2\%$ sulla lettura o $\pm 0.2$ mg l <sup>-1</sup>
Risoluzione	10 µg l <sup>-1</sup>
<b>Temperatura</b>	
Range	Da -5 a 50 °C
Precisione	$\pm 0.4$ °C
Risoluzione	0.1 °C

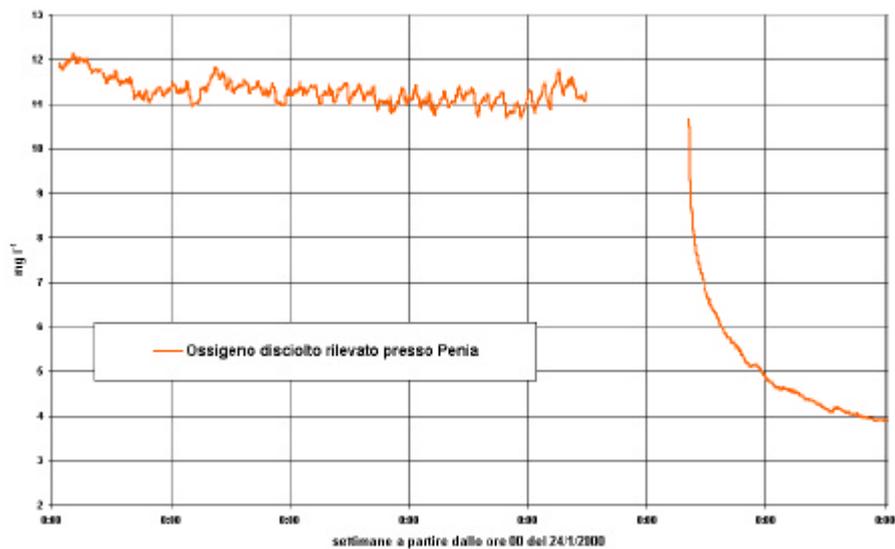


Figura 50. Grafico riportante l'andamento dell'ossigeno disciolto misurato dalla sonda al punto 1.

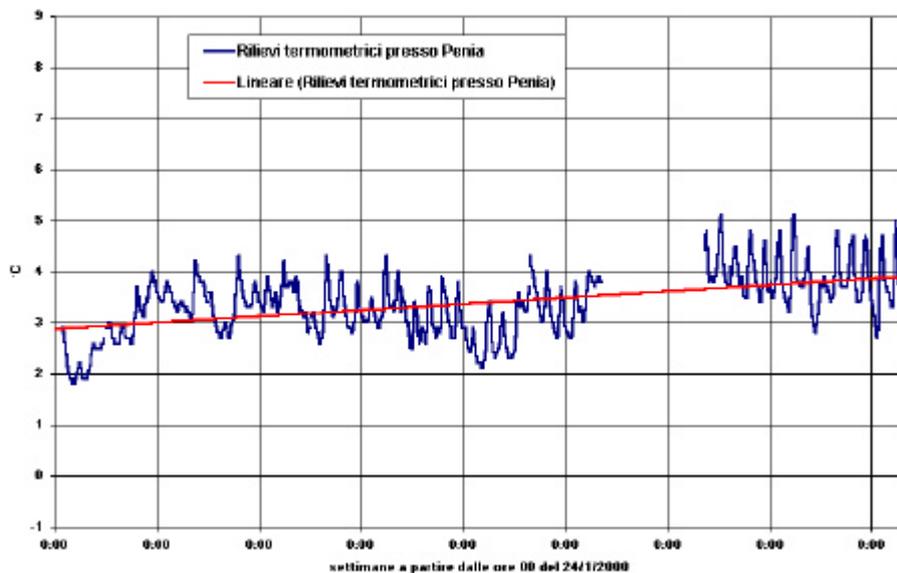


Figura 51. Grafico riportante l'andamento delle temperature misurate dalla sonda al punto 1.

Al punto 4 è stata utilizzata la Sonda Multiparametrica Hydrolab, Modello Datasonde 4a. Il sistema è composto unicamente dalla sonda vera e propria che è quindi in grado di immagazzinare dati. Anche in questo caso la procedura di scaricamento dei dati si è svolta settimanalmente per ovviare a problemi di perdita di dati. La procedura avviene con l'utilizzo di un cavo connesso di volta in volta per permettere la trasmissione di dati dalla sonda ad un portatile.

Il posizionamento verso la fine del tratto in esame è stato determinato dalla necessità di conoscere condizioni al contorno di valle per il modello. La sonda Hydrolab ha mostrato particolari

problemi di scaricamento dei dati a causa di un software poco chiaro ed impreciso, sono inoltre andati persi i dati relativi all'ossigeno disciolto nelle tre settimane centrali a causa di una incompatibilità con il Y2K.

Caratteristiche tecniche della sonda Multiparametrica Hydrolab per i parametri di diretto interesse per il caso studio	
Rilevamento orario dei dati	
Pressione atmosferica	
Range	Da 500 a 850 mmHg
Precisione	$\pm 10$ mmHg
Risoluzione	0.1 mmHg
Ossigeno disciolto	
Range	Da 0 a 20 mg l <sup>-1</sup>
Precisione	$\pm 0.2$ mg l <sup>-1</sup>
Risoluzione	0.01 mg l <sup>-1</sup>
Temperatura	
Range	Da -5 a 50 °C
Precisione	$\pm 0.10$ °C
Risoluzione	0.01°C

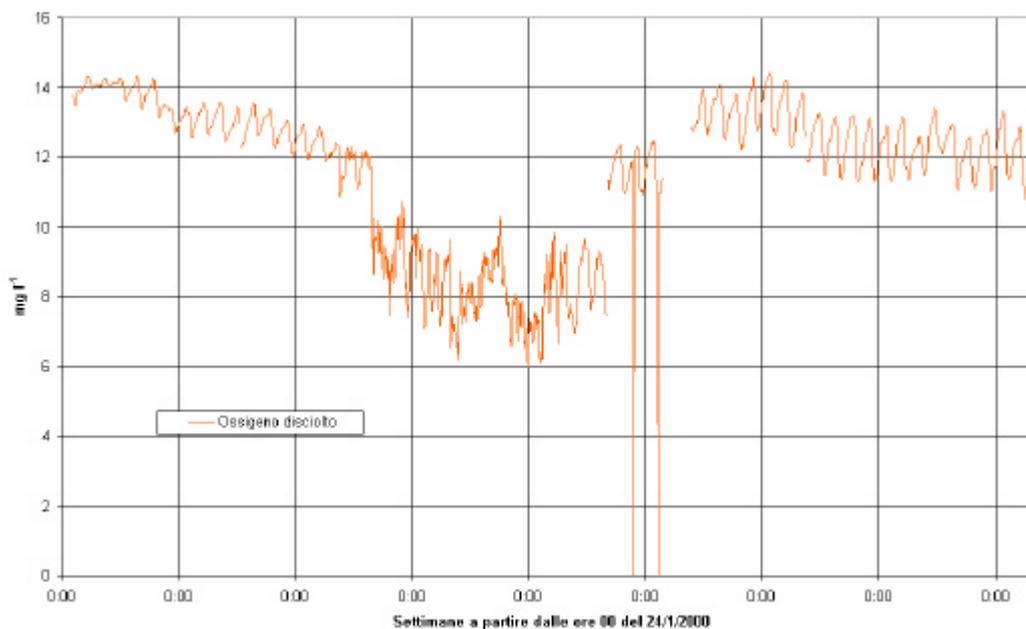


Figura 52. Grafico riportante l'andamento dell'ossigeno disciolto misurato al punto 4.

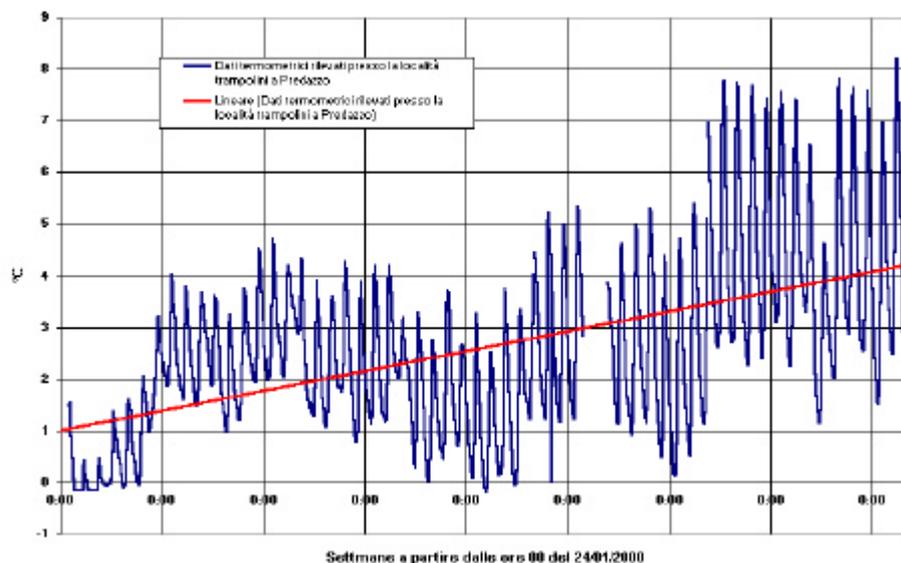


Figura 53. Grafico riportante l'andamento delle temperature misurate dalla sonda al punto 4.

### Campagne di monitoraggio dell'APPA

In questo tipo di analisi risultano di interesse anche i dati storici. In particolare sono stati tenuti in considerazione i dati dei monitoraggi principali e secondari relativi agli anni 1998, 1999, 2000. Nell'ambito dei monitoraggi principali la sezione di interesse è il punto 12, ponte di Soraga. Per quanto riguarda i monitoraggi secondari sono stati considerati i dati relativi al Rio di Soial e al Rio di Valle.

## GLI INPUT PUNTUALI

Si ritiene opportuno, per una migliore comprensione degli output del programma, procedere con una dettagliata descrizione degli input puntuali da monte a valle, dal Lago di Pian della Fedaia a Predazzo. I dati che saranno descritti sono introdotti nelle pagine “Headwater Source Data” e “Point Loads and Withdrawals” dell’interfaccia Windows di QUAL2EU.

REACH NO.	ELE NO.	TYPE	NAME	TREAT [%]	FLOW [m3/s]	TEMP [C]	DO [mg/l]	BOD [mg/l]	CONS #1	CONS #2
14	1	Point source	Rio Contrin	0	0.37	3.4	11.3	1		
16	8	Point source	Rio Cornadol	0	0.02	3.4	11.3	1		
19	7	Point source	Rio Antermont	0	0.45	3.4	11.3	1		
24	6	Point source	Rio Duron	0	0.34	3.4	11.3	1		
25	1	Point source	SFIORO DE PURA	0	0.0102	11	4	374.8		
25	2	Point source	DEPURATORE CAMP	0.967	0.043	10.8	7.8	374.8		
25	9	Point source	IMHOFF FONTA S	0	0	0	0	0		
26	5	Point source	Rio di Greppa	0	0.07	3.5	11.3	1		
28	2	Point source	Rio Drio le Pal	0	0.02	3.5	11.3	1		
29	8	Point source	IMHOFF CAMPESTR	0	0	0	0	0		
30	3	Point source	Rio di Dona	0	0.05	3.5	11.3	1		
32	2	Point source	IMHOFF MAZZIN	0	0.01	11	4	374.8		
32	3	Point source	Rio Udai	0	0.17	3.6	11.4	1		
34	5	Point source	IMHOFF MONZON	0	0	11		374.8		
35	5	Point source	Rio di Soial	0	0.35	3.6	11.4	2.17		
38	5	Point source	Rio S Nicolò	0	0.61	3.6	11.4	1		
40	4	Withdrawal	Captazione Pozz	0	-1.54					
40	7	Point source	IMHOFF POZZA	0	0.024	11	4	374.8		
41	6	Point source	Rio di Chiesa	0	0.02	3.6	11.4	1		
42	10	Point source	Rio di Valle	0	0.097	3.6	11.4	38		
44	6	Point source	Rio Vallace	0	0.04	3.6	11.4	1		
46	9	Point source	Reslit Pozza	0	1.54	3.6	11.4	2.8		
47	4	Point source	Rio Barbide	0	0.03	3.6	11.4	1		

Figura 54. Schermata “Point Loads and Withdrawals” per l’inserimento dei dati puntuali.

Le caratteristiche degli input puntuali che possono essere descritte tramite la finestra di figura 54 sono:

% di trattamento	Portata m <sup>3</sup> /s	Temperatura ° C	Ossigeno disciolto mg/l	BOD5 mg/l
------------------	------------------------------	--------------------	----------------------------	--------------

## Primo tratto

- *INPUT FEDAIA-CONTRIN*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.37	3.4	11.3	1

Questo input coglie la portata drenata dal bacino dell'Avisio con chiusura immediatamente a monte della confluenza col Rio Contrin. Avendo considerato uniforme e di buona qualità (affermazione sostenuta dai dati forniti dalla sonda al punto 1) il tratto fino a questa sezione, si è ritenuto opportuno spostare comunque a monte l'input per facilitare l'integrazione da parte dal programma. Il bacino del Lago di Pian della Fedaia è stato escluso dal bilancio. Le caratteristiche di tale input sono state determinate per mezzo della sonda al punto 1.

- *INPUT RIO CONTRIN*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.37	3.4	11.3	1

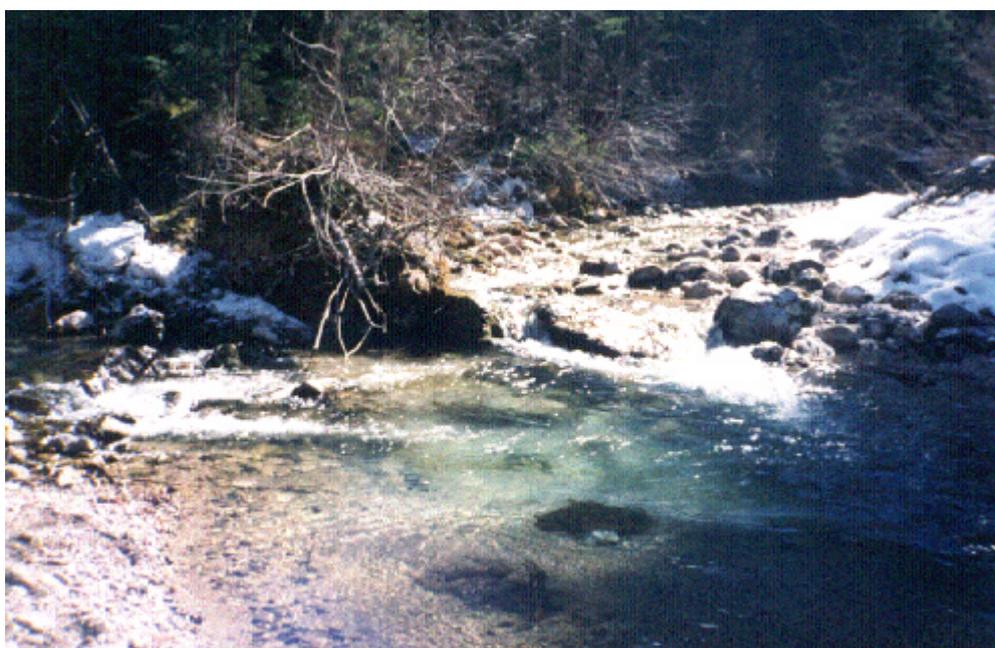


Figura 55. Rio Contrin (a destra) alla confluenza con l'Avisio

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche

- *INPUT RIO CERNADOI*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.02	3.4	11.3	1



Figura 56. In sinistra orografica il rio Cernadoi.

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche

- *INPUT RIO ANTERMONT*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.45	3.4	11.3	1

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche

- *INPUT RIO DURON*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.34	3.4	11.3	1

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche

- *INPUT SFIORO DEPURATORE DI CAMPITELLO*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.0102	11	4	374.8

Questa sorgente inquinante non presenta trattamenti ed è caratterizzata qualitativamente come il liquame in ingresso al depuratore di Campitello. La portata è stata determinata tramite i dati messi a disposizione dal SOIS sullo sfioro.

- *INPUT DEPURATORE DI CAMPITELLO*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0.967	0.043	10.8	7.8	374.8



*Figura 57. Lo scarico in destra orografica del depuratore di Campitello.*

- *INPUT IMHOFF DI FONTANAZZO*



*Figura 58. Attualmente la vasca Imhoff è in disuso ed è in stato di degrado.*

- *INPUT RIO DI GREPPA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.07	3.5	11.3	1

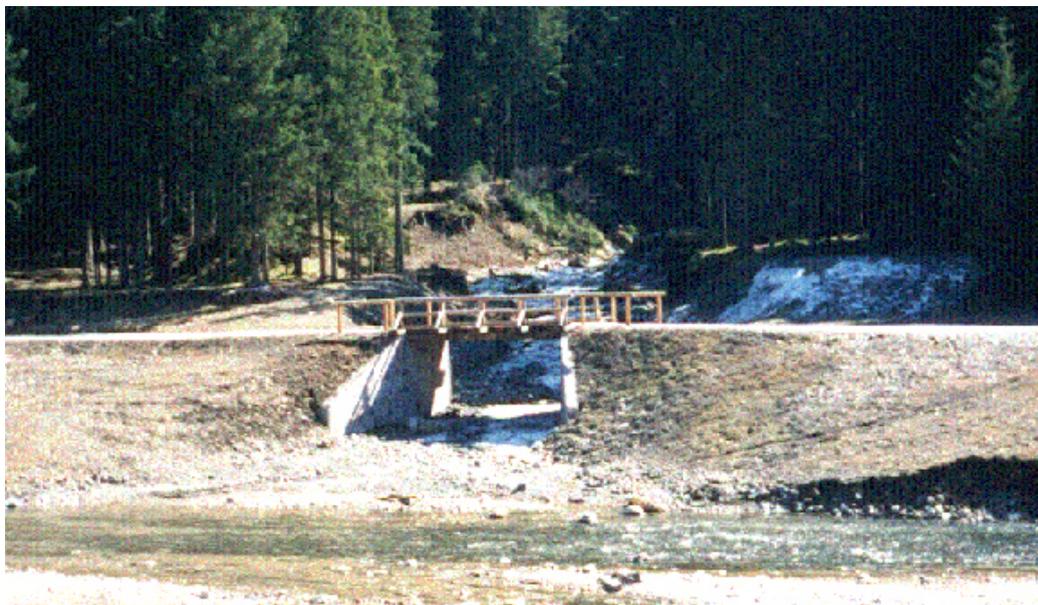


Figura 59. Il Rio di Greppa in sinistra orografica , il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

- *INPUT RIO DRIO LE PALE*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.02	3.5	11.3	1

- *INPUT IMHOFF DI CAMPESTRIN*

Attualmente la Imhoff è in disuso.

- *INPUT RIO DI DONA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.05	3.5	11.3	1

- *INPUT IMHOFF DI MAZZIN*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.01	11	4	374.8



*Figura 60. Nell'ombra si intravede lo scarico in corrispondenza della Imhoff di Mazzin.*

Si ritiene la Imhoff in disuso; tuttavia è da segnalare la presenza di uno scarico piuttosto consistente, appena a monte della confluenza con il Rio Udai, che colletta gli scarichi a valle di Campitello e li convoglia in questo punto dell'Avisio in attesa che venga ultimato il depuratore di Pozza e che quindi tutto venga collettato in esso.

L'entità di tale scarico è stata determinata tramite una stima per mezzo del coefficiente MS precedentemente stimato. Le caratteristiche del liquame sono quelle relative all'ingresso del depuratore di Campitello.

- *INPUT RIO UDAI*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.17	3.6	11.4	1



*Figura 61. A questo affluente in destra orografica è lasciato il compito della prima diluizione dello scarico di Mazzin.*

- *INPUT IMHOFF DI MONZON*

Lo scarico di questa Imhoff è localizzato sul rio Soial. La sua entità è stata quantificata e successivamente diluita nel rio.

Portata  $0.0013 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , temperatura liquame  $11 \text{ }^\circ\text{C}$ , OD pari a  $4 \text{ mg l}^{-1}$ , BOD5  $374.8 \text{ mg l}^{-1}$ .

- *INPUT RIO DI SOIAL*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.35	3.6	11.4	2.17

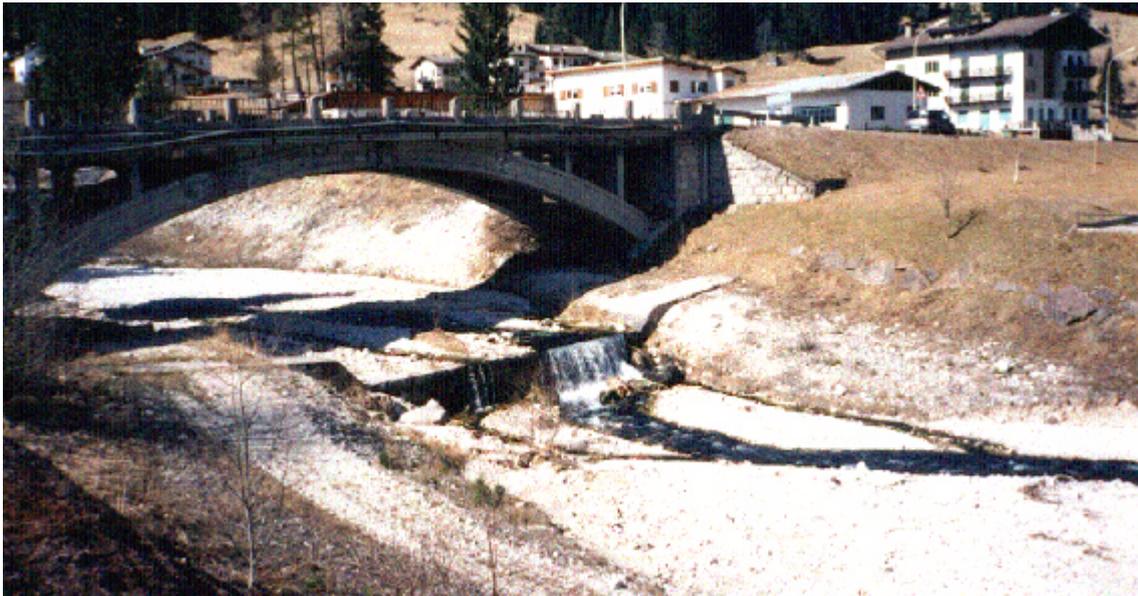


Figura 62. Il rio di Soial in destra orografica e il ponte della Statale.

La qualità di questo affluente è parzialmente disturbata dalla presenza dello scarico della Imhoff di Monzon.

- *INPUT RIO SAN NICOLÒ*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.61	3.6	11.4	1



Figura 63. Il Rio San Niccolò in sinistra orografica.

Questo è il maggiore degli affluenti fin qui visti, la qualità dell'Avisio dovrebbe migliorare grazie alla maggior diluizione.

- *INPUT DERIVAZIONE PER LA CENTRALE IDROELETTRICA DEL CONSORZIO DI POZZA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	-1.54			



Figura 64. Particolare dell'opera di derivazione.



Figura 65. L'opera di derivazione presso Pozza di Fassa, la portata che defluisce sulla destra è dovuta ad un parziale intasamento della griglia.

Tale captazione si trova a valle dell'abitato di Pozza, subito prima del futuro terzo impianto di depurazione della valle di Fassa. Il Consorzio Idroelettrico ha gentilmente fornito la curva annuale delle portate derivate su scala giornaliera. Il dato di portata utilizzato è la media dei tre mesi in esame (gennaio-febbraio-marzo 1999).

- *INPUT IMHOFF DI POZZA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.024	11	4	374.8



Figura 66. Lo scarico puntuale della imhoff di Pozza. Si intravede in lontananza l'opera di derivazione del Consorzio Idroelettrico.

E' la Imhoff confluyente il maggior carico, la presenza della derivazione giusto a monte di tale scarico potrebbe creare situazioni critiche per il corso d'acqua. La stima della portata è stata eseguita con il coefficiente MS determinato in precedenza.

- *INPUT RIO DI CHIESA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.02	3.6	11.4	1

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

- *INPUT RIO DI VALLE*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.097	3.6	11.4	38

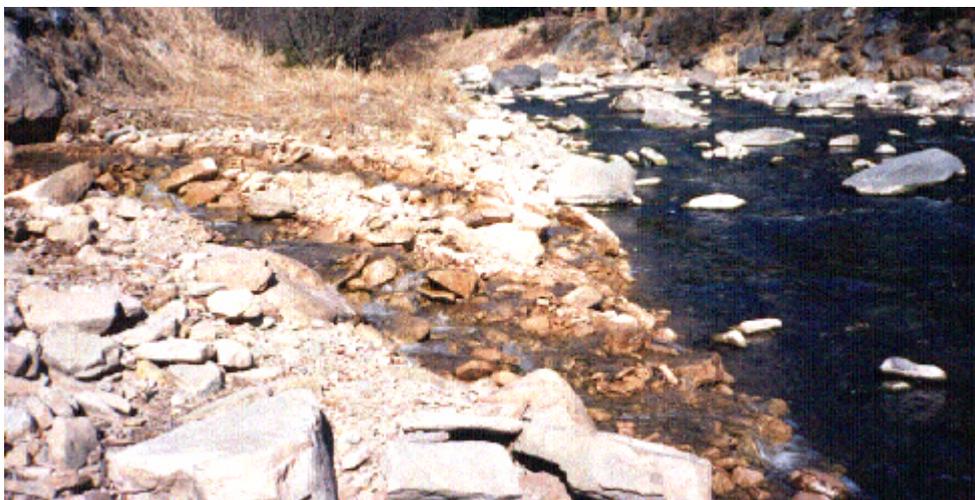


*Figura 67. La colorazione scura del greto testimonia la presenza di sostanza organica in eccedenza nel rio di Valle (sinistra), la qualità dell'Avisio è già comunque compromessa in questa sezione.*

Il corso d'acqua è quello che in tutta la valle presenta il maggior carico di BOD5. Si ritiene che in attesa dell'ultimazione del depuratore di Pozza un collettore provvisorio scarichi in questo corso d'acqua i liquami di Vigo di Fassa. L'entità di tale scarico è stato quantificato in una portata di 0,02 m<sup>3</sup>/s, per una concentrazione di BOD5 di 277 mg/l (da qui verso valle si utilizzerà la concentrazione di BOD5 riscontrata in ingresso al depuratore di Moena). La concentrazione di BOD5 causata al Rio di Valle dallo scarico, secondo i calcoli effettuati tramite il coefficiente MS, dovrebbe essere pari a 48 mg/l. Si preferisce comunque utilizzare il valore di BOD5 determinato tramite campionamento nel mese di febbraio 2000 che suggerisce un valore di 38 mg/l.

- *INPUT RIO DI VALLACE*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.04	3.6	11.4	1

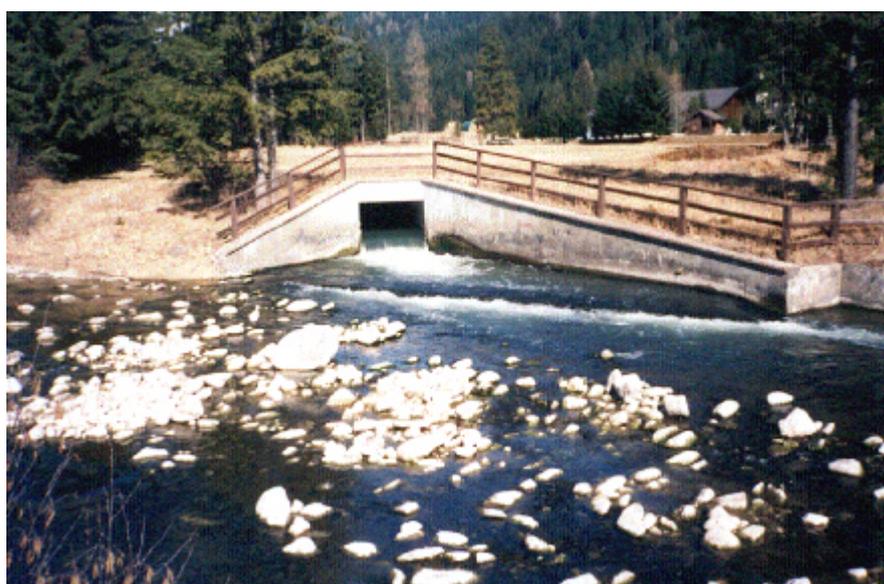


*Figura 68. La colorazione del greto dell'affluente è dovuta alla presenza di movimenti franosi.*

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

- *INPUT RESTITUZIONE DAL CONSORZIO IDROELETTRICO DI POZZA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0.15	1.54	3.6	11.4	2.8



*Figura 69. La restituzione del Consorzio Idroelettrico di Pozza.*

Viene restituita la stessa portata derivata a monte, si ipotizza però un abbattimento pari al 15% di BOD5 causato da un sedimentatore e da una griglia prima del canale di adduzione alla turbina (questo dato rimane comunque da verificare).

- *INPUT RIO DI BARBIDE*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.03	3.6	11.4	1

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

## Secondo tratto

- *INPUT PEZZÈ CONFLUENZA SAN PELLEGRINO*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.2	5.6	11.5	2.1

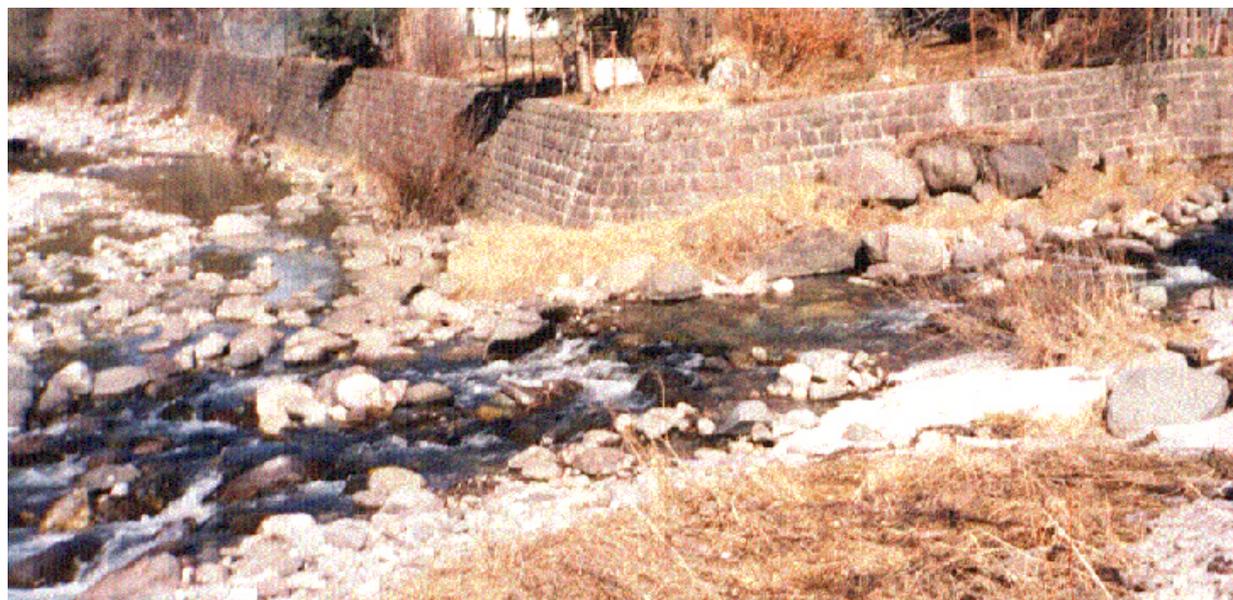


Figura 70. L'immissione del rio San Pellegrino (destra) in Avisio subito a valle dello sbarramento di Pezzè di Moena.

Sebbene sia nulla la portata rilasciata alla base dello sbarramento di Pezzè di Moena alla confluenza con il San Pellegrino si presenta un certo scorrimento dovuto in parte a fenomeni di infiltrazione ed in parte alla portata dovuta a scarichi. Se la qualità è stata determinata, incertezza rimane sulla quantità stimata.

- *INPUT RIO SAN PELLEGRINO*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.5	1.8	12.1	1.5

Esso rappresenta il maggior affluente del secondo tratto; non è errato dire che l'Avisio, nel tratto a valle fino alla restituzione della centrale di Predazzo, sia strettamente dipendente in qualità e quantità dal Rio San Pellegrino.

La portata risultante dall'implementazione del modello MODIDR fornisce un deflusso la cui media sui tre mesi considerati è  $0.648 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; il corso d'acqua è però in parte deviato a monte per

alimentare il bacino di Pezzè di Moena. L'accordo con l'ENEL prevede un prelievo che permetta il deflusso della portata minima di  $0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

- *INPUT RIO DI COSTALUNGA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.209	2.5	12.5	1



*Figura 71. Il Rio di Costalunga in destra orografica presso l'abitato di Moena.*

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

- *INPUT DEPURATORE DI MOENA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0.953	0.0451	7.1	7.8	276.7



Figura 72. La migrazione stagionale dell'alveo non permette un'immediata diluizione dello scarico che scorre non diluito per una certa distanza.

Lo scarico del depuratore si trova in destra Avisio.

- *INPUT RIO DI FEDEA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.02	3.5	12.5	1

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

- *INPUT RIO DI VALSORDA*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.261	3.5	12.5	1

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

- *INPUT IMHOFF DI FORNO*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.00128	3.5	12.5	276.7

La stima dello scarico di questa Imhoff è stato determinato supponendo un coefficiente di stima pari a 1.5 invece di 2.5. Tale scelta è giustificata dalla minor propensione al turismo di questa frazione.

- *INPUT RIO GARDONÈ*

%	Q	Temp	OD	BOD5
0	0.138	3.5	12.5	1

Il corso d'acqua non presenta particolari problematiche.

- *INPUT TORRENTE TRAVIGNOLO E RESTITUZIONE CENTRALE DI PREDAZZO*

A tale input è stato assegnato contributo nullo in quanto il torrente Travignolo non presenta portata nei mesi della simulazione a causa dei canali di gronda per alimentare il bacino di Forte Buso, mentre la portata in uscita dalla centrale è stata ipotizzata nulla per simulare il minimo di diluizione.

## **GLI OUTPUT RIGUARDANTI LA SITUAZIONE ATTUALE**

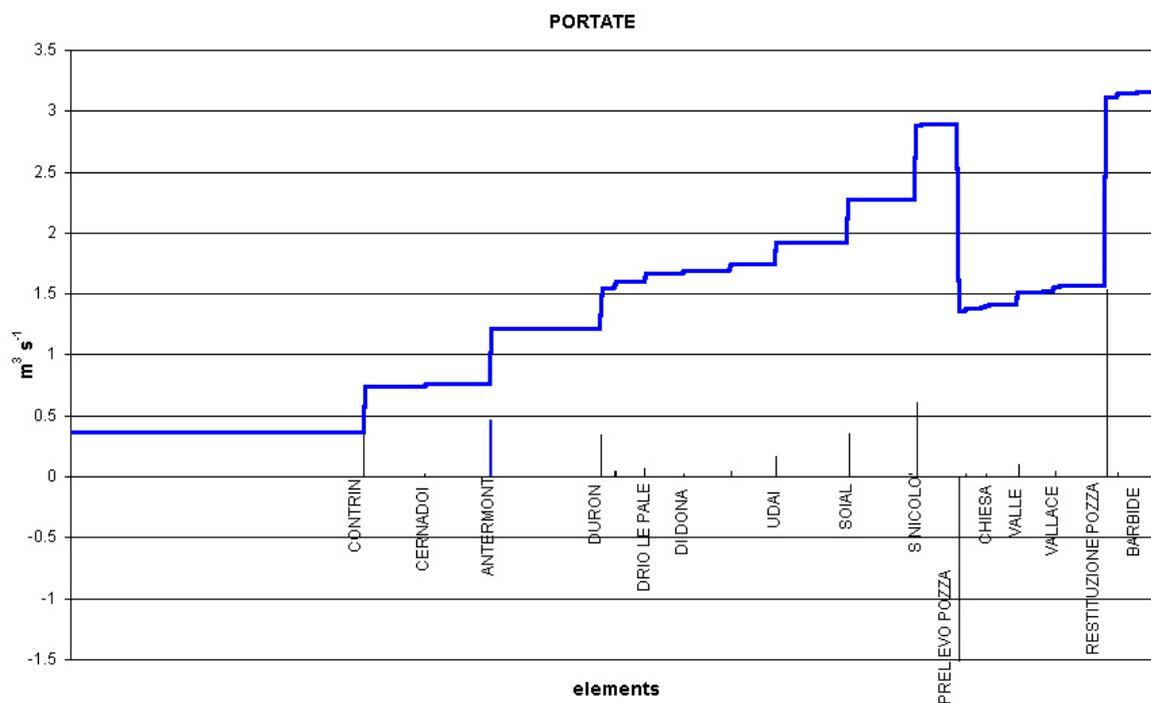
Gli output che sono stati richiesti al modello QUAL2EU riguardano la distribuzione lungo l'asta delle portate, delle temperature, dell'ossigeno disciolto e del BOD. Va notato quindi che le informazioni che prima erano puntuali vengono ora distribuite in maniera unidimensionale dal programma.

Pur nell'incertezza dovuta al valutare un unico indicatore della qualità fluviale, si ritiene che, le considerazioni che si possono ricavare da un grafico distribuito dell'andamento del BOD5 siano quantomeno indicative delle condizioni di salute del torrente. E' già comunque possibile verificare gli effetti di scarichi e progettarne l'eventuale localizzazione; non si deve inoltre trascurare la conoscenza immediata delle sezioni che maggiormente necessitano di monitoraggio, informazione che non è sempre di immediata determinazione.

La visualizzazione degli output avviene tramite grafici dove l'asta fluviale si sviluppa da sinistra (monte) a destra (valle), in ascissa sono evidenziati gli "elements". I dati puntuali sono rappresentativi dei monitoraggi inverno 1999-2000, dei dati relativi alle sonde e delle informazioni ricavate dai monitoraggi APPA. Le barre d'errore sono state determinate considerando la deviazione standard delle singole misure sui tre mesi considerati.

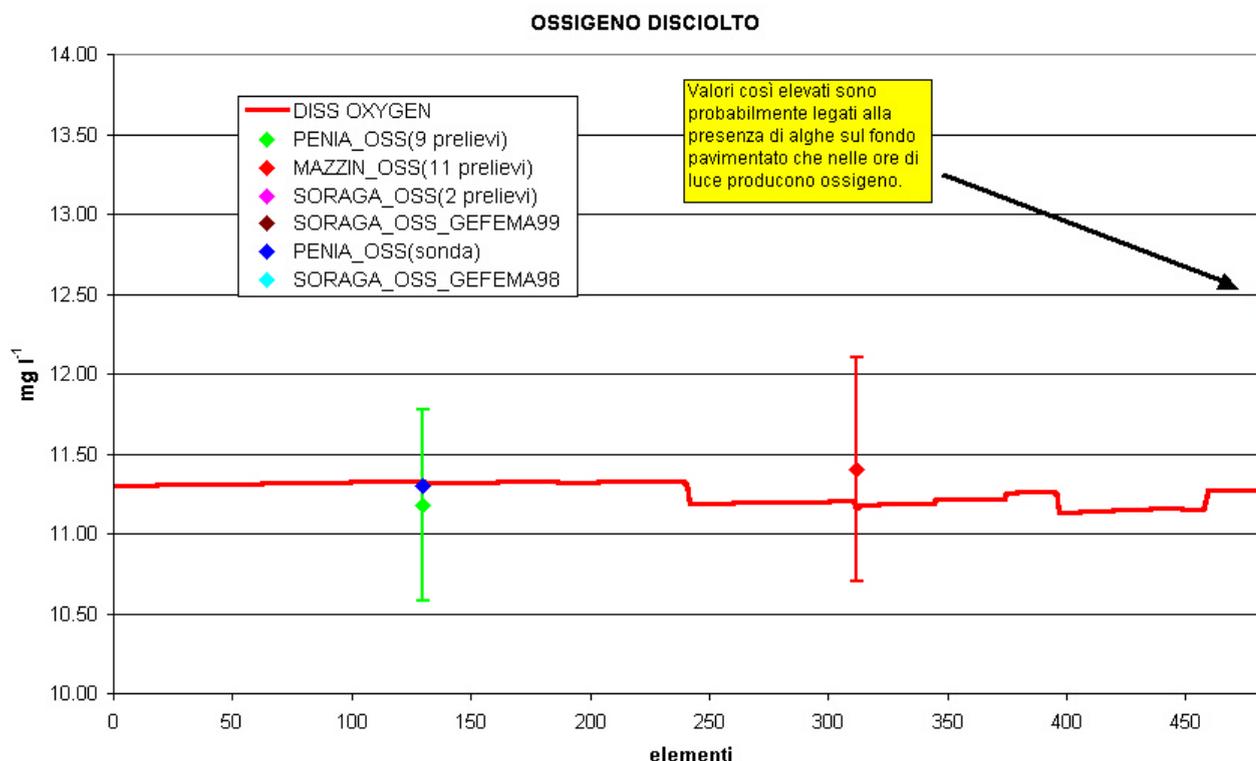
# TRATTO FEDAIA PEZZE' DI MOENA

## Andamento delle portate



Il diagramma delle portate si sviluppa da sinistra (Fedaiia) a destra (Pezzè di Moena), in ascissa sono rappresentati gli elementi computazionali, ogni gradino visualizza il singolo contributo degli input puntuali di portata. E' immediatamente visibile (sulla destra) l'influenza della derivazione di Pozza che causa il dimezzamento della portata nel tratto sotteso alla condotta.

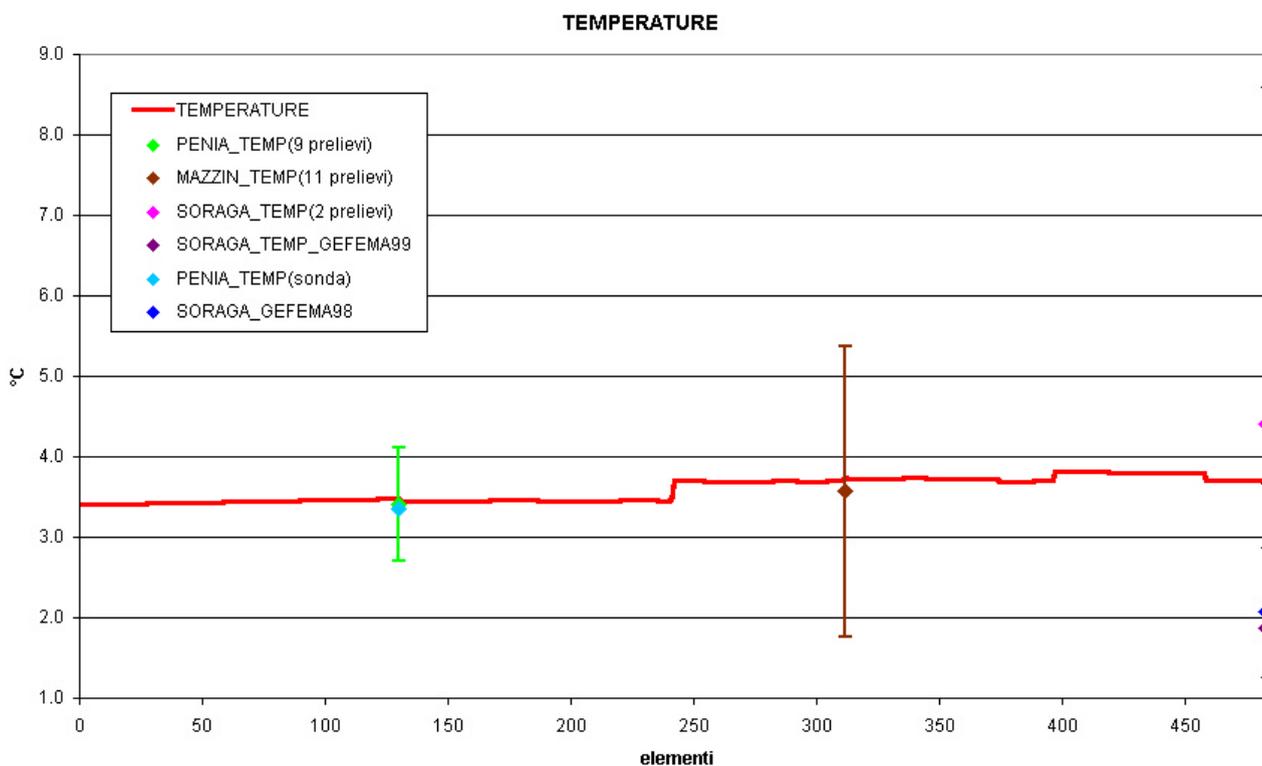
## Andamento dell'ossigeno disciolto



La concentrazione di ossigeno, legata alle basse temperature dell'acqua e alla buona capacità di ossigenazione del torrente, si mantiene quasi sempre al livello di saturazione.

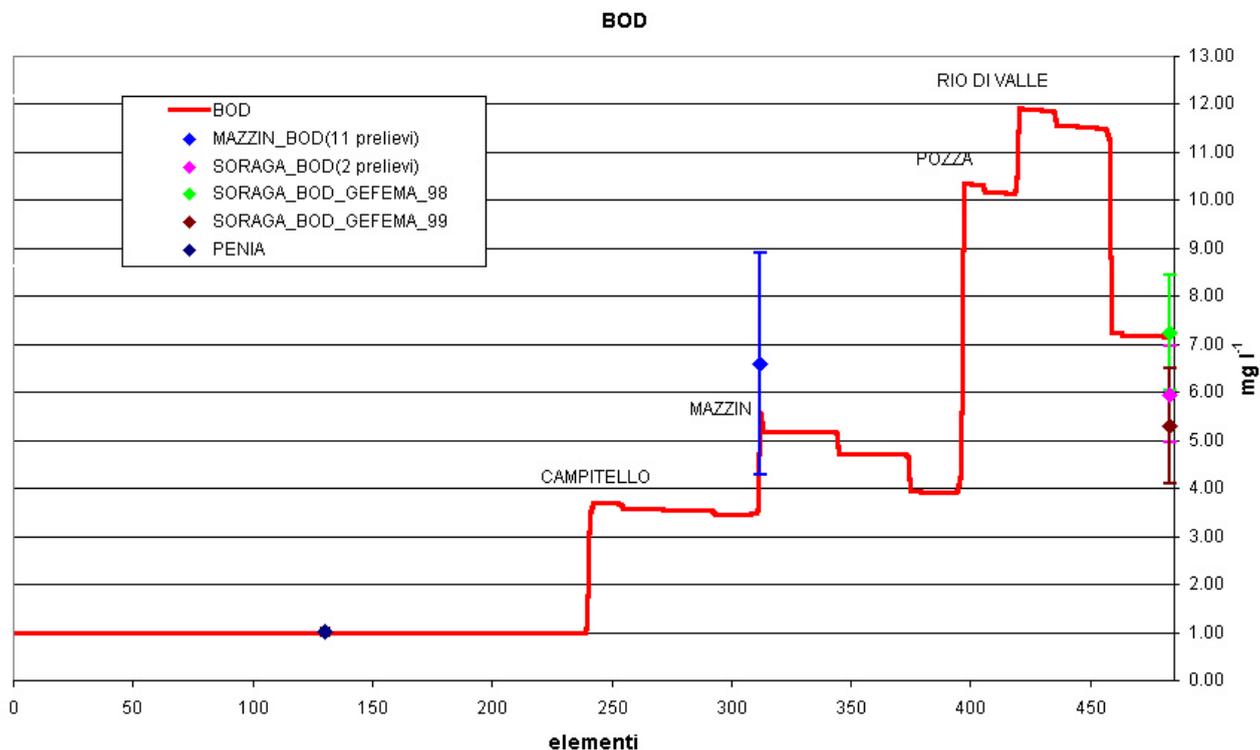
E' però presente un'anomalia nella simulazione alla sezione di Soraga dove i livelli di ossigeno misurati sono più elevati di quelli simulati. La causa è da ricercarsi probabilmente nella presenza di una fitta copertura di alghe e nell'orario delle misurazioni. La sezione, per permettere la misura delle portate, si presenta regolare e la lama d'acqua che vi scorre sopra è sottile: è chiaro quindi che il processo di fotosintesi che si può svolgere anche solo parzialmente nelle ore più calde della giornata, orari in cui solitamente si effettuano le misurazioni, può contribuire ad una sovrastima dell'ossigeno disciolto.

## Andamento delle temperature dell'acqua



Le temperature presentano un andamento piuttosto regolare. La media del periodo oscilla tra i 3 e i 4 °C, questo dato è importante in quanto a queste temperature tutti i processi di consumo della sostanza organica sono inibiti, il torrente funge quindi per lo più da mezzo di trasporto per le sostanze organiche immesse.

## Andamento del BOD5



:

Il grafico relativo al BOD5 da una immediata visualizzazione della situazione attuale del torrente. Si notano, da sinistra a destra:

- il peggioramento della qualità dovuto al depuratore di Campitello e il suo sfioro;
- il peggioramento causato dallo scarico di Mazzin (in attesa del collettamento al depuratore di Pozza);
- il miglioramento grazie a confluenze importanti (Rio di Soial e San Nicolò);
- l'accentuato peggioramento dovuto alla captazione di Pozza e all'adiacente scarico della Imhoff di Pozza (captazione e scarico vengono schematizzate nello stesso element);
- l'influsso negativo dovuto al Rio di Valle;
- il netto miglioramento grazie alla restituzione della portata captata a Pozza.

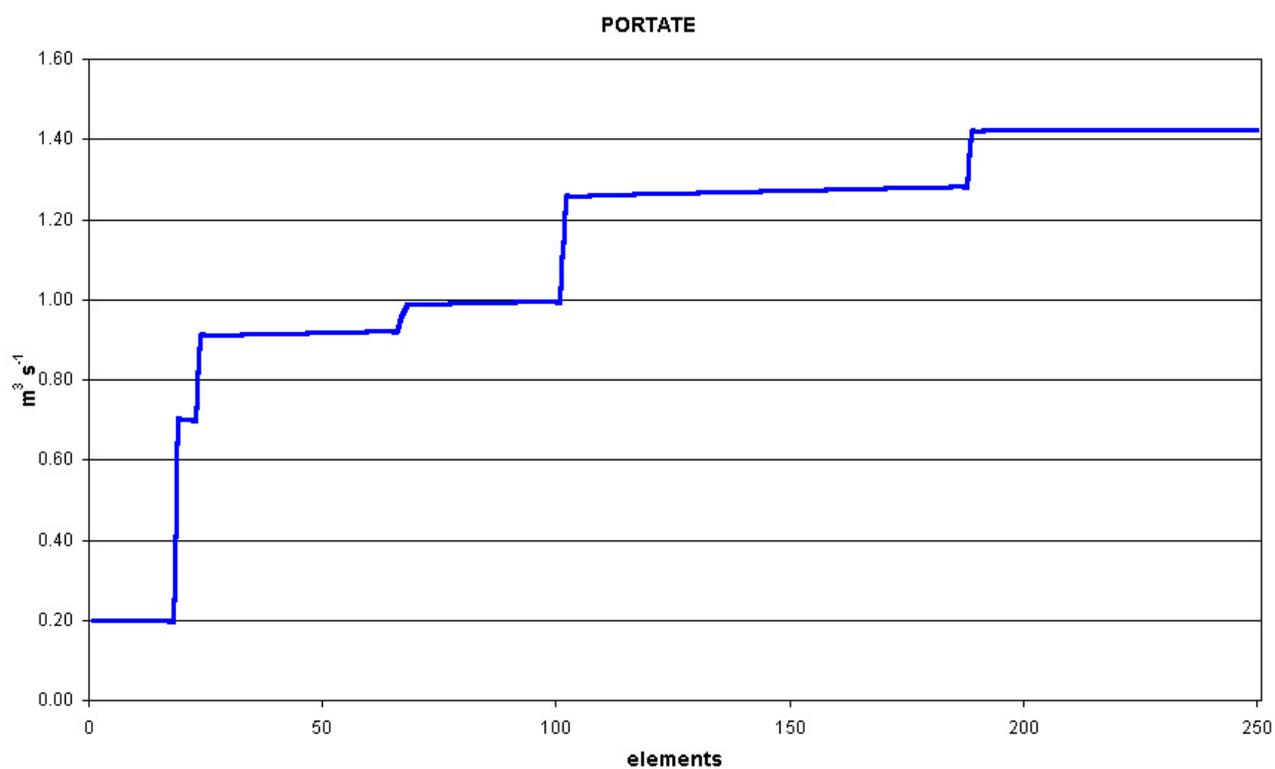
La curva si presenta piuttosto seghettata e non mostra alcuna forma che testimoni il consumo di sostanza organica (curva a sacco). Il motivo di questo comportamento è da ricercare nelle basse temperature che, inibendo i principali processi biologici, non permettono alcun consumo di BOD5.

La sostanza organica viene solo trasportata e presumibilmente si accumula nel bacino di Pezzè di Moena, dove in parte deposita ed in parte viene consumata.

Il maggior incremento di BOD5 si verifica a Pozza dove, immediatamente a valle della derivazione, è stato localizzato lo scarico di una Imhoff. Tale situazione è critica, i livelli di BOD5 sono infatti piuttosto elevati. Questo rappresenta uno dei punti cruciali del primo tratto esaminato poiché lo scarico del depuratore in fase di ultimazione sarà localizzato, come la Imhoff, subito dopo la derivazione. Sarà compito del modello verificare come la situazione potrà modificarsi con l'entrata in funzione del depuratore.

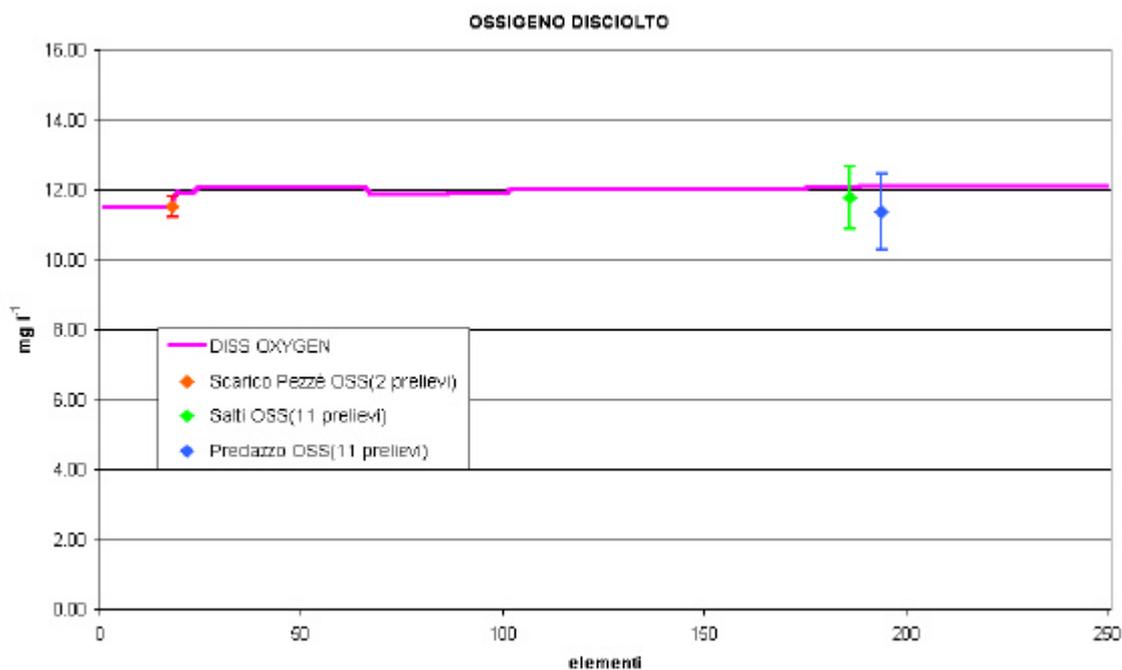
## TRATTO PEZZE' PREDAZZO

### Andamento delle portate



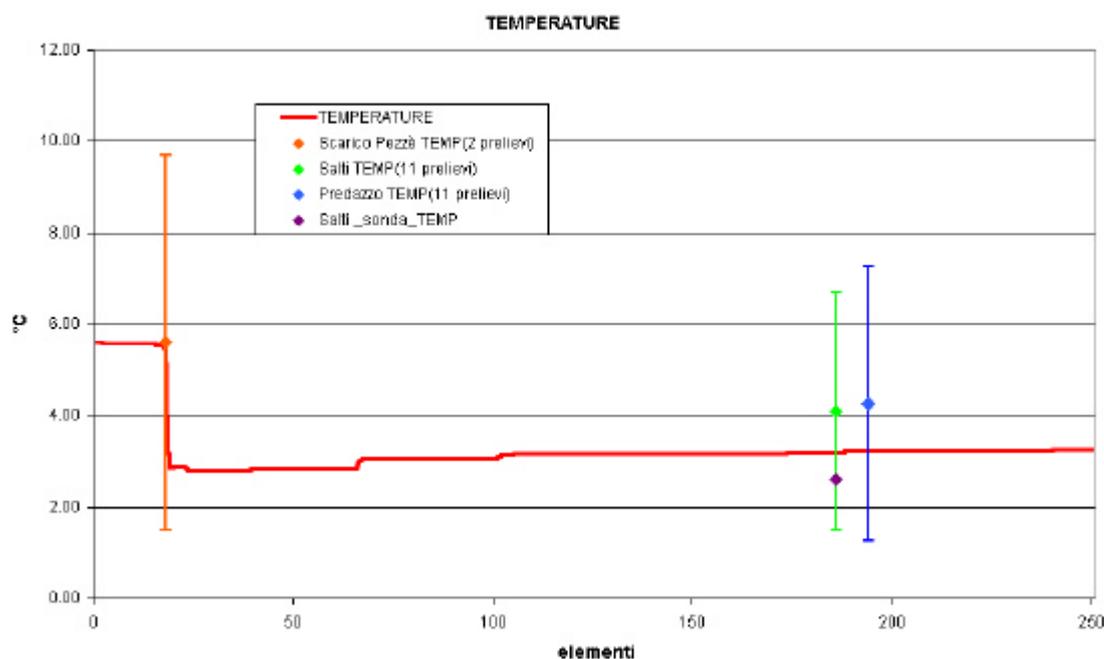
Il diagramma delle portate si sviluppa da sinistra (rilascio dall'invaso di Pezzè) a destra (Predazzo). E' immediatamente visibile (primo scalino a sinistra nel diagramma) come il contributo del Rio San Pellegrino sia fondamentale nel determinare la portata dell'Avisio in questo tratto.

## Andamento dell'ossigeno disciolto



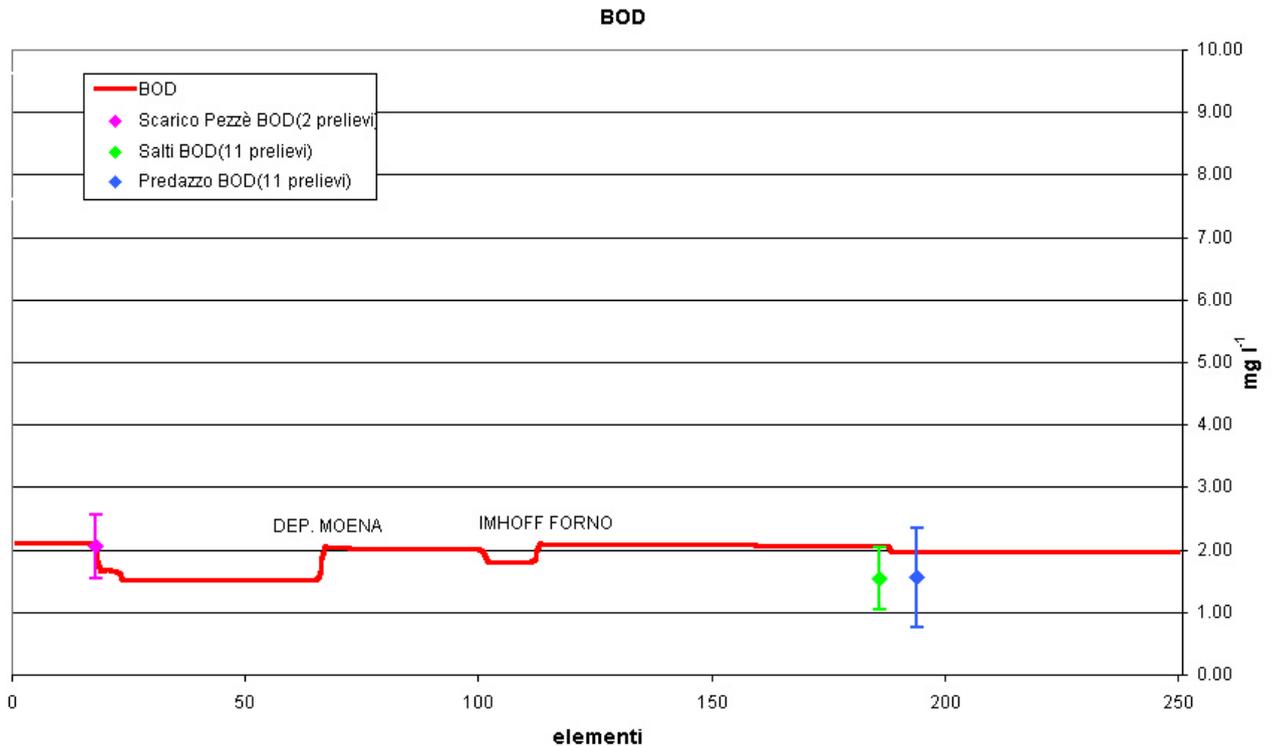
Anche in questo tratto l'ossigeno disciolto si mantiene a livello di saturazione grazie alle basse temperature ed al buon livello di ossigenazione del torrente. Mediamente i valori sono più alti rispetto al tratto superiore in relazione alla temperatura mediamente più bassa di questo tratto.

## Andamento delle temperature



Le temperature in questo tratto di Avisio sono influenzate dall'affluente San Pellegrino, si noti il brusco abbassamento di temperatura quando esso confluisce in Avisio.

### Andamento del BOD5



Fortunatamente la qualità del torrente sembra migliorare in questo tratto. La sostanza organica, proveniente dal tratto superiore, viene bloccata dalla presenza dell'invaso di Pezzè di Moena; la portata del San Pellegrino (primo gradino a sinistra) è in grado di diluire il BOD5 che presente nell'acqua che filtra dall'invaso e proveniente dagli scarichi. Il depuratore di Moena sembra avere un impatto piuttosto limitato sul torrente. La problematica principale di questo tratto sembra essere legata più allo svuotamento periodico tramite apertura degli scarichi di fondo della diga di Pezzè che alla situazione del BOD5 di questo periodo dell'anno.

## **GENERAZIONE DI DIVERSI SCENARI E RISPOSTE DEL MODELLO**

La possibilità di generare diversi scenari, una volta che i parametri interessati siano stati tarati, rappresenta una delle peculiarità dei modelli ambientali.

Nel caso studio in esame si è proceduto andando a focalizzare i punti critici del corso d'acqua in relazione alle problematiche ambientali ed alla nuova legislazione in vigore, per poi generare scenari che tengano in considerazione ed incrocino i punti cruciali individuati.

Si ritiene utile, al fine di snellire l'esposizione, mostrare solo l'output del BOD5 come spunto per svolgere considerazioni di tipo generale.

I grafici mostrano l'andamento del BOD5 dello scenario in esame (in rosso) sovrapposti alla curva relativa alla situazione attuale (in nero).

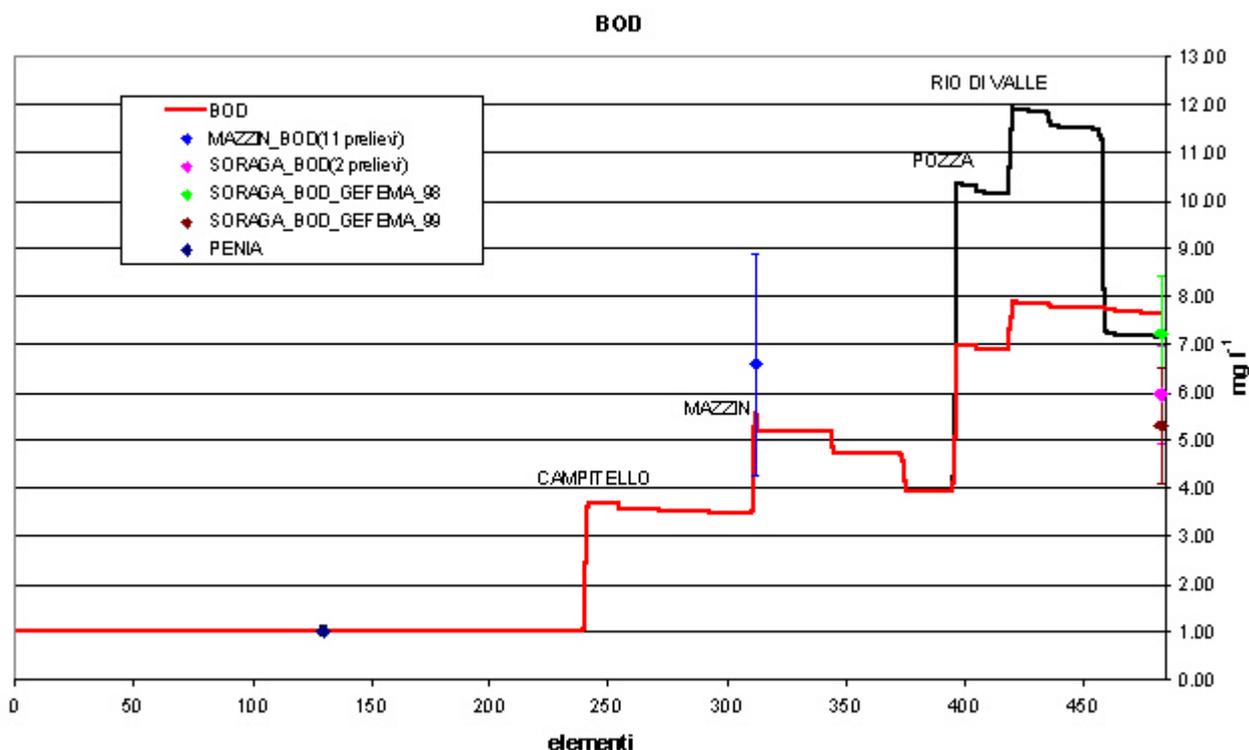
## TRATTO FEDAIA-PEZZE' DI MOENA

Nel tratto Fedaiia-Pezzè di Moena i punti cruciali individuati sono stati:

- la derivazione del Consorzio Idroelettrico di Pozza;
- lo sfioro del depuratore di Campitello;
- l'entrata in funzione del depuratore di Pozza.

E' inoltre stata considerata la possibilità di un rilascio maggiore di portata dal serbatoio della Fedaiia senza però riscontrare cambiamenti sostanziali nei parametri monitorati, ciò dipende certamente dalle esigue dimensioni del bacino (circa 10 km<sup>2</sup>) che insiste sull'invaso artificiale. I due ls<sup>-1</sup>km<sup>-2</sup> previsti dalla nuova Normativa non sono sufficienti a produrre un aumento apprezzabile di portata.

### OUTPUT 008 – SENZA CAPTAZIONE DEL CONSORZIO IDROELETTRICO DI POZZA



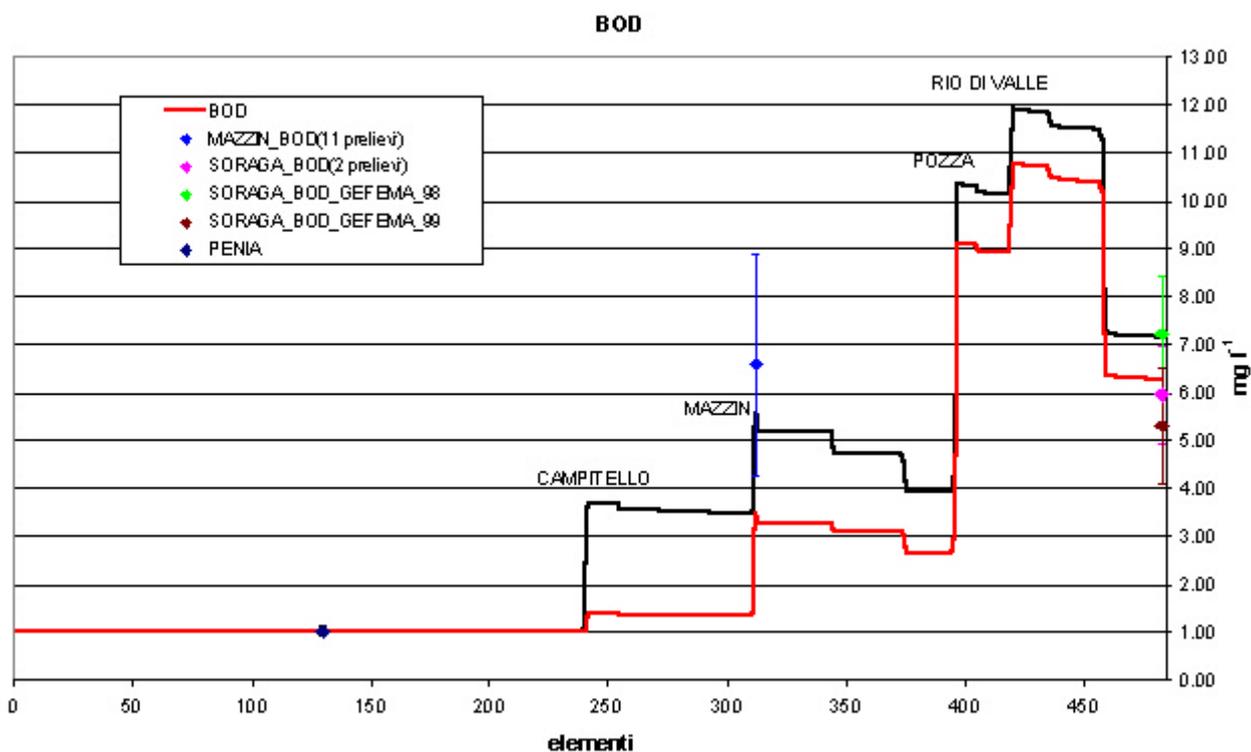
Questa simulazione è stata sviluppata per verificare l'importanza della captazione del Consorzio Idroelettrico di Pozza nel determinare la qualità del corso d'acqua da Pozza al serbatoio di Pezzè. La diminuzione della qualità è legata principalmente alla presenza di una Imhoff appena a valle dell'opera di captazione che si immette quindi nel punto di minor diluizione.

Per ottenere tale simulazione nell'interfaccia grafica di QUAL2EU si è semplicemente azzerato il “withdrawals” a Pozza nella finestra “Point Loads and Withdrawals”.

Come è desumibile dal grafico, tale intervento migliora notevolmente la qualità nel tratto sotteso alla captazione, il livello di BOD5 si mantiene comunque elevato all'ingresso del bacino di Pezzè.

La minor concentrazione di BOD5 appena prima dell'immissione nel bacino di Pezzè del grafico relativo alla situazione attuale (la linea nera si trova sotto a quella rossa) è causata dall'ipotesi di un certo abbattimento di sostanza organica sospesa nel ciclo della centrale idroelettrica (sedimentatore e turbine).

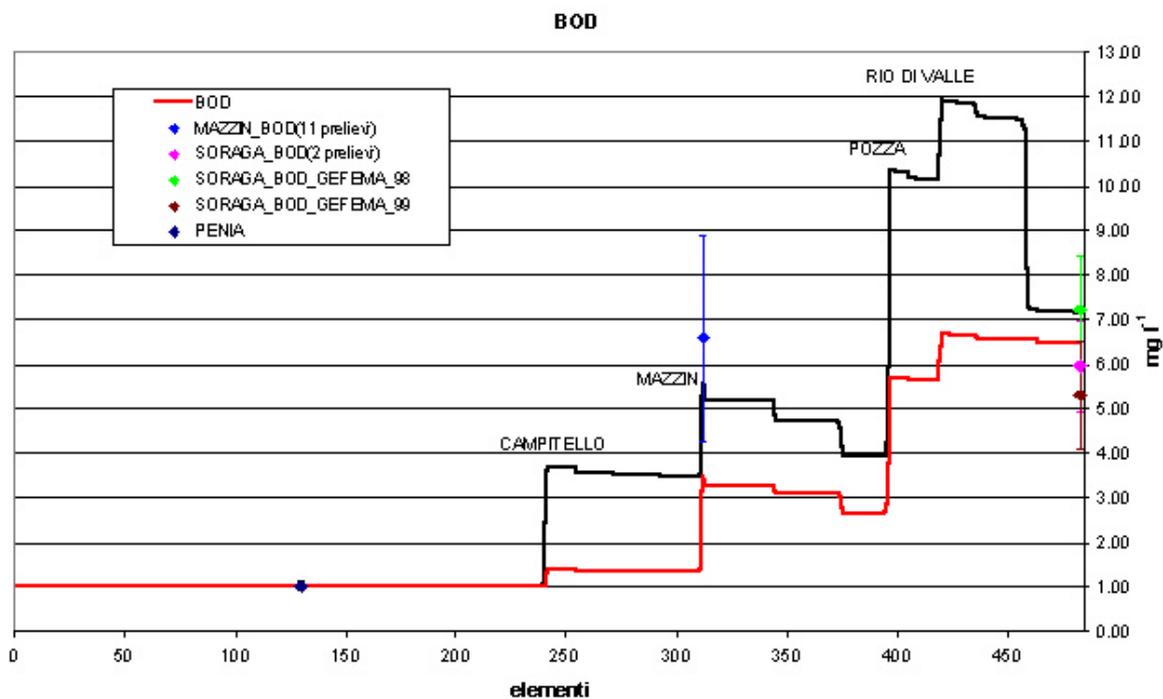
*OUTPUT 010 – SENZA LO SFIORO DEL DEPURATORE DI CAMPITELLO*



Lo sfioro del depuratore di Campitello è collettato, in questa ipotesi, nel depuratore. La curva del BOD5 subisce una traslazione verso il basso da Campitello in poi, traslazione che si ripercuote anche nelle concentrazioni di Soraga. L'impatto del depuratore in questo nuovo scenario è rappresentato dal primo gradino in rosso.

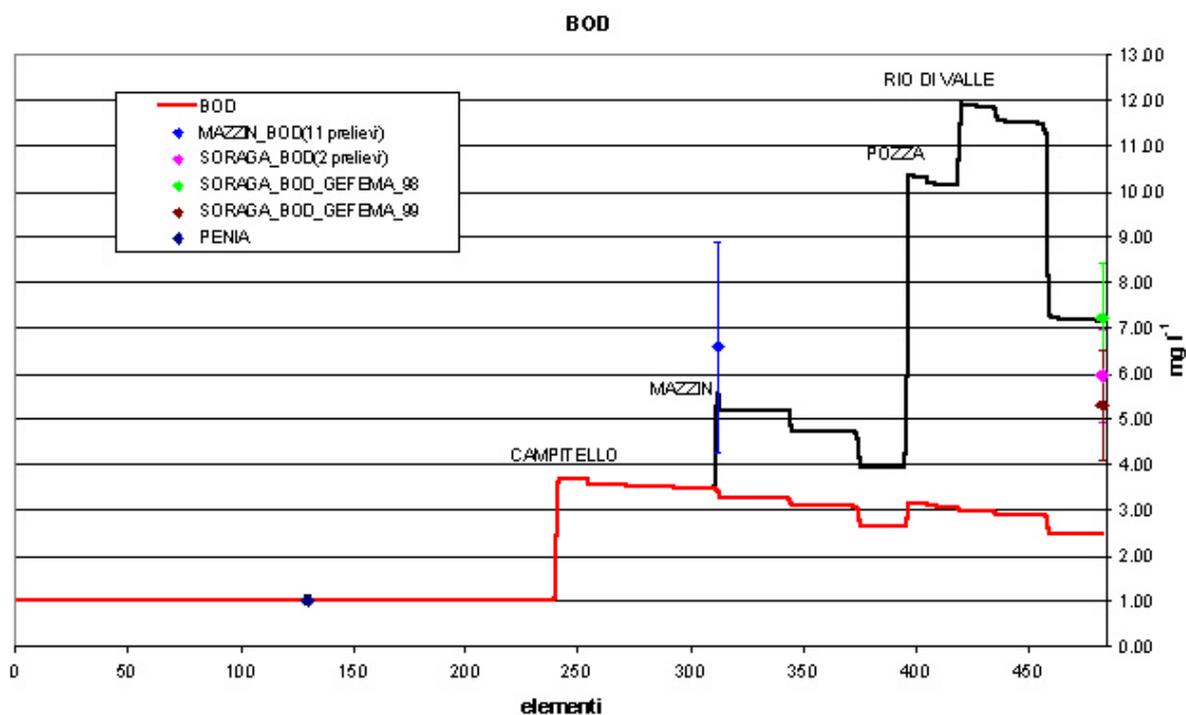
Per ottenere tale simulazione si è annullata la sorgente puntuale rappresentante lo sfioro, e si è aumentato del valore corrispondente l'input “depuratore di Campitello”.

*OUTPUT 012 - SENZA CAPTAZIONE DEL CONSORZIO IDROELETTRICO DI POZZA - SENZA LO SFIORO DEL DEPURATORE DI CAMPITELLO*



Questo scenario incrocia le ipotesi fatte per i due scenari precedenti, assenza della captazione del Consorzio Idroelettrico di Pozza e collettamento dello sfioro di Campitello. Alla traslazione della curva verso il basso si aggiunge la migliore diluizione dell'ultimo tratto con una leggera diminuzione del livello di BOD5 a Soraga.

OUTPUT 014 – DEPURATORE DI POZZA IN FUNZIONE (95% DI ABBATTIMENTO DEL BOD5)

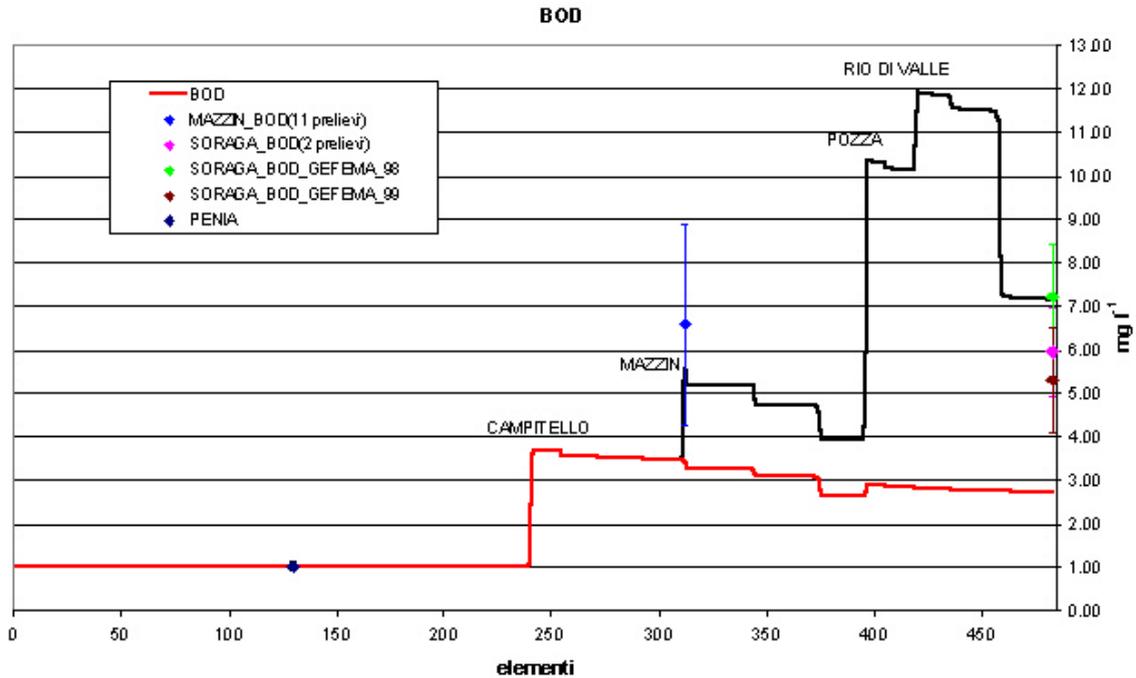


Questo scenario è quello che dovrebbe svilupparsi nel prossimo futuro quando entrerà in funzione il depuratore di Pozza, si è supposto un rendimento del 95% nell'abbattimento del BOD5. Al depuratore sono collettati gli svasi in attesa di collettamento e le Imhoff da Fontanazzo di Sotto a Vigo di Fassa.

Nel programma si agisce sempre dalla finestra "Point Loads and Withdrawals" facendo confluire lo sversamento di Mazzin, la Imhoff di Monzon, la Imhoff di Pozza, lo sversamento di Vigo di Fassa nel Rio di Valle nel depuratore il cui scarico è localizzato nello stesso punto della Imhoff di Pozza.

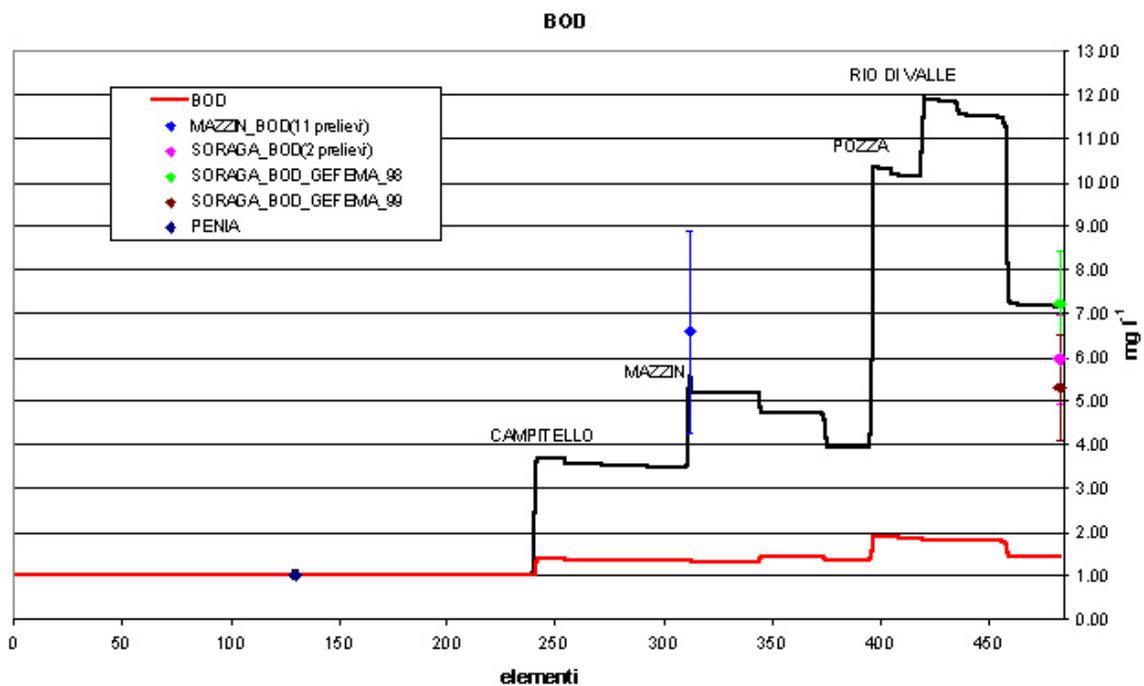
Da Mazzin in poi la curva del BOD5 cambia radicalmente presentando un trend in miglioramento grazie alla diluizione dovuta agli affluenti ed all'assenza di sorgenti inquinanti. E' importante notare che l'effetto negativo della captazione del Consorzio, nel caso di depuratore in funzione, influisce molto poco (elementi 400 – 450 circa). Il livello di BOD5 a Soraga sembra confortante, è comunque doveroso affermare che esso rappresenta solo uno degli indicatori della qualità fluviale.

*OUTPUT 016 - DEPURATORE DI POZZA IN FUNZIONE (95% DI ABBATTIMENTO DEL BOD5) - SENZA CAPTAZIONE DEL CONSORZIO IDROELETTRICO DI POZZA*



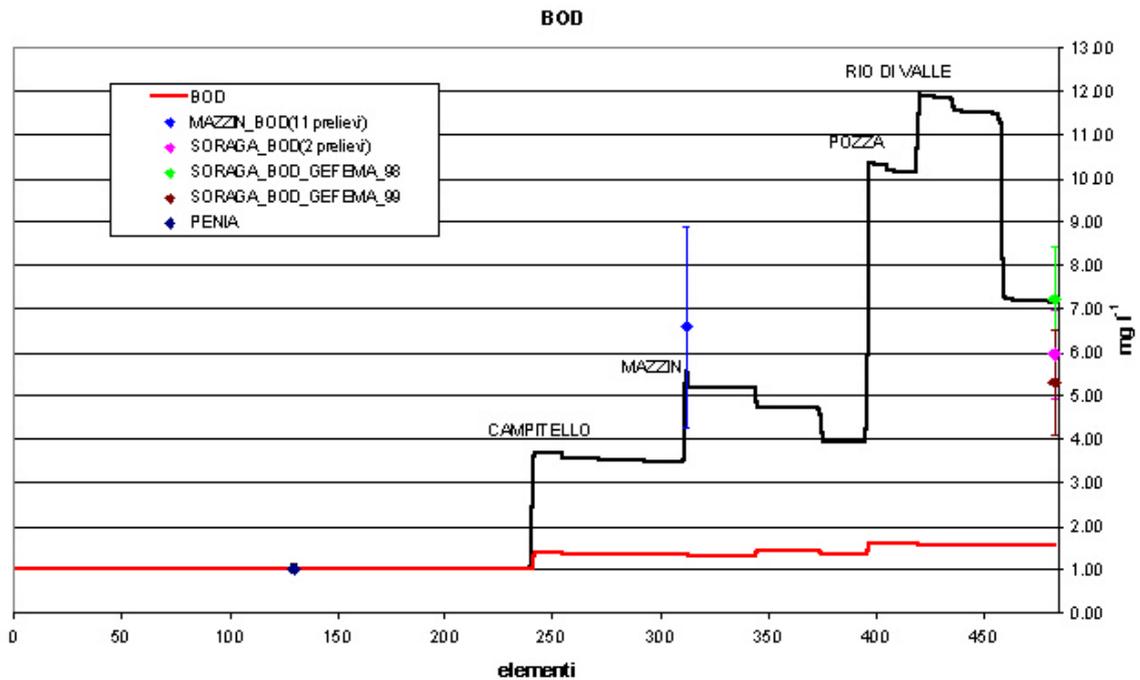
Lo scenario con depuratore di Pozza in funzione è incrociato con l'assenza della captazione del Consorzio Idroelettrico. E' interessante notare come la situazione non sia cambiata di molto rispetto al caso precedente.

*OUTPUT 018 - DEPURATORE DI POZZA IN FUNZIONE (95% DI ABBATTIMENTO DEL BOD5) - SENZA LO SFIORO DEL DEPURATORE DI CAMPITELLO*

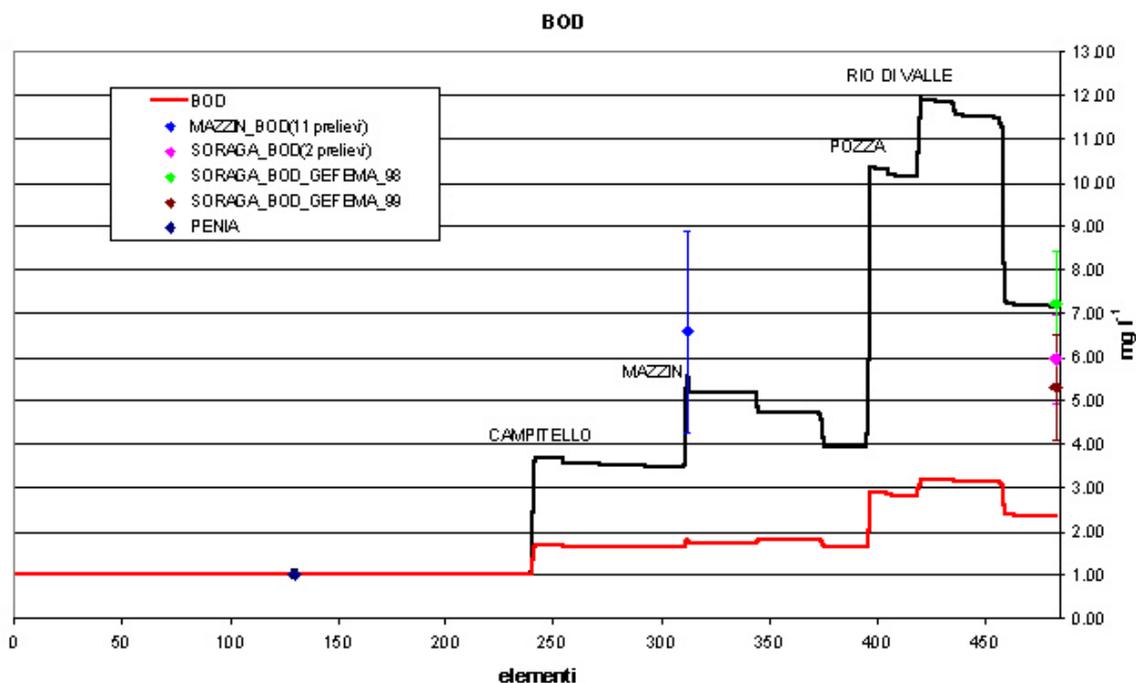


Incrociando lo scenario del depuratore di Pozza in funzione con il collettamento dello sfioro a Campitello si ottiene un notevole miglioramento della situazione. Il valore di BOD5 a Soraga scende al di sotto del valore 2 mg l<sup>-1</sup>.

*OUTPUT 020 - DEPURATORE DI POZZA IN FUNZIONE (95% DI ABBATTIMENTO DEL BOD5) - SENZA LO SFIORO DEL DEPURATORE DI CAMPITELLO - SENZA CAPTAZIONE DEL CONSORZIO IDROELETTRICO DI POZZA*



Alla situazione precedente viene aggiunta l'assenza del collettamento del Consorzio. Come si può notare, anche in questo scenario, la curva non risente in maniera determinante di questo cambiamento (confrontare con il grafico precedente).



Quest'ultimo scenario simulato mette in evidenza l'impatto della presenza turistica nella valle. Tutti gli input di inquinante sono stati ridotti in maniera proporzionale al rapporto:

$$\frac{(pop\ residente)_i}{(pop\ simulazione)_i}$$

con  $i = \text{Comune}$

pop simulazione = il numero di abitanti utilizzato per il calcolo dei carichi inquinanti (pag. 60).

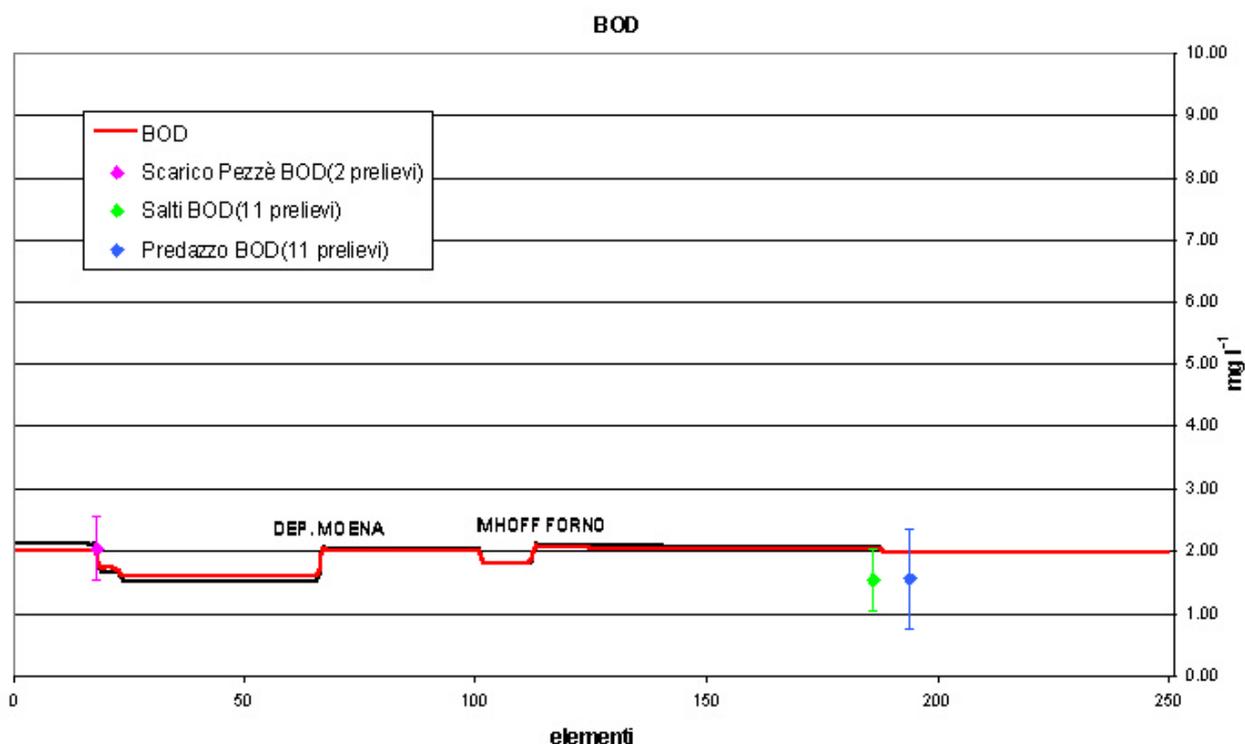
Si nota così il divario tra le due curve e si desume che tutti i problemi relativi all'indicatore BOD5 sono legati all'eccessivo carico antropico stagionale.

## TRATTO PEZZÈ'-PREDAZZO

Nel tratto Pezzè-Predazzo i punti cruciali individuati sono:

- il rilascio di  $2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  dallo sbarramento di Pezzè di Moena<sup>3</sup>;
- il collettamento della Imhoff di Forno a Tesero (senza rilascio di portata da Pezzè).

*OUTPUT 009 – RILASCIO DI  $2 \text{ L S}^{-1} \text{ KM}^{-2}$  DAL BACINO DI PEZZÈ DI MOENA CON  $\text{BOD5} = 2 \text{ MG L}^{-1}$*



In relazione all'articolo 3 comma 4 del DL 11-11-99 n.463 che impone un rilascio minimo di  $2 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$  per bacino sotteso a sbarramento, si è ipotizzato uno scenario che prevedesse un incremento di portata in uscita dal bacino di Pezzè di Moena pari a  $0.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (il bacino sotteso a Soraga si estende per circa  $200 \text{ km}^2$ ).

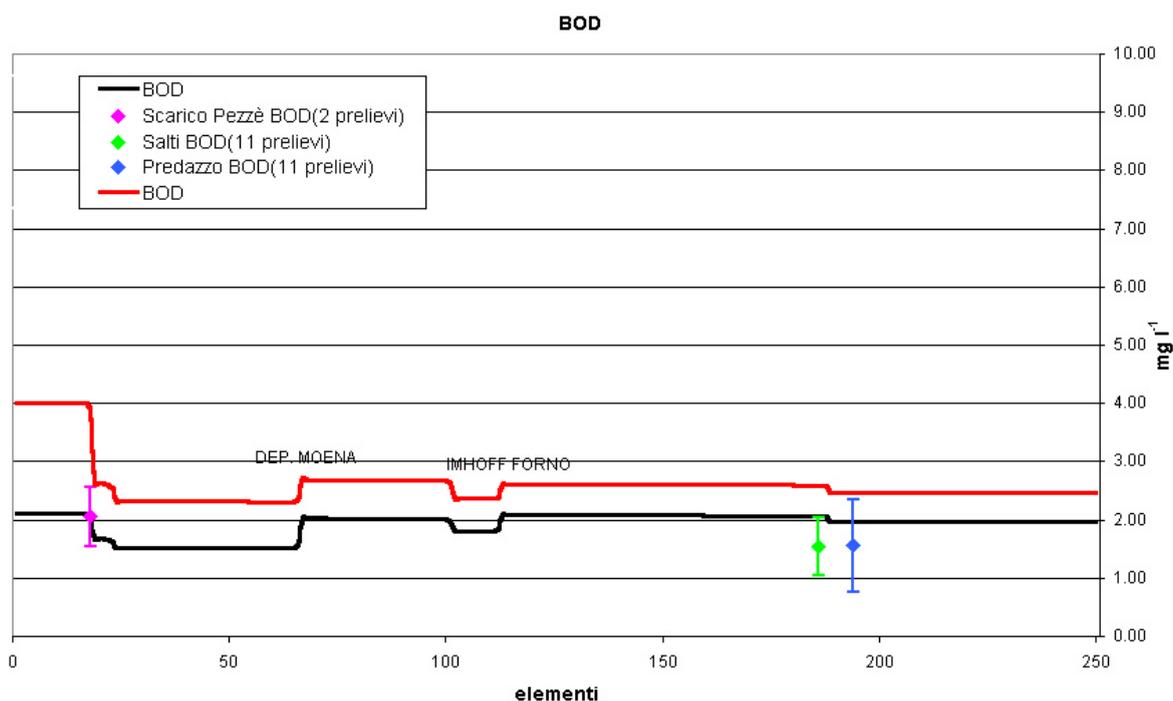
Questo scenario suppone il rilascio della portata con la presenza di sostanza organica proveniente dal bacino di Pezzè ( $\text{BOD5} = 2 \text{ mg l}^{-1}$ ). La modifica si effettua nel programma cambiando le caratteristiche dell'input nella schermata "Headwater Source Data".

La simulazione comporterebbe uno studio approfondito delle dinamiche all'interno del bacino di Pezzè per la conoscenza delle sostanze organiche che, a seguito di un costante rilascio,

<sup>3</sup> Previsto dal DL 11-11-99 n. 463

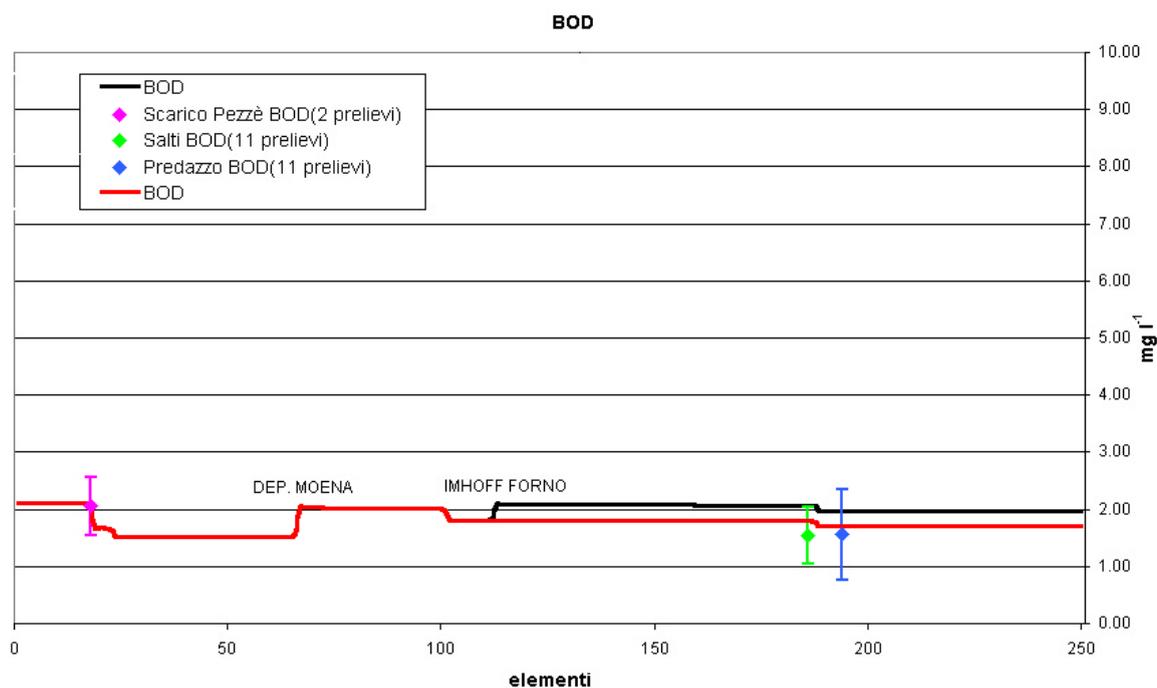
potrebbero tornare in Avisio dal Bacino. Tali quantità potrebbero rivelarsi critiche nel determinare la qualità del tratto a valle. QUAL2EU suggerisce che con un rilascio di sostanza organica pari a  $2 \text{ mg l}^{-1}$  si avrebbe già un innalzamento, seppur lieve, del BOD5 nel tratto considerato (peggioramento della qualità).

*OUTPUT 011 - RILASCIO DI  $2 \text{ L S}^{-1} \text{ KM}^{-2}$  DAL BACINO DI PEZZÈ DI MOENA CON  $\text{BOD5} = 4 \text{ MG L}^{-1}$*



Questa elaborazione ha raddoppiato la concentrazione di BOD5 nella portata in uscita dal bacino. Il peggioramento della qualità è più marcato, seppure le concentrazioni rimangano piuttosto basse confronto al tratto superiore.

## OUTPUT 015 – COLLETTAMENTO DELLA IMHOFF DI FORNO



Questo scenario ha la finalità di quantificare l'incidenza della Imhoff di Forno sulla qualità dell'Avisio nel secondo tratto esaminato. Come è desumibile dal grafico, l'influenza è minima e si manifesta nel tratto a valle dell'abitato di Forno.

## CONSIDERAZIONI GENERALI SUGLI OUTPUT DI QUAL2EU

L'utilizzo di un modello matematico per la simulazione di parte dei fenomeni che coinvolgono il bacino dell'alto Avisio relativamente al tratto Fedaia-Predazzo ha imposto la costruzione di un modello concettuale. Questa procedura implica scelte che riguardano l'approccio al problema, come la determinazione della scala temporale ad esempio, ma anche l'utilizzo di strumenti adeguati come AQUARIUM. In questo ambito QUAL2EU rappresenta un modello in grado di dare risposta a molti quesiti in maniera diretta, tramite un output mirato, oppure indiretta, sfruttando la possibilità di generare più scenari che possono essere confrontati.

Gli output riguardanti la situazione attuale, oltre a dare la distribuzione spaziale lungo l'asta fluviale dei parametri simulati, definiscono immediatamente (tramite l'indicatore BOD5) le zone più critiche dove è necessario attivare una più approfondita attività di monitoraggio. Nel caso studio, la zona più critica è situata tra la derivazione di Pozza e il serbatoio di Pezzè di Moena, sebbene tutto il tratto di torrente dal depuratore di Campitello al serbatoio di Pezzè risenta in modo negativo della pressione antropica del periodo invernale. Questa situazione, oltre ad essere immediatamente visibile (l'alveo presenta un aspetto degradato e l'acqua schiume dopo le briglie), è testimoniata da una previsione del valore BOD5 da parte del modello sempre superiore a  $3 \text{ mg l}^{-1}$ .

E' tuttavia doveroso affermare che la simulazione non rappresenta il caso "peggiore" ipotizzabile, in quanto tutti i dati utilizzati sono basati su scala temporale mensile che implica il trascurare fenomeni di picco (come portate estremamente basse o presenze turistiche eccezionali che hanno scala settimanale o addirittura giornaliera). La simulazione mensile rimane comunque la migliore, poiché soddisfa le esigenze conoscitive del governo del territorio ed allo stesso modo è compatibile con i mezzi investigativi in possesso degli organi provinciali.

La generazione di molteplici scenari nel primo tratto del torrente ha definito gli interventi necessari e la loro priorità:

1. il depuratore di Pozza rappresenta l'intervento necessario per il risanamento di questo tratto di Avisio; nonostante il suo scarico sia posto appena a valle della griglia di captazione del Consorzio Idroelettrico di Pozza, la qualità del torrente non viene peggiorata in modo incisivo. La captazione, quindi, non è determinante quando il depuratore è in funzione con un abbattimento teorico del 95% del BOD5. Un maggior rilascio da parte del Consorzio potrebbe rivelarsi importante nella situazione attuale, ciò potrebbe aiutare a diluire lo scarico della Imhoff di Pozza che tutt'oggi è il più impattante;

2. il collettamento dello sfioro presso il depuratore di Campitello dovrebbe rappresentare il secondo passo nella politica di risanamento della vallata. Questo intervento andrebbe ad agire in una delle aree più critiche dal punto di vista di presenze turistiche, producendo

così un miglioramento diffuso sul tratto in esame che si ripercuoterebbe su tutto l'ecosistema fluviale. Tale collettamento, assieme all'attivazione del depuratore, assicurerebbero un miglioramento stabile della qualità dal punto di vista dell'indicatore BOD5. Anche in questo scenario poco influisce la captazione del Consorzio di Pozza.

L'output 22, riguardante lo scenario che ipotizza la presenza di soli residenti, mette in evidenza il problema della valle dal punto di vista ambientale: un incremento di presenze turistiche, appoggiato da infrastrutture quali alberghi e impianti di risalita, che non è stato seguito da un piano di salvaguardia del torrente.

Il tratto a valle dell'invaso di Pezzè di Moena non si presenta critico, essendo l'acqua del rio San Pellegrino in grado di determinarne quantità e qualità. La situazione di questo tratto sarà modificata dall'aumento di portata previsto dal DL 11/11/99 n° 463 e soprattutto dalla qualità dell'acqua che verrà rilasciata. E' chiaro che un rilascio costante dallo sbarramento di Pezzè potrebbe essere in grado di peggiorarne la qualità. Sarà necessario verificare come questa legge riguardante il rilascio verrà applicata in tale zona.

Caratteristica saliente di questo caso studio sono le basse temperature che tolgono alla simulazione l'aspetto del consumo di sostanza organica. Guardando poi i tempi di percorrenza ci si rende conto che comunque la "curva a sacco" non avrebbe lo spazio per svilupparsi in toto (i tempi di percorrenza del torrente nel tratto Fedaia – Pezzè, circa 5 ore ad una velocità media di  $1.33 \text{ m s}^{-1}$ , il tempo scala delle cinetiche di consumo del BOD, per  $K_1 = 0.3 \text{ d}^{-1}$  a  $20 \text{ °C}$ , risulta invece di circa 80 ore). Queste dinamiche non significano che il modello è inadatto alla tipologia del corso d'acqua in esame ma bensì che QUAL2EU ha fornito una corretta simulazione dei fenomeni tipici del periodo invernale. E' sottinteso che per una maggiore comprensione del corso d'acqua sarebbe necessario implementare i dati relativi al periodo estivo ed aggiungere altri indicatori e fenomeni alla simulazione.

## CONCLUSIONI

L'applicazione dei modelli richiede, come primo passo, la progettazione del modello concettuale che rappresenta la realtà fisica attraverso una serie di informazioni che possono essere sia puntuali che distribuite. La raccolta e l'accorpamento di questi dati permette di capire il sistema ambientale ed i relativi problemi. In questo ambito riveste un ruolo importante la scelta della scala temporale di aggregazione delle informazioni che definisce il grado di dettaglio utile alla rappresentazione spaziale e temporale. La modellistica aiuta quindi a conoscere meglio il territorio perché costringe a schematizzarlo e sintetizzarlo nei suoi aspetti più essenziali.

Tanto più il modello concettuale è preciso e coglie gli aspetti essenziali della realtà fisica del territorio analizzato, maggiore precisione e aderenza alla realtà ci si potrà aspettare nei risultati prodotti. Nel caso specifico, il modello di qualità QUAL2EU, sviluppato per realtà fluviali statunitensi, ha mostrato risultati validi anche in territori tipicamente alpini grazie ad un buon modello concettuale di partenza.

L'utilizzo di un modello di simulazione degli aspetti qualitativi della risorsa idrica non può più essere disgiunto da un modello quantitativo; le scarse conoscenze del regime dei deflussi nei vari bacini (basti pensare alle poche stazioni idrometriche presenti) possono essere compensate solo dall'utilizzo di modelli di bilancio idrologico. La normativa vigente in materia di acque superficiali non consente più infatti di scindere gli aspetti qualitativi da quelli quantitativi e parla infatti (art 1, comma 2, paragrafo b del DL 152) di "tutela integrata degli aspetti qualitativi e quantitativi nell'ambito di ciascun bacino idrografico..". Con queste prerogative si comprende l'utilità dell'utilizzo in cascata dei due modelli MODIDR e QUAL2EU.

Riguardo ai risultati prodotti dai modelli matematici non ci si deve aspettare la precisione assoluta in termini di valori numerici, anche se il dato comunque fornisce una buona stima dei fenomeni che si vanno a modellare, ma essi devono essere utilizzati come punto di partenza per generare diversi scenari di intervento sul territorio. Il loro confronto permette di produrre risposte ai possibili quesiti di intervento quantificando in termini relativi, la bontà o meno di un intervento rispetto ad un altro.

Un altro ruolo importante degli output prodotti dal modello è quello di aiutare gli Enti incaricati al controllo nella progettazione delle campagne di monitoraggio grazie alla immediata individuazione delle sezioni critiche.

Inoltre, la possibilità di generare in tempi brevi scenari futuri, offre agli operatori del settore uno strumento utile alla pianificazione territoriale per uno sviluppo sostenibile e la possibilità di verifica del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale.

Con riferimento all’ “Individuazione e perseguimento dell’obiettivo di qualità ambientale” il DL 152 nell’articolo 5, comma 3 recita: “Ai fini di assicurare entro il 31 dicembre 2016 il raggiungimento dell’obiettivo di qualità ambientale corrispondente allo stato –buono- , entro il 31 dicembre 2008 ogni corpo idrico superficiale classificato o tratto di esso deve conseguire almeno i requisiti dello stato -sufficiente- di cui all’allegato 1”. Solo l’utilizzo della modellistica consente di verificare, i tempi brevi e con un utilizzo contenuto di risorse, le possibilità di raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale ed eventualmente i migliori interventi sul territorio atti al loro raggiungimento.

Nell’applicazione dei due modelli è stata inoltre evidenziata la necessità di avere una buona conoscenza del territorio e la competenza necessaria alla realizzazione di simulazioni quanto più veritiere. Il modello deve infatti descrivere la realtà, non deve essere una pura speculazione teorica; il modellista deve interagire con le persone che hanno già approfondito problematiche riguardanti il territorio in esame, nonché indagare la realtà da simulare con sopralluoghi, campagne di monitoraggio, etc...

Non bisogna dimenticare che ogni scenario simulato è tempo-dipendente, quindi ogni simulazione è strettamente legata al periodo in cui è stata generata; questo vincolo impone una oculata analisi dei dati di input quando si voglia modificare il periodo dell’implementazione.

Tra gli aspetti fondamentali evidenziati da questo studio non si deve dimenticare la capacità dei modelli matematici di distribuire spazialmente le informazioni che, negli input, sono puntuali: la possibilità di integrare le informazioni consente la realizzazione di una pianificazione territoriale più generale e strategica.

Il nodo cruciale dell’utilizzo di AQUARIUM e dei modelli matematici in esso contenuti nella Pubblica Amministrazione è legato alla consapevolezza che ad esso non può essere assegnato un ruolo di secondo piano. La modellistica in particolare deve crescere ed affinarsi continuamente, tale operazione richiede uno sforzo a tempo pieno e deve rappresentare l’attività principali per le persone di competenza. E’ uno spreco di energia e di risorse pensare che il primo passo nella realizzazione di un processo di informatizzazione sia legato alla fornitura di software o hardware senza la formazione di personale ad hoc. Il relegare l’utilizzo di tali strumenti ad un ruolo di secondo piano porta infatti o ad un utilizzo superficiale e controproducente di tali strumenti o addirittura al loro accantonamento.

Si fa notare a riguardo come, in relazione alla nuova normativa sulle acque sia superficiali che sotterranee, l'uso della modellistica sia auspicato se non addirittura imposto dal legislatore stesso (e.g. DL n. 471, ottobre 1999).

In conclusione si può affermare che questo caso studio ha messo in evidenza le potenzialità e i limiti di due dei modelli qui utilizzati, MODIDR e QUAL2EU, e si pone sicuramente come punto di partenza per una loro applicazione più estesa e per una prima implementazione degli altri modelli contenuti in AQUARIUM.

## BIBLIOGRAFIA

- APPA, Provincia Autonoma di Trento, 1995 – *Piano Provinciale di Risanamento delle Acque, Volumi 1, 2, 3.*
- APPA, Provincia Autonoma di Trento, 1996 – *Qualità delle acque superficiali. Monitoraggio dei corsi secondari in Provincia di Trento.*
- APPA, Provincia Autonoma di Trento, 1998 – *Qualità delle acque superficiali. Monitoraggio dei corsi principali in Provincia di Trento.*
- Augusto Ghetti, Edizioni Cortina, 1994 – *Idraulica.*
- Crippa Alessandra, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Milano, 1999 – *Impatto della depurazione biologica sull'ecosistema acquatico: il caso del torrente Avisio (Campitello di Fassa, TN).*
- EPA, 1985 – *Rates, Constants, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling (Second Edition).*
- EPA, 1995 – *QUAL2E Windows Interface User's Guide.*
- EPA, Linfield C. Brown and Thomas O. Barnwell, Jr., 1987 – *The enhanced stream water quality models QUAL2EU and QUAL2E U-uncas: documentation and user manual.*
- Gorfer Aldo, Manfrini Editori, 1977 – *Le valli del Trentino.*
- ISTITUTO DI IDRAULICA "GIOVANNI POLENI", Luigi Da Deppo, Claudio Datei e Paolo Salandin, Edizioni Cortina, 1995 – *Sistemazione dei Corsi d'Acqua.*
- Physis, Ingegneria per l'Ambiente, 2000 – *MODIDR, Modello distribuito per il bilancio idrologico di bacino, relazione tecnica e guida all'uso del programma.*
- Progetti Interregionali SINA, Atti del Corso SINA, 7 - 10 settembre 1999 – *PROGETTO AQUARIUM Manuale Didattico per l'Utilizzo dei Modelli Relativi alle Acque Superficiali.*

## **ENTI E SERVIZI CONTATTATI**

- *Agenzia Provinciale Protezione Ambiente – PAT.*
- *Autorità di Bacino del Fiume Adige.*
- *Consorzio Idroelettrico Pozza di Fassa.*
- *Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Università degli Studi di Trento.*
- *Informatica Trentina spa.*
- *Physis, Ingegneria per L’Ambiente.*
- *Servizio Azienda Speciale di Sistemazione Montana – PAT.*
- *Servizio Geologico – PAT.*
- *Servizio Opere Igienico-Sanitarie e HEIDI project – PAT.*
- *Servizio Statistica – PAT.*
- *Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio – PAT.*
- *Settore Laboratorio e Controlli – PAT.*
- *SIAT – PAT.*
- *Ufficio Derivazioni e Dighe di Sbarramento – PAT.*
- *Ufficio Idrografico – PAT.*