



FASE

**II BILANCIO DELLE DISPONIBILITA' IDRICHE NATURALI E VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DEI PRELIEVI**

ATTIVITA'

**II.j SOFTWARE DI SIMULAZIONE IDROLOGICA E GESTIONE DEL SISTEMA IDRICO COMPLESSIVO**

ELABORATO

**II.j/1 Rapporto tecnico**

CODICE DOCUMENTO

1 5 7 0 / 0 2 - 3 0 1 0 1 . D O C

01	MAR. 04	C.MOSCA	M.BUFFO	A.PORCELLANA	
00	MAG. 03	C.MOSCA	M.BUFFO	A.PORCELLANA	
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

Associazione temporanea di imprese

## INDICE

1. PREMESSA	1
2. L'USO DI MODELLI PER LA GESTIONE INTEGRATA DELLE RISORSE IDRICHE	2
3. LA STRUTTURA GENERALE DEL SISTEMA MODELLISTICO DEL PTA	3
3.1 Il modulo di rappresentazione generale di sistema	5
3.1.1 MIKE INFO	5
3.1.2 MIKE BASIN	7
3.2 Modelli di settore/rappresentazione del ciclo idrologico	11
3.2.1 MIKE 11	11
3.3 Modelli di settore/rappresentazione dei sistemi acquiferi di pianura	18
3.3.1 MIKE SHE	18
3.4 Modelli di simulazione dei fenomeni di propagazione di inquinanti nella rete idrografica di pianura	24
3.5 Modelli specifici dettagliati di qualità delle acque sotterranee e della diffusione di inquinanti di origine agricola	27
3.5.1 DAISY	28
4. GLI SCENARI DI SIMULAZIONE	32

ANNESSO 1 – Il modello MIKE INFO  
ANNESSO 2 – Il modello MIKE BASIN  
ANNESSO 3 – Il modello MIKE 11  
ANNESSO 4 – Il modello MIKE SHE  
ANNESSO 5 – Il modello DAISY

## 1. PREMESSA

Nella presente relazione, relativa alla seconda fase del progetto “INDAGINI E STUDI FINALIZZATI ALLA PREDISPOSIZIONE DEL PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DI CUI AL DECRETO LEGISLATIVO 152/1999”, denominata “Bilancio delle disponibilità idriche naturali e valutazione dell'incidenza dei prelievi”, viene descritta la struttura funzionale del sistema di modelli numerici per la simulazione in continuo dei deflussi fluviali e dei sistemi di falde sotterranee.

L'utilizzo di strumenti quali i modelli matematici permette di individuare le componenti del bilancio idrologico e idrogeologico utilizzando una scala temporale e spaziale di simulazione idonea per gli obiettivi a scala regionale di pianificazione della risorsa idrica e di valutazione delle componenti di qualità della stessa.

La messa a punto ed applicazione di un dispositivo modellistico integrato per la rappresentazione del ciclo idrologico a scala di bacino e del sistema antropico (utilizzazioni e scarichi) in termini sia di impatto quali-quantitativo sia di regole di gestione della risorsa, rappresenta un elemento fondamentale del progetto, che consente la rappresentazione dello stato attuale del sistema idrografico regionale e la verifica degli scenari di pianificazione rivolti al conseguimento degli obiettivi di qualità ambientale del PTA.

Il sistema modellistico proposto ha una forte connotazione unitaria, come descritto nei capitoli successivi, e si basa da un lato sulle caratteristiche di flessibilità, robustezza e modularità dei codici numerici del DHI Water & Environment<sup>1</sup>, dall'altro su specifiche esperienze applicative svolte in ambito regionale in tempi recenti (il sistema regionale di previsione delle portate<sup>2</sup> e lo studio pilota del bilancio idrico del bacino della Stura di Lanzo<sup>3</sup>, oltre che applicazioni modellistiche nel campo della rappresentazione dei fenomeni di qualità dell'acqua sull'asta del Po, del Bormida e dello Scrivia).

Il sistema proposto si colloca in una linea di continuità con le precedenti applicazioni, utilizzando integralmente le esperienze maturate e inserendosi con coerenza nella struttura tecnica regionale, già dotata in alcuni settori dei codici numerici in oggetto e addestrata all'utilizzo degli stessi: Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione, Settore Difesa del Suolo, Direzione Pianificazione Risorse Idriche .

Il sistema, inoltre, oltre a rispondere pienamente alle finalità del progetto, costituisce uno strumento di supporto per la verifica periodica degli scenari attuativi del PTA.

---

<sup>1</sup> DHI Water & Environment (Danish Hydraulic Institute, Water Quality Institute)

<sup>2</sup> Regione Piemonte, Servizi Tecnici di Prevenzione/Sistema informativo per la previsione delle piene dei corsi d'acqua del bacino idrografico piemontese/Hydrodata, CAE, Intecno DHI/2000÷2001.

<sup>3</sup> Regione Piemonte, Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche/Studio del bilancio idrico e programma di riequilibrio dei prelievi d'acqua per il bacino idrografico della Stura di Lanzo/Hydrodata, Intecno-DHI/2001÷2002.

## **2. L'USO DI MODELLI PER LA GESTIONE INTEGRATA DELLE RISORSE IDRICHE**

La gestione integrata delle risorse idriche a scala regionale è possibile soltanto grazie all'aiuto di procedure numeriche avanzate comprendenti moduli di presentazione, analisi e simulazione, in grado di indirizzare i vari aspetti gestionali.

La procedura deve essere in grado di allocare e poi utilizzare correttamente tutte le informazioni disponibili e supportare sia le decisioni su scala giornaliera sia quelle a lungo termine dei gestori della risorsa idrica.

Attraverso l'uso di modelli numerici, una procedura di analisi può diventare, con pochi adattamenti, una procedura operativa anche in tempo reale; inoltre deve essere sufficientemente semplice per essere usata nella gestione in continuo del sistema e fornire risultati direttamente fruibili. Allo stesso tempo, le decisioni devono poter essere prese sulla base di livelli di conoscenza accettabili e condivisibili in rapporto alla scala dei problemi affrontati.

Per utilizzare informazioni dinamiche e fornire risposte a quesiti di carattere idrologico, idrogeologico e relativi alla qualità della risorsa è quindi necessario utilizzare strumenti molto avanzati, che tengano conto:

- del comportamento del regime idrologico della Regione Piemonte, complesso e articolato in relazione alla forte differenziazione morfologica e climatica del territorio;
- delle relazioni tra acque sotterranee e acque superficiali nella zona di pianura;
- degli obiettivi di qualità fissati per le acque superficiali e sotterranee, sulle quali insistono sia fonti di inquinamento diffuso di origine agricola che puntuali di origine industriale;
- delle caratteristiche ecologiche di specifiche zone umide, fiumi, laghi.

Si tratta di un approccio basato sul principio che le risorse idriche e il territorio di un bacino idrografico costituiscono un insieme unitario, e in ragione di ciò devono essere evitati futuri conflitti legati all'uso dell'acqua.

La gestione dei bacini idrografici e la pianificazione degli usi può essere concepita come un tentativo di identificare le migliori soluzioni di utilizzazione della risorsa idrica tenuto conto di determinati vincoli legati alla natura del suolo, del territorio e dell'assetto agricolo, industriale e insediativo.

Per effetto della molteplicità di destinazioni d'uso della risorsa, le situazioni di conflittualità legate all'adozione di singoli schemi e l'interdipendenza tra acqua, suolo e uso del suolo conferiscono un elevato carattere di problematicità alla gestione dei bacini idrografici.

La pianificazione dei futuri scenari di gestione in un bacino richiede pertanto che i risultati dei singoli studi di settore e di aspetti particolari siano riuniti e confrontati con un metodo di lavoro in grado di supportare un'analisi di tipo integrato.

Un solo modello non è in grado di conseguire tutti questi obiettivi alle varie scale, e si rende pertanto necessario considerare un insieme di applicazioni in grado di fornire risposte adeguate ai vari problemi e alle varie scale.

E' quindi essenziale mantenere la specificità di ciascuna componente del sistema di gestione, sviluppando nel contempo un modulo di rappresentazione generale del sistema in grado di sintetizzare tutti i risultati forniti dai più avanzati modelli di settore.

I codici di calcolo del DHI possono utilizzare le potenzialità combinate in termini di:

1. immagazzinamento ed accesso a grandi quantità di dati, nella forma di mappe elaborate dal calcolatore e serie cronologiche;
2. metodi analitici semplici;
3. standard di presentazione dei risultati;
4. modelli concettuali in grado di indirizzare i vari aspetti della gestione della risorsa idrica a scala regionale;
5. modelli avanzati, fisicamente basati, per studi di dettaglio relativi all'impatto e alle risposte dei bacini idrologici a vari interventi-sollecitazioni.

Inoltre, i dispositivi modellistici devono essere reciprocamente compatibili e devono, nella maggior misura possibile, consentire un utilizzo ottimale delle informazioni immagazzinate tra i dati esistenti e stratificati nel corso delle applicazioni.

L'obiettivo primario delle prime 3 specializzazioni dei modelli (sopra elencate) consiste nel supportare i gestori della risorsa nel loro lavoro giornaliero; in questo senso, il dispositivo modellistico è in grado sia di allocare correttamente tutte le informazioni disponibili che di agevolare la formazione delle decisioni a breve e lungo termine, trattandosi di prodotti facilmente utilizzabili nella pratica giornaliera e in grado di fornire risposte significative di immediata fruibilità.

Le caratteristiche richiamate nei punti 4-5 sono funzionali a fornire gli elementi di valutazione degli impatti attesi a seguito dell'attuazione di scenari gestione della risorsa, in termini di variazioni spaziali e temporali.

### **3. LA STRUTTURA GENERALE DEL SISTEMA MODELLISTICO DEL PTA**

La figura che segue schematizza la struttura generale del sistema modellistico proposto nell'ambito del progetto PTA per la rappresentazione dei fattori fisici e antropici, formato dall'integrazione di diversi codici numerici del DHI Water & Environment.

Vanno innanzitutto evidenziati:

- il modello di rappresentazione generale del sistema costituito dai moduli MIKE INFO LAND AND WATER e MIKE BASIN, che associa al comparto GIS dei dati territoriali il sistema antropico, e riceve e sintetizza gli output idrologici, idrogeologici e di qualità dell'acqua prodotti dai modelli di settore;
- il complesso di modelli di settore rappresentativi dei fenomeni a scala regionale: idrologico (RR), idrodinamico (HD), idrogeologico (SHE) e di qualità dell'acqua (AD, WQ, EU);
- il complesso di modelli specifici mirati alle problematiche di generazione di inquinanti di origine diffusa (DAISY).

Il primo blocco di rappresentazione generale del sistema fisico e antropico costituisce il vero strumento di simulazione e verifica degli scenari attuali e futuri relativi allo stato quali-quantitativo della risorsa e agli effetti delle azioni mirate al conseguimento degli obiettivi del D.Lgs. 152/99.

Il secondo blocco di modelli di settore per la rappresentazione del ciclo idrologico e idrogeologico e dei fenomeni qualitativi nel sistema idrografico, ha la funzione di analizzare in modo approfondito l'evoluzione dei fenomeni a scala regionale (bacini montani, aree di pianura, reticolo idrografico complessivo per gli aspetti quantitativi, tratti di interesse e significato specifico della rete di pianura per i fenomeni qualitativi), fornendo i necessari elementi di input e calibrazione al modello generale.

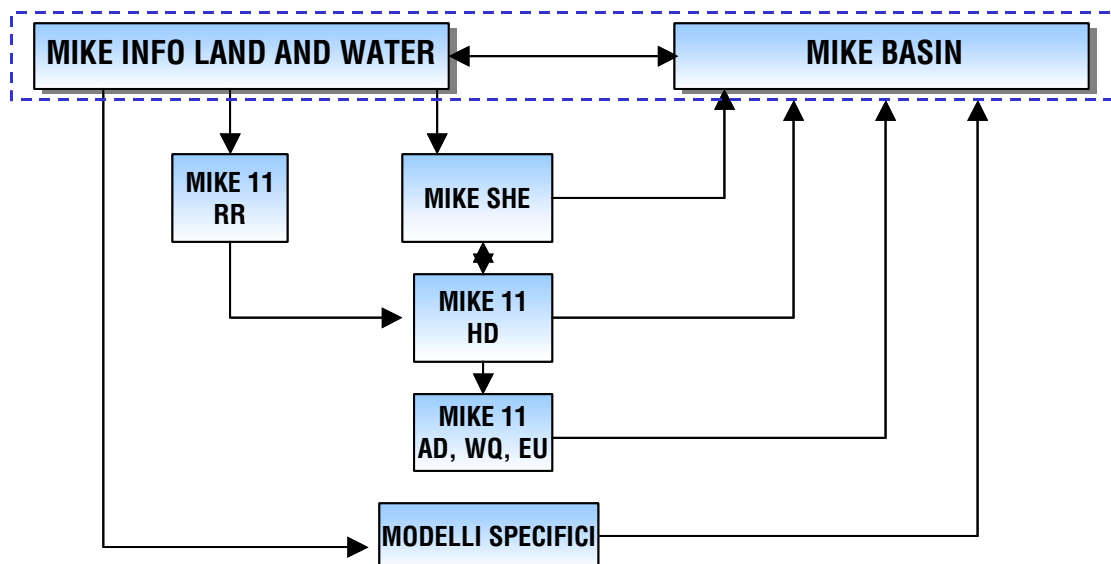


Figura 1 – Schema generale del sistema modellistico integrato

Nell'ottica dell'utilizzo del sistema per le applicazioni gestionali nella fase attuativa del PTA, l'effettiva simulazione delle interazioni tra il sistema fisico e il sistema antropico per la verifica delle azioni di pianificazione potrà essere svolta nella maggior parte dei casi con il solo utilizzo del modello generale (con periodici aggiornamenti delle serie di input e dei fattori di calibrazione con i modelli di settore),

ottenendo significativi vantaggi in termini di flessibilità, semplicità e rapidità applicativa.

I modelli specifici hanno invece prevalente significato nella fase di sviluppo del progetto.

Tutti i codici indicati, essendo derivati dalla stessa famiglia di programmi, presentano il massimo grado di compatibilità reciproca, di integrazione e di facilità di interscambio input/output. Ogni modulo dispone di database autonomi per le serie di dati cronologiche.

La compatibilità con i sistemi di gestione dei dati regionali è assicurata (e già verificata in applicazioni pregresse) attraverso le procedure di trasferimento degli shapfiles Arcview (integrabili in SIRI e AQUARIUM) e delle serie cronologiche negli standard Oracle delle banche dati regionali (una procedura di dialogo tra il sistema MIKE 11 e la banca dati Oracle del Servizio Meteorologico è stata messa a punto per la predisposizione del sistema regionale di previsione delle portate).

Saranno in ogni caso previste ulteriori procedure idonee di trasferimento-integrazione con il sistema informativo che sarà attivato in sede regionale a supporto del Piano di Tutela, una volta note le relative specifiche.

### **3.1 Il modulo di rappresentazione generale di sistema**

Nel contesto del progetto si individua come strumento “ombrello” il software MIKE INFO LAND & WATER, che affronta la problematica dell’uso razionale delle risorse idriche a scala di bacino.

#### **3.1.1 MIKE INFO**

Vengono sotto richiamate le funzionalità di base di MIKE INFO, di principale interesse per il progetto.

##### **Costruzione del reticolo di drenaggio**

La costruzione del reticolo di drenaggio può essere effettuata in riferimento all’intero dominio di dati a disposizione o ad un sotto dominio definito dall’utente tramite il tracciamento di una polilinea o di un rettangolo di delimitazione. Nella costruzione del reticolo di drenaggio il codice individua automaticamente la gerarchizzazione Horton-Strahler e si ferma all’ordine definito, oppure può definire una cella come appartenente alla rete di drenaggio se defluiscono in essa almeno i contributi di un numero minimo di celle definito dall’utente.

La figura 2 fornisce una rappresentazione della funzionalità di MIKE INFO nella gestione di dati raster per la caratterizzazione morfometrica del reticolo di drenaggio e dei bacini. E’ riconoscibile la

schermata tipica di ArcView. Le funzionalità MIKE INFO sono rappresentate, in questo caso, dalla finestra che appare a destra (Catchment Delineation) e che gestisce l'analisi del DEM.

#### Calcolo dell'area drenata e delle linee di spartiacque

Definita dall'utente una cella del reticolo di drenaggio il codice perimetra in automatico il bacino sotteso dalla sezione individuata esaminando il DEM. Il calcolo automatico è già stato applicato e validato in diverse circostanze, ma possono riscontrarsi problemi applicativi per le sezioni di pianura in cui la scarsa pendenza del terreno e la presenza di una fitta rete idrografica, in parte naturale ed in parte artificiale, può determinare una limitata significatività del tracciamento. Per superare questo problema al codice sono stati forniti una serie di spartiacque principali precedentemente tracciati che servono come condizione limite al calcolo automatico.

#### Calcolo dei parametri morfometrici del bacino

Individuate le celle appartenenti ad un bacino il codice fornisce la superficie, la curva ipsografica, la suddivisione planimetrica di aree a diverse fasce altimetriche, la pendenza dei versanti, la stima della pendenza dell'asta principale ("stima" in quanto effettuata in riferimento ai valori di elevazione letti sulle celle del DEM e non del profilo di rilievo), le aggregazioni di parametri morfometrici del bacino più interessanti.



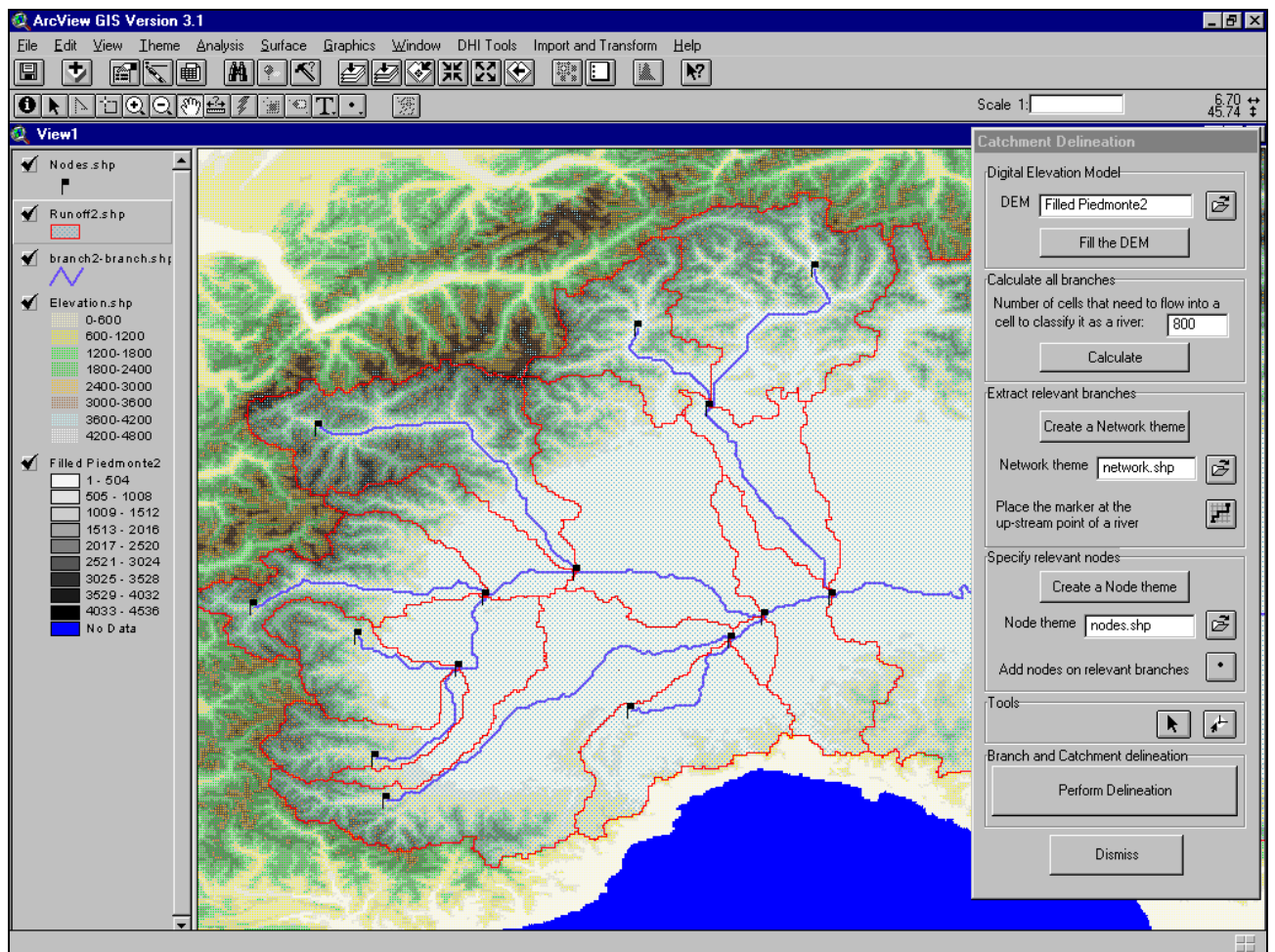


Figura 2 – Esempio di schematizzazione del reticolo in MIKE INFO

### Calcolo dei parametri per la modellazione idrologica

Aggregando sui bacini definiti dall'utente le altre informazioni a disposizione sull'uso del suolo, sulla permeabilità del terreno e sul substrato geologico, il modello può gestire e preparare l'input al modulo RR di trasformazione afflussi-deflussi in modalità automatica.

#### 3.1.2 MIKE BASIN

Il motore di MIKE INFO LAND & WATER è MIKE BASIN.

A livello generale, si tratta di una rappresentazione matematica del comportamento dei bacini idrografici che riproduce la configurazione della rete idrografica principale e secondaria, l'idrologia

nelle sue componenti spaziale e temporale, i maggiori schemi di utilizzo (esistenti o in progetto) e le varie tipologie di idroesigenza.

Il modulo MIKE BASIN WQ aggiunge la possibilità di eseguire simulazioni relative allo stato di qualità dei corpi idrici.

Le caratteristiche del MIKE BASIN rispondono completamente ai requisiti richiesti nel capitolato riguardo alla modellistica di simulazione dei sistemi idrici, ovvero:

- organizzazione vettoriale a rete che consenta agevolmente di aggiungere e sottrarre il contributo di utenze all'interno di una rete gerarchica di collegamenti appoggiata alla rete idrografica;
- interfaccia gis che consenta di georeferenziare gli elementi del sistema;
- moduli per la rappresentazione dei flussi idrici relativi agli invasi artificiali e alle derivazioni in genere, incluse quelle relative ai canali irrigui, in grado di specificare completamente le caratteristiche degli stessi e di simulare specifiche regole gestionali;
- modulo per la specifica simulazione dei sistemi di invaso sotterraneo sottoposti a prelievo di caratteristiche qualsiasi;
- modulo per la gestione dei centri di domanda idrica in relazione a diverse regole operative.

I parametri di ingresso fondamentali del modello comprendono una serie di dati tempo-dipendenti relativi ai deflussi nel bacino; ulteriori parametri di ingresso definiscono le caratteristiche degli invasi e delle relative regole operative, i dati delle serie meteorologiche e informazioni relative ai punti di approvvigionamento idrico e agli schemi irrigui (dal prelievo alla restituzione).

MIKE BASIN è strutturato come un modello a rete nel quale i fiumi e i loro tributari sono descritti mediante una maglia configurata per rami e nodi. I rami sono compresi tra sezioni fluviali definite, mentre i nodi sono situati nei punti di confluenza tra rami diversi, oppure in corrispondenza di siti di interesse notevole.

Il modello opera sulla base di un reticolo idrografico generato direttamente a video mediante ArcView GIS; tutte le informazioni relative alla configurazione della rete, posizione delle utenze idriche, invasi e punti di presa e restituzione vengono altresì definiti mediante operazioni a video.

Ulteriori operazioni del programma MIKE INFO LAND & WATER permettono, oltre alle funzionalità "territoriali" già descritte, l'analisi statistica di serie idrologiche per la definizione di probabilità di accadimento di eventi estremi, l'interpolazione dei dati puntuali di afflusso, l'accesso agevole ai dati provenienti dalle stazioni di monitoraggio ed altre opzioni aggiuntive.

Il principio matematico utilizzato in MIKE BASIN consiste nell'identificazione di soluzioni stazionarie per ogni gradino di calcolo; in questo senso, può essere utilizzato per identificare "valori tipici" dei parametri di qualità e deflusso in un sistema a basso tasso di modificazione (ad esempio, i cicli stagionali nel corso dell'anno).

Il pregio di MIKE BASIN risiede nella velocità di calcolo, che permette l'esplorazione ad un livello approssimativo accettabile di una grande quantità di scenari.

I dati in uscita dalle simulazioni di MIKE BASIN consistono in serie cronologiche, definite in modo appropriato per ciascun nodo e ramo fluviale; ad esempio, risulta di particolare interesse per gli utenti della risorsa il deficit di domanda, mentre nel caso dei serbatoi viene restituito in uscita il livello dell'acqua.

I risultati delle simulazioni sono presentati mediante MIKE INFO LAND & WATER attraverso utili grafici, diagrammi, tabelle etc., e possono altresì essere visualizzati come serie cronologiche attraverso l'opportuno Editore di serie cronologiche in forma tabellare idonea per la pubblicazione sul WEB, o direttamente in ArcView (sovraimposte sul reticolo idrografico digitalizzato)

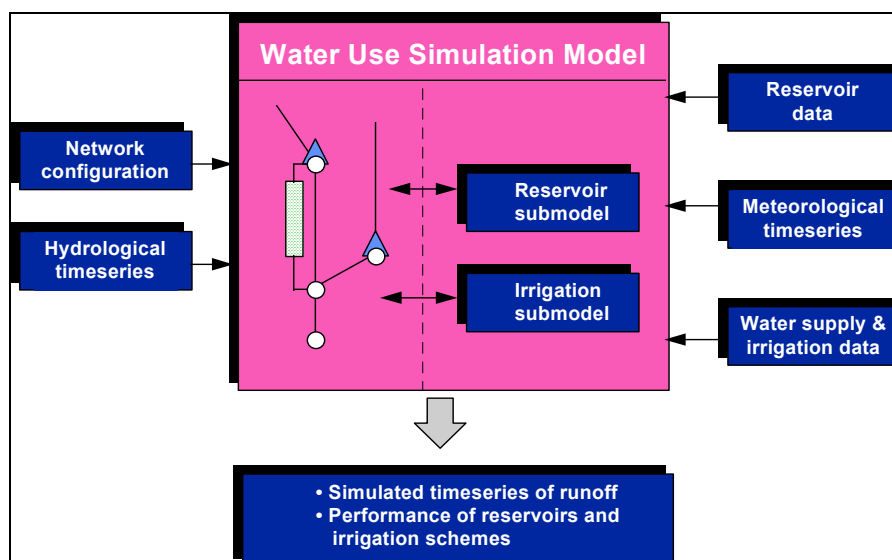


Figura 3 - Schema del codice MIKE BASIN

MIKE BASIN può operare con intervalli di tempo compresi tra meno di un giorno e un mese, ed è pertanto adatto a condurre simulazioni pluriennali per verificare scenari di ottimizzazione relativi a lunghi periodi di simulazione.

MIKE BASIN può essere interfacciato con EXCEL, del quale utilizza le macro per definire gli obiettivi e il Solver per raggiungerli.

In conclusione, MIKE INFO LAND & WATER con MIKE BASIN utilizzato come motore rappresenta uno strumento flessibile ed equipaggiato con un'interfaccia molto "user-friendly" in grado di consentire all'utente di cambiare, rifinire o espandere il modello in qualsiasi momento.

Il modello MIKE BASIN è completamente interfacciato con il modello idrologico comprendente MIKE11 RR e MIKE11 HD.

Il gradino di base per lo sviluppo del modello MIKE BASIN a scala dell'intero territorio della Regione Piemonte consiste dapprima nella definizione del reticolo idrografico e dei nodi rilevanti nei siti di interesse. Questo lavoro viene indubbiamente semplificato dalla disponibilità su scala regionale dei modelli MIKE11 HD e MIKE11 RR, dai quali possono essere estratte tutte le condizioni al contorno per il deflusso nella rete idrica superficiale così come i deflussi nei sottobacini.

Le regole operative e l'entità dei prelievi necessitano di appositi approfondimenti per essere inseriti nel modello nella maniera più reale possibile; in mancanza di informazioni specifiche sono da utilizzarsi i dati delle concessioni di derivazione.

Il modello può quindi essere applicato per verificare vari schemi di riorganizzazione e/o razionalizzazione degli usi della risorsa nella regione con specifica attenzione alla gestione complessiva e al bilancio idrico.

Uno dei principali risultati delle simulazioni con MIKE BASIN consiste nella definizione di uno schema di bilancio relativo al consumo idrico per i vari settori d'uso, a scala regionale e di sottobacini, come richiesto nella fase II del progetto PTA

Il bilancio idrico è principalmente riferito al comparto delle acque superficiali, ma si integra facilmente con il bilancio delle acque sotterranee condotto con MIKE SHE, in particolare sui tratti fluviali in cui è evidente lo scambio fra il corso d'acqua e l'acquifero sottostante.

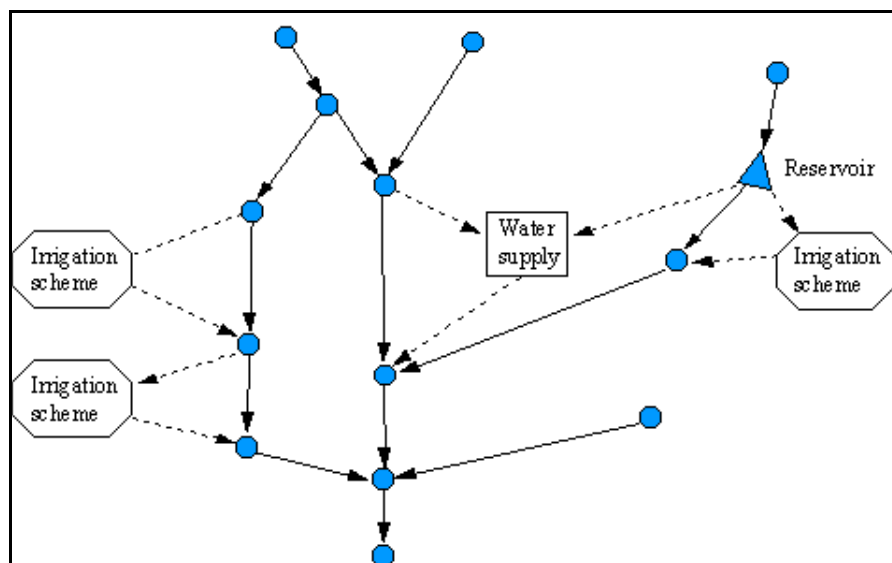


Figura 4 – MIKE BASIN/Schema con le utilizzazioni

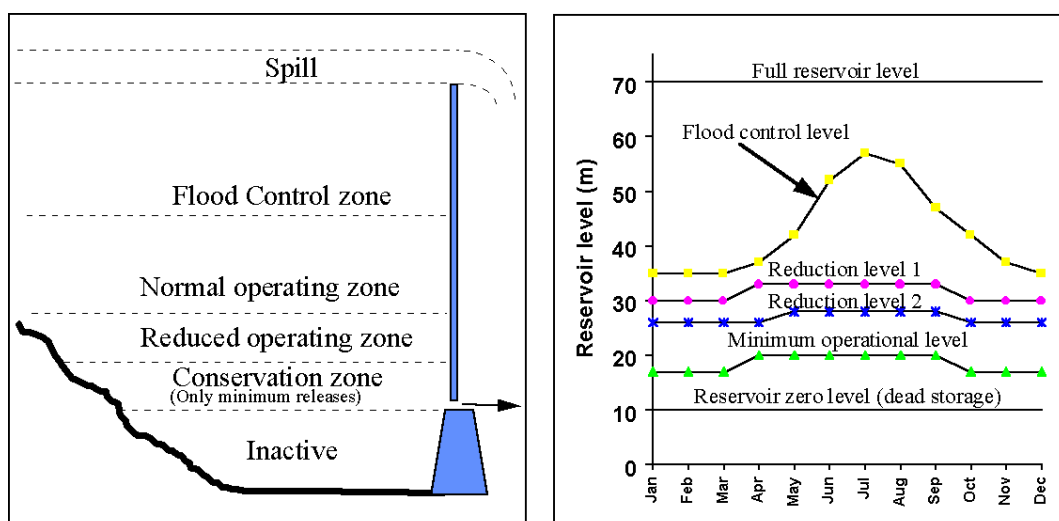


Figura 5 – MIKE BASIN/Schematizzazione delle regole operative di un serbatoio di ritenuta

### 3.2 Modelli di settore/rappresentazione del ciclo idrologico

#### 3.2.1 MIKE 11

La simulazione dei fenomeni idrologici di trasformazione afflussi-deflussi a scala regionale è stata sviluppata attraverso i moduli RR (afflussi-deflussi) e HD (idrodinamico) del codice numerico MIKE 11.

MIKE 11 è il codice di calcolo più diffuso, applicato, verificato e testato a livello mondiale per la modellazione dei processi idrodinamici nei fiumi e nelle aree di esondazione.

Lo sviluppo del MIKE 11 è cominciato nel 1972, anno della messa a punto del codice denominato SYSTEM 11, per mainframe. La conversione su PC è avvenuta nel 1986 e l'incorporazione nel codice MIKE 11 nel 1988. Negli anni '90 lo sviluppo del codice si è concentrato sull'estensione del range di processi fisici relativi all'idrologia e all'idraulica superficiale trattati nel sistema e allo sviluppo di un sempre più raffinato modulo di interfaccia con l'utente, appoggiato sui sistemi GIS.

La codifica "11" riguarda le caratteristiche matematiche del modulo di simulazione idrodinamico: 11 sta a significare monodimensionale nello spazio (1D orizzontale) e verticalmente omogeneo (1D verticale). Le equazioni del sistema numerico che sta alla base del codice (equazioni di de St. Venant) sono scritte nei termini  $x$ , variabile di posizione lungo l'asta fluviale, e  $t$ , tempo. Le caratteristiche del codice di calcolo consentono però di simulare sistemi idraulici con proprietà quasi-bidimensionali.

Per quanto riguarda le caratteristiche intrinseche del codice di calcolo l'ottimizzazione dei processi numerici, che comportano la massima stabilità e velocità nella risoluzione delle equazioni di base, è implementata nel modello "allo stato dell'arte". Questa è una delle ragioni per cui il codice è potuto arrivare ad essere implementato su PC con un anticipo di quasi 10 anni rispetto ai codici "concorrenti" ed è utilizzato al mondo da centinaia di organizzazioni, pubbliche e private, come supporto alla progettazione idraulica e alla gestione in tempo reale delle emergenze idrauliche.

Il codice, nato attorno alla simulazione idraulica e di trasformazione afflussi-deflussi, è andato strutturandosi ed evolvendosi nel tempo fino a diventare un pacchetto completo per la gestione delle problematiche complessive di idrologia e idraulica fluviale. Sono disponibili diversi moduli, in parte accoppiati ed in parte disaccoppiati rispetto ai moduli base, che permettono di simulare i problemi di trasporto solido e stabilità morfologica dell'alveo ed i problemi di qualità dell'acqua.

### *3.2.1.1 Il modulo RR*

RR è un modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi, deterministico, fisicamente basato, a parametri concentrati, costituito da un set di relazioni matematiche collegate fra loro in modo tale da descrivere quantitativamente la fase terrestre del ciclo dell'acqua.

RR simula in continuo la variazione di contenuto di acqua (in fase liquida o vapore) di serbatoi distinti e reciprocamente collegati, i quali rappresentano gli elementi fisici principali del bacino idrografico. I serbatoi rappresentano i seguenti processi: accumulo e scioglimento neve, intercettazione, infiltrazione, immagazzinamento nella falda.

Il modello matematico è fisicamente basato e utilizza equazioni matematiche assieme a relazioni semi-empiriche; alcuni parametri possono essere stimati dai dati fisici del bacino, altri sono definiti attraverso valori guida determinati in funzione delle caratteristiche del territorio e possono essere oggetto di calibrazione.

Il modulo "neve" è strutturato per sottobacini suddivisi in fasce altimetriche. Pur mantenendo una concettualizzazione a parametri concentrati, RR dà così la possibilità di rappresentare i processi di formazione e fusione della neve tenendo conto delle caratteristiche altimetriche del bacino e delle differenze di temperatura in quota.

La quantità d'acqua intercettata dalla vegetazione, come quella immagazzinata nelle depressioni del terreno e nelle porzioni più superficiali del suolo coltivato, è simulata con un serbatoio superficiale di capacità massima  $U_{max}$ . La quantità d'acqua nel livello subito sotto il suolo, cioè la zona delle radici ove avviene anche il processo di traspirazione, è simulata con un serbatoio inferiore sottostante, di capacità massima  $L_{max}$ . Il livello attuale di umidità del suolo  $L$ , che rappresenta lo stato di imbibizione dello strato radicale del terreno, è il nodo centrale del processo di trasformazione afflussi-deflussi. A seconda dello stato di umidità del suolo prevalgono gli effetti di corruzione superficiale o



di assorbimento dell'acqua e rilascio verso la falda e con deflusso ipodermico. Il modello simula quindi processi di trasformazione a "coefficiente di deflusso variabile".

La quantità di umidità  $U$  nel serbatoio superficiale è continuamente diminuita per evaporazione ed infiltrazione, ma durante la precipitazione viene aumentata in maniera considerevole. Quando viene saturata la capacità massima superficiale  $U_{max}$ , parte dell'eccesso di precipitazione  $P_n$  inizia a scorrere sulla superficie verso la rete di drenaggio, mentre parte si suddivide in infiltrazione verso la zona sottostante e verso la falda profonda.

Anche la quantità d'acqua contenuta nel serbatoio inferiore  $L$  è diminuita dalla traspirazione, mentre il contenuto reale di umidità controlla il tasso di infiltrazione.

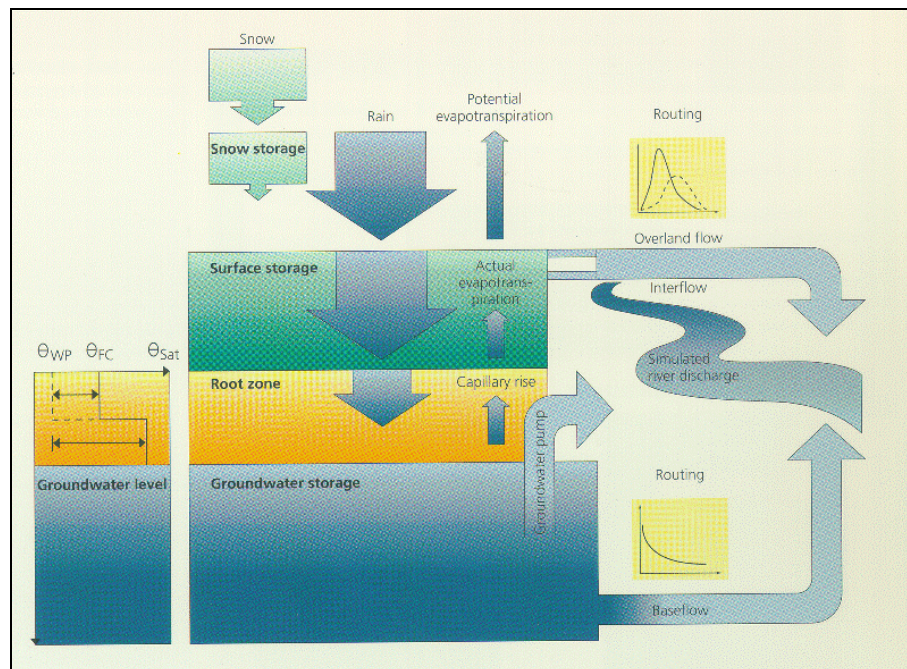


Figura 6 - Schema concettuale del modello idrologico RR.

L'acqua che percola, BFU, cioè la quantità d'acqua che non viene trattenuta in questo serbatoio, passa attraverso la zona insatura e raggiunge, ricaricandolo, il serbatoio della falda saturata.

Quando il serbatoio superficiale sfiora, cioè  $U \geq U_{max}$ , l'eccesso di pioggia produce: scorrimento QOF, proporzionale a  $P_n$  e variabile linearmente con il contenuto di umidità del suolo nel serbatoio inferiore  $L/L_{max}$ ; infiltrazione, di cui una parte  $DL$  aumenta il contenuto di umidità del serbatoio  $L_{max}$ , mentre l'altra  $G$  percola in profondità e ricarica il serbatoio rappresentante la falda, attraverso parametri costanti inferiori all'unità e dimensionali CQOF (coefficiente di permeabilità superficiale), CLOF (valore soglia per deflusso superficiale) e CLG (valore soglia per la percolazione).

Il contributo del deflusso ipodermico QIF è assunto proporzionale ad  $U$  e varia linearmente con il contenuto relativo  $L/L_{max}$  del serbatoio intermedio, secondo una legge simile alle precedenti con altre costanti adimensionali.

Le perdite per evapotraspirazione sono considerate in prima approssimazione proporzionali al tasso potenziale dal serbatoio superficiale; se il contenuto di umidità  $U$  è inferiore a tale tasso potenziale, la frazione rimanente per raggiungerlo è presa dalla zona delle radici con un tasso reale  $E_a$ , che è proporzionale al tasso potenziale.

Il fenomeno della percolazione viene simulato con un serbatoio lineare con una costante di tempo CKUZ che ritarda la ricarica della falda BFU.

Il flusso capillare dal livello di falda verso la zona aerata dipende dallo spessore del tratto insaturo nel profilo del terreno, GWL, e dal contenuto di umidità relativo  $L/L_{max}$  della zona aerata. Il livello di falda è calcolato considerando con un bilancio fra la porzione di ricarica, la porzione capillare, la perdita verso gli strati più profondi (variabile su scala mensile) e il deflusso di base. Il deflusso di base è calcolato con un serbatoio lineare con una sua propria costante di tempo CKBF, ed avviene quando il livello di falda è superiore al livello massimo GWLBF0.

I deflussi ipodermico e superficiale sono entrambi simulati attraverso due serbatoi lineari in serie con due costanti di tempo, le quali nel caso di scorrimento superficiale sono anche variabili nel tempo. In questo modo si assicura, in pratica, l'assunzione del modello dell'onda cinematica per simulare i processi di deflusso superficiale e ipodermico; il deflusso di base è simulato invece secondo i processi della dinamica sotterranea.

I dati meteorologici necessari per le simulazioni sono: precipitazione, evapotraspirazione potenziale e temperatura.

La risoluzione temporale di questi dati dipende dall'obiettivo dell'applicazione del modello e dalla scala di tempo con cui il bacino si presume possa rispondere; molto spesso sono sufficienti dati a scansione giornaliera, ma ad esempio per problemi di portate di piena può essere necessario utilizzare anche precipitazioni di breve durata (con incrementi semiorari come quelli previsti nell'ambito del lavoro).

I risultati delle simulazioni riportano l'andamento temporale delle seguenti grandezze:

- deflusso di corrivazione superficiale,
- deflusso ipodermico;
- deflusso di base (sostenuto dal serbatoio di falda);
- deflusso totale;
- precipitazione netta (depurata della quota parte di perdite per evapotraspirazione);
- evapotraspirazione reale;
- livelli di umidità del terreno superficiale ( $U$ , piccoli serbatoi e trattenimento fogliare);



- livello di umidità del suolo ( $L$ );
- livello rappresentativo della falda profonda;
- altezza e consistenza dello strato della neve alle diverse altitudini.

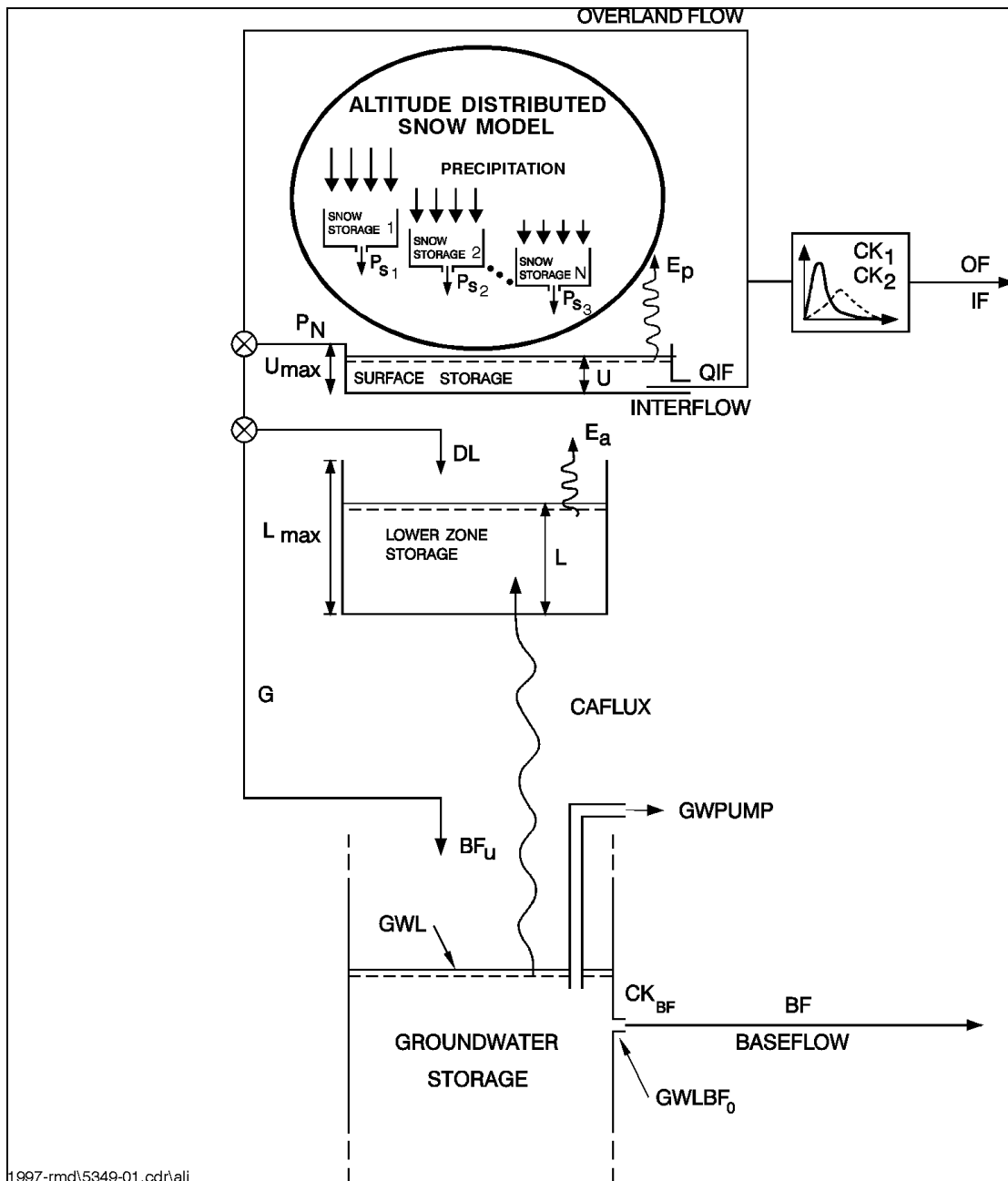


Figura 7 - Struttura del modello afflussi-deflussi.

### 3.2.1.2 Il modulo idrodinamico HD

MIKE11 HD simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

HD consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle, cioè simulare i fenomeni di rigurgito.
- approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

E' possibile tenere conto in vario modo della presenza di strutture idrauliche lungo la rete idrografica simulata. In tal caso in corrispondenza della struttura viene inserito nella griglia di calcolo un nodo Q, di soluzione dell'equazione del moto, in cui all'equazione di de St.Venant è sostituita l'equazione tipica delle perdite di carico localizzate.

Possono essere simulati: stramazzi a larga soglia o di forma e geometria qualunque, tombini di geometria qualunque, tratti di condotte in pressione. Attraverso la costruzione di sistemi quasi-bidimensionali ramificati è possibile rappresentare compiutamente qualunque tipo di ponte o di

arginatura trasversale, valutando sia l'effetto sulla corrente d'alveo che l'eventuale tracimazione della struttura da parte delle acque di piena.

Un particolare modulo di calcolo di HD, consente di simulare all'interno della rete la presenza di una o più strutture mobili, con la caratteristica di luce sotto battente o di stramazzo a ventola. La posizione della struttura mobile (sia essa l'apertura della paratoia o l'abbattimento della ventola) viene determinata automaticamente dal modello in funzione del tempo o di altre variabili del sistema. Tali variabili possono essere un livello, una differenza di livelli tra due punti della rete di simulazione, una portata od una differenza di portate. E' inoltre possibile prevedere per ogni struttura una duplice regola operativa di funzionamento, standard o di emergenza, automaticamente attivata dal superamento di assegnate soglie critiche di livello o di portata.

MIKE11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. E' possibile tenere conto di ogni possibile variazione della scabrezza all'interno delle sezioni trasversali, nelle golene o lungo l'alveo.

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti). Il metodo implicito è particolarmente efficiente in quanto incondizionatamente stabile: è possibile in tal modo adottare passi di tempo tali da essere significativi per l'estensione temporale della simulazione, senza essere vincolati alla stabilità delle soluzioni numeriche.

La soluzione del sistema di de St.Venant permette di rappresentare, in dettaglio, tutte le trasformazioni che l'onda di piena subisce nella traslazione da monte a valle per effetto della laminazione naturale, dell'interferenza con le opere idrauliche, delle esondazioni al di fuori dell'alveo attivo, della confluenza di tributari laterali e del contributo distribuito dei bacini versanti.

Il modulo HD, come è stato accennato, permette la realizzazione di modelli quasi-bidimensionali. Oltre al ramo principale, che costituisce il corso d'acqua primario, possono essere simulati qualunque ordine e tipo di ramificazioni parallele (a maglia aperta o chiusa) collegate al ramo principale stesso.

Tale possibilità risulta molto utile nella realizzazione di modelli che tengono conto delle aree di esondazione laterale. Invece di estendere semplicemente le sezioni d'alveo sulle aree spondali, allargandone i limiti fino a coprire l'area di possibile esondazione, con il MIKE 11 possono essere introdotti dei rami paralleli, collegati all'alveo principale a mezzo di stramazzi a larga soglia su canali fittizi di collegamento ("link"), su cui possono essere impostate reali condizioni di deflusso, oppure può essere prevista la prevalenza dei fenomeni di laminazione su quelli dinamici.

Si tratta in tal caso di rami di corso d'acqua dotati di aree di laminazione addizionali ("additional flooded areas") nelle quali viene risolta solamente l'equazione di continuità della portata,

rappresentando la corretta funzione "volumi-livelli" di capacità di ritenzione delle acque di piena dell'area spondale corrispondente.

Tali possibilità, permettono, in pratica, di avere valori di livello differenti lungo una sezione trasversale dell'alveo, in pratica livelli in golena che possono essere più bassi o più elevati di quelli dell'alveo attivo a seconda dell'istante di piena di riferimento.

Il caso più evidente è quello rappresentato dalle esondazioni sulle aree esterne a tratti arginati, pensili rispetto alla campagna circostante. Con un modello puramente monodimensionale il livello di massima piena per ogni sezione corrisponderebbe al livello massimo di tracimazione delle sponde. Ricorrendo alle simulazioni quasi-bidimensionali realizzate con MIKE 11 si tiene conto dell'effettiva differenza di livello tra soglia arginale tracimante e piano campagna a tergo dell'opera, determinando una precisa valutazione dei volumi fuoriusciti dall'alveo e dell'estensione delle aree di esondazione.

La gestione di tutti i dati di input al modello (sezioni trasversali, tratti fluviali, caratteristiche delle strutture) è facilitata da un potente sistema di interfaccia grafico che utilizza un sistema georeferenziato interno e che può essere collegato al GIS mediante il modulo MIKE 11 GIS.

### **3.3 Modelli di settore/rappresentazione dei sistemi acquiferi di pianura**

#### **3.3.1 MIKE SHE**

Per la simulazione dei fenomeni idrogeologici in questa comparto del territorio e delle relative interazioni con la rete idrografica superficiale viene utilizzato il codice MIKE SHE.

Il modello implementa un approccio di tipo bidimensionale/multistrato alle differenze finite. L'utilizzo dello SHE è dettato innanzitutto dalla affidabilità nell'analisi del bilancio delle risorse idriche in quanto il codice (che allo stato dell'arte rappresenta sicuramente il più sperimentato ed ancora uno dei pochi esempi di modello distribuito integrato superficiale/sotterraneo) consente di tenere conto in modo completo delle interazioni tra i diversi comparti che caratterizzano il ciclo dell'acqua, permettendo di simulare, sia in fase diagnostica che in fase di progetto, gli effetti sulla falda della gestione della risorsa superficiale.

Alcune limitazioni tipiche dell'approccio alle differenze finite sono state nel tempo superate dal codice di simulazione MIKE SHE utilizzata. La "rigidezza" della griglia di calcolo, rispetto alle prestazioni di un modello agli elementi finiti, è certamente una delle maggiori limitazioni del metodo alle differenze finite, tuttavia la possibilità del "nesting" offerta da MIKE SHE, cioè di accorpate all'interno della griglia di calcolo sottoaree tridimensionali caratterizzate da una dimensione di cella più raffinata, garantisce una flessibilità di adattamento alle condizioni naturali da rappresentare che è simile a quella degli elementi finiti. La robustezza della parte numerica dello SHE (che è stata migliorata negli ultimi anni

implementando come solutore il metodo del Gradiente Coniugato) permette di gestire senza difficoltà numeriche operazioni su larghe griglie di discretizzazione, con tempi di calcolo contenuti e facilmente gestibili da hardware con caratteristiche standard.

MIKE SHE è un modello deterministico, a parametri distribuiti, fisicamente basato, sviluppato inizialmente con uno sforzo congiunto dell'Istitute of Hydrology (Gran Bretagna), di SOGREAH (Francia) e del Danish Hydraulic Institute Water & Environment (Danimarca), successivamente potenziato, reso "user-friendly" e commercializzato da quest'ultimo ente.

MIKE SHE è fisicamente basato, in quanto è stato sviluppato a partire dalle equazioni differenziali che descrivono i processi di scorrimento superficiale, di deflusso nella rete di drenaggio e di deflusso nei mezzi porosi saturi e insaturi; tutte le equazioni sono risolte mediante il metodo delle differenze finite. Il modulo idrologico include, oltre ai processi di deflusso, i fenomeni di scioglimento delle nevi, intercettazione ed evapotraspirazione.

MIKE SHE considera il flusso verticale nella zona insatura come monodimensionale e di collegamento tra le componenti bidimensionale superficiale e bi-tridimensionale sotterranea.

L'area di studio è discretizzata da una griglia di calcolo regolare alle differenze finite; il sistema di drenaggio superficiale scorre fra elementi contigui della griglia e viene simulato utilizzando il codice MIKE 11 - HD. In particolare l'accoppiamento tra i deflussi sotterranei di MIKE SHE e quelli superficiali di MIKE 11 risulta completo e dinamico, previa definizione dei tratti di reticolo direttamente connessi con l'acquifero e i corrispondenti coefficienti di conduttanza.

Il sistema è strutturato in cinque componenti principali, che rappresentano i processi fisici del ciclo idrologico della fase terrestre, che possono essere attivati oppure no in base al livello di complessità di descrizione del fenomeno che meglio risponde alle esigenze dello studio:

- precipitazione atmosferica ed eventuale scioglimento nevoso;
- intercettazione ed evapotraspirazione;
- scorrimento superficiale e deflusso nel reticolo idrografico;
- flusso nel mezzo insaturo;
- flusso nel mezzo saturo.

Nel modello implementato, le componenti di analisi degli apporti, intercettazione ed evapotraspirazione, flusso nel mezzo insaturo non sono operative, in quanto analizzate separatamente mediante lo specifico codice di calcolo DAISYGis, dedicato alla simulazione della fenomenologia di ripartizione delle risorse idriche nella sfera bio-pedo-atmosferica.

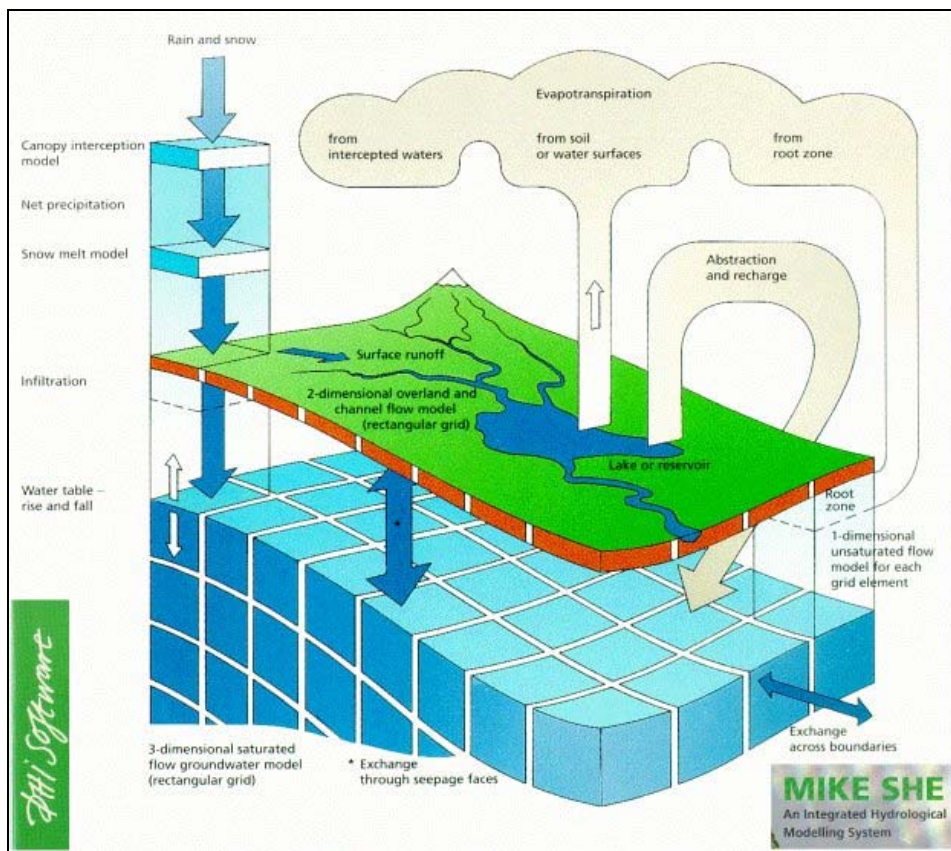


Figura 8 - Schema concettuale del modello MIKE SHE

Ciascuno di questi fenomeni è caratterizzato da una diversa scala di tempo. Il programma permette di avere una descrizione dinamica dei passi temporali, cioè permette di variare lo step di calcolo a seconda del processo in atto.

Con specifico riferimento alle componenti del ciclo idrologico oggetto delle simulazioni, vengono nel seguito descritte le linee portanti dell'architettura funzionale del modello.

### *Ricarica verticale*

Con il codice MIKE SHE l'infiltrazione netta conseguente alle precipitazioni atmosferiche può essere trattata con diverse metodologie e gradi di approssimazione (formule di evapotraspirazione, simulazione della zona insatura con equazione di Richards completa o approssimata, formule di infiltrazione empiriche ecc.).

Una possibile metodologia, che non richiede una grossa mole di informazioni, né lunghi tempi di elaborazione numerica, è la seguente:

- il processo di infiltrazione delle precipitazioni viene schematizzato a partire dalla stima degli apporti efficaci, calcolati per differenza (su scala mensile o settimanale) delle precipitazioni con l'altezza di evapotraspirazione;
- l'infiltrazione efficace viene poi definita nelle celle di calcolo del modello ricorrendo ad un coefficiente di infiltrazione potenziale (c.i.p.), assegnato in funzione della pendenza locale, della permeabilità dei terreni superficiali e dell'uso del suolo.

### *Deflusso nel reticolo superficiale*

Il deflusso nel reticolo idrografico superficiale ed i conseguenti fenomeni indotti di alimentazione-drenaggio vengono simulati sfruttando l'opportunità, recentemente resa disponibile per il codice MIKE SHE, di inglobare il modello idrodinamico superficiale messo a punto con il codice MIKE 11.

L'accoppiamento dei due codici e di conseguenza dei due modelli (superficiale e sotterraneo) è automatico e completo per cui risulta garantita un'ottima rappresentazione di entrambi i comparti e dell'intera fenomenologia di interscambio fiume-falda.

### *Irrigazione*

Le tecniche di irrigazione e i conseguenti fenomeni di infiltrazione in falda delle acque in esubero possono essere simulate mediante il modulo MIKE SHE IR che può considerare i seguenti aspetti:

- determinazione automatica della richiesta irrigua o assegnazione di regole di domanda irrigua predefinite;
- simulazione delle tecniche di irrigazione a pioggia, a scorrimento e a goccia;
- prelievo delle acque irrigue dal reticolo idrografico, dalla falda o da fonte esterna al modello;
- simulazione della rotazione delle colture;
- assegnazione di priorità nell'irrigazione in situazioni di carenza idrica.

Nel caso specifico questi aspetti vengono tuttavia presi in considerazione dal modello di calcolo DAISYGis.

### *Flusso nella zona satura*

Il codice MIKE-SHE considera la possibilità di introdurre, nella maglia regolare alle differenze finite, una discretizzazione verticale articolata per "layers" (unità idrogeologiche continue nel dominio di studio) e "lenses" (orizzonti idrogeologici discontinui, definiti da aree di estensione e superfici basali e sommitali).

Questa particolare flessibilità operativa consente una grande adattabilità di impostazione del modello in relazione alla densità e affidabilità dei dati sulla struttura dell'acquifero disponibili alle diverse scale operative.

Alla luce delle più recenti definizioni dei modelli idrogeologici concettuali elaborati per l'area oggetto dello studio è stata adottata una schematizzazione del sistema idrogeologico considerato in due strati: complesso degli acquiferi a superficie libera, complesso delle falde profonde (semiconfinatae/confinatae).

### *Emungimenti*

Le portate estratte dai pozzi sono inserite nel modello MIKE SHE con il massimo grado di dettaglio disponibile in base alle informazioni e ai dati che reperiti nel corso dello studio.

Ove disponibili sono inserite le serie temporali delle portate emunte in corrispondenza dei punti di prelievo e le quote di finestratura dei pozzi.

I prelievi diffusi, in mancanza di maggiori informazioni, sono aggregati a scala comunale o sub-comunale ed equiparati dal punto di vista della schematizzazione di calcolo a precipitazioni con segno negativo.

Ciascun modulo descrive i maggiori processi del ciclo idrologico e, allo stesso tempo, i vari moduli forniscono una descrizione completa delle interazioni con la superficie topografica e il suolo; inoltre, ciascun componente può essere utilizzato separatamente o accoppiato a una o più delle altre componenti.

MIKE SHE è stato sviluppato inizialmente con lo scopo di raggiungere un livello di dettaglio sufficiente a giustificare un sistema fisicamente basato. Le equazioni utilizzate sono – tranne poche eccezioni – non empiriche e ben note per rappresentare i processi fisici nelle varie parti del ciclo idrologico.

I parametri di ingresso di queste equazioni vengono ottenuti dalle attività di monitoraggio e possono essere utilizzati direttamente nel modello, almeno nella misura in cui sono compatibili con la scala di applicazione del medesimo.

Nel MIKE-SHE i moduli di simulazione operano da un punto di vista spaziale e cronologico con riferimento alla scala rappresentativa di ciascuno dei processi suddetti; per esempio, le precipitazioni giornaliere possono essere distribuite in rapporto al rilievo topografico, in alcune porzioni del bacino imbrifero.

Il reticolo di drenaggio viene rappresentato mediante uno schema a rete, trattando i rami di ordine gerarchico più alto con una descrizione a parametri concentrati, come serbatoi a relazione lineare.

Il deflusso superficiale sul terreno e gli idrogrammi di pioggia possono fornire risposte dell'ordine di grandezza di poche ore seguenti a rovesci di pioggia di elevata intensità, ricorrendo a brevi passi di calcolo temporale dei moduli di calcolo relativi alla rete idrografica e alla superficie topografica.



Nelle aree con falda superficiale prossima al piano-campagna, è possibile raggiungere un buon livello di affidabilità per riprodurre le condizioni fisiche dell'interazione tra fiumi e falda, grazie ad una descrizione dinamica completamente integrata del flusso; è consigliabile in questo caso il ricorso a passi di calcolo orari (o inferiori).

Uno dei requisiti necessari per la modellazione del comportamento idraulico delle aree di pianura corrisponde alla disponibilità di un buon modello digitale del terreno, unitamente a sezioni topografiche di rilievo degli alvei fluviali e dei canali, e alla conoscenza delle regole operative delle opere idrauliche di regolazione.

MIKE SHE comprende tutti i tipi di condizione al contorno: di flusso, di gradiente, di carico, in aggiunta ad altre di tipo più specialistico. E' anche possibile costruire modelli a larga maglia di tipo regionale, dai quali estrarre le condizioni al contorno per modelli locali di maggiore dettaglio.

MIKE 11 HD rappresenta oggi una componente integrante di MIKE SHE e lo scambio idrico tra corsi d'acqua e canali viene modellizzato in una varietà di situazioni, comprendenti le inondazioni con sormonto arginale, l'infiltrazione e drenaggio dal fondo alveo, il flusso tra falda e fiumi, il moto di filtrazione attraverso sbarramenti fluviali in caso di elevati tiranti idrici.

Attraverso un'interfaccia numerica tra il modello di flusso delle acque sotterranee e le acque superficiali è possibile tenere conto nelle simulazioni di tutte le strutture di regolazione dei deflussi e di una varietà di condizioni al contorno (flusso, livelli variabili nel tempo etc.).

L'accoppiata tra i sistemi di simulazione MIKE SHE e MIKE 11 rappresenta uno strumento operativo di elevata potenzialità per le piane alluvionali e le aree umide, in quanto consente una descrizione appropriata dell'interazione tra acque sotterranee e corpi idrici superficiali, non considerata adeguatamente nella maggior parte degli applicativi software in questo settore.

Il sistema è predisposto per utilizzare – in fase di calibrazione - tutte le informazioni disponibili, e prevede la possibilità di visualizzare i risultati mediante efficaci animazioni grafiche a video, nonché di esportare i dati attraverso un'interfaccia immediata con ArcView GIS.

Inoltre, è equipaggiato con un'interfaccia user-friendly che facilita l'accesso al modello da parte di idrogeologi ed utenti affini.

MIKE SHE possiede una rilevante quantità di caratteristiche addizionali di considerevole interesse ai fini della presente offerta; ci si riferisce in particolare al modulo di simulazione del trasporto di soluti e di attenuazione, che consente l'analisi del trasporto, della dispersione, dell'assorbimento e della degradazione dei soluti nella zona subsuperficiale.

Questi moduli permettono all'utente di valutare l'impatto del carico inquinante sulla qualità delle acque di falda sia da fonti puntuali che diffuse.

Ulteriori possibilità sono offerte dai moduli di simulazione del processo di crescita dei seminativi e del consumo di composti azotati (codice DAISY descritto più avanti), in grado di riprodurre nel dettaglio il bilancio tra acqua e azoto nel suolo in funzione delle pratiche agricole e delle modalità di crescita del raccolto.

Il modello idrogeologico è sottoposto a procedure di calibrazione utilizzando tutte le informazioni disponibili in termini di serie piezometriche e serie idrometriche in stazioni di misura dei corsi d'acqua; saranno altresì considerate le indicazioni eventualmente provenienti dai dati idrogeochimici disponibili.

Una volta raggiunto un sufficiente grado di calibrazione del modello di flusso è possibile eseguire analisi di scenario; in primo luogo il sistema modellistico calibrato sarà utilizzato per ricavare dettagliati bilanci idrologici-idrogeologici riferiti al sistema delle acque sotterranee e superficiali.

Questi risultati saranno visualizzabili così come la distribuzione cronologica e spaziale delle precipitazioni, dell'evaporazione e della ricarica delle acque sotterranee, in associazione con il deflusso superficiale, il prelievo da acque sotterranee per usi vari, l'irrigazione e la reinfiltrazione delle portate irrigue.

La presentazione dei risultati può avvenire sia in forma cartografica con evidenziazione delle aree primarie di ricarica degli acquiferi, oppure in termini di serie cronologiche di tutti i parametri idrologici di ingresso al sistema, così come dei prelievi, in riferimento a ciascun sottobacino e per anni caratteristici (anni umidi, normali e secchi).

Questi risultati forniranno i necessari supporti per le analisi di IV fase, sino a pervenire alla definizione delle aree sensibili e vulnerabili.

Tutti i risultati ottenuti saranno trasferiti nel comparto modellistico di MIKE INFO LAND & WATER per essere presentati in un contesto più ampio, e fornire ai gestori della risorsa una visione generale del bilancio idrico nei vari sottobacini.

### **3.4 Modelli di simulazione dei fenomeni di propagazione di inquinanti nella rete idrografica di pianura**

Gli effetti della propagazione di inquinanti su corsi d'acqua naturali in condizioni di scarso deflusso potranno essere studiati con i moduli AD, WQ, EU e HM del codice MIKE 11.

Per la descrizione dei moduli del MIKE 11 si parte dalla caratterizzazione dei fenomeni che governano il moto degli inquinanti nel corpo idrico, che possono essere suddivisi in idrodinamici e qualitativi.

I fenomeni idrodinamici sono la convezione e la dispersione idrodinamica.

Il fenomeno "convettivo" è quello che trasporta l'inquinante nel corpo idrico seguendo il moto dell'acqua. Per sistemi idrici dinamici come quelli fluviali, la convezione è il termine che assume maggiore importanza perché, sapendo in quale direzione e con quali modalità si muove l'acqua, si può prevedere anche qual è il moto dell'inquinante.

Al termine convettivo si somma un secondo fenomeno, quello "dispersivo", che può essere considerato, globalmente, come somma di diverse cause, alcune di carattere idrodinamico, altre di carattere chimico-fisico come, rispettivamente, la turbolenza e la diffusione molecolare.

L'effetto di questi due fenomeni è quello di "spargere" la macchia di inquinante, che all'origine era concentrata, riducendone la concentrazione ma ampliandone la zona di impatto sulle acque.

A questi fenomeni si sommano quelli puramente "qualitativi" che riguardano direttamente le reazioni biochimiche con cui la sostanza si disgrega nell'ambiente venendo a contatto con altre sostanze presenti nel corpo idrico.

Esistono diverse modalità di affrontare i fenomeni di qualità, che possono essere trattati con equazioni semplificate (introducendo delle leggi di decadimento della sostanza in funzione del tempo, il tipico "tempo di dimezzamento" rappresentativo di una particolare sostanza in un particolare ambiente) oppure ricorrendo al calcolo del bilancio di massa, su base biochimica, tra i componenti elementari che si trovano nel corpo idrico (ad esempio BOD e DO, tenendo conto di fattori di variazione quali temperatura, insolazione, fotosintesi ecc.).

Nel MIKE 11 esiste la possibilità di affrontare entrambi gli approcci di simulazione.

Il modulo AD (advection-dispersion) simula il fenomeno della dispersione idrodinamica. L'inquinante si muove nel corso d'acqua guidato dalla corrente e si disperde in funzione del "disordine" con cui la corrente fluisce nell'alveo. Il parametro che esprime numericamente tale disordine è rappresentato dal coefficiente di dispersione idrodinamica che può essere assunto costante o variabile in funzione della velocità della corrente.

Essendo un termine difficilmente misurabile, in quanto rappresenta l'effetto complessivo di parecchi fenomeni particolari, si preferisce definirne il valore migliore mediante taratura. Nel caso non si disponga di dati di taratura accettabili esistono riferimenti bibliografici e passate esperienze di modellazione cui fare riferimento per avere valori realistici del termine e rappresentazioni realistiche del fenomeno.

Oltre a trasportare convettivamente e disperdere l'inquinante è possibile introdurre nel modello costruito con il codice AD un coefficiente di decadimento della sostanza in funzione del tempo di permanenza di quella sostanza nel corso d'acqua.

I diversi moduli di qualità dell'acqua del MIKE 11 (modulo WQ, modulo EU di eutrofizzazione, modulo HM per i metalli pesanti) sono accoppiati al modulo AD. Invece di rappresentare la complessità dei fenomeni biochimici con la schematizzazione del tempo di decadimento, in questo caso si utilizza un approccio di maggior dettaglio.

Ogni sostanza presa in considerazione (ad esempio BOD e DO) è fatta oggetto di trasporto convettivo e dispersivo nella corrente (fenomeni rappresentati dal modulo AD), ma ad ogni passo di tempo, invece di rappresentare solamente il decadimento della sostanza, viene calcolato il bilancio di massa tra i componenti per mutua interazione biochimica.

Il MIKE 11 offre diverse possibilità di approfondimento del calcolo, considerando funzioni di mutua interazione tra le sostanze che sono via via più complesse a seconda dei dati che si hanno a disposizione.

Il modulo WQ (BOD/DO) consente l'attivazione di livelli di simulazione sempre più raffinati a seconda del tipo e della consistenza dei dati e delle informazioni di base sulla qualità del corpo idrico.

Basilarmente i sei livelli di soluzione delle equazioni di qualità dell'acqua sono:

- 1) BOD/DO;
- 2) BOD/DO con scambio di materiale organico con il letto del corso d'acqua (deposizione, risospensione di BOD);
- 3) BOD/DO con nitrificazione;
- 4) BOD/DO con scambio con il fondo, nitrificazione e denitrificazione;
- 5) BOD/DO con inclusione della richiesta immediata di ossigeno e scambio con il fondo;
- 6) BOD/DO con tutti i processi menzionati.

Le variabili di calcolo sono:

- ossigeno disciolto (DO);
- materiale organico (BOD);
- azoto e ammoniaca ( $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ );
- nitrati ( $\text{NO}_3^-$ );
- batteri coliformi.

Una serie di processi biologico/chimici di trasformazione rappresentati da cinetiche di vario ordine e grado consentono di rappresentare i seguenti fenomeni:

- degradazione della sostanza organica;
- produzione fotosintetica dell'ossigeno;
- respirazione di piante e animali;
- scambio di ossigeno con l'atmosfera (reazione);
- scambio di BOD sospeso con il fondo (deposizione, risospensione);

- richiesta d'ossigeno per il BOD sul fondo;
- nitrificazione e denitrificazione;
- decadimento dei batteri dipendente dalla radiazione solare, dalla temperatura e dalla salinità dell'acqua (negli estuari).

Le espressioni sono influenzate da fattori esterni come la temperatura, la radiazione solare e le portate.

I risultati forniti dai modelli di qualità sono i valori puntuali della concentrazione della sostanza esaminata nel tempo e nello spazio.

In pratica è possibile, aggregando i risultati, ricostruire i profili di concentrazione lungo l'asta del fiume, rappresentando in tal modo l'effetto degli scarichi o l'effetto delle derivazioni che depauperano la quantità d'acqua in gioco e quindi diminuiscono il potere di diluizione della corrente, oppure ricostruire l'andamento delle concentrazioni nel tempo in un punto specifico.

Il modulo EU permette di simulare oltre al ciclo di ossigeno e azoto, anche la presenza di fosforo e l'impatto che azoto e fosforo, insieme, hanno sui processi di eutrofizzazione. Il modulo HM simula il processo di trasporto dei metalli pesanti, valutandone l'interazione con l'ambiente idrico (e nello specifico i fenomeni di adsorbimento e desorbimento dal materiale coesivo trasportato dalla corrente).

L'esperienza del team Hydrodata su questo tema è stata sviluppata anche con applicazioni in ambito regionale, relative sia all'installazione e gestione di stazioni di monitoraggio che all'interpretazione numerica dei fenomeni, come lo studio degli effetti di propagazione di inquinanti lungo il Bormida e l'analisi dello stato qualitativo del bacino del Chisola (nell'ambito del progetto M.A.R.I.U.S.) entrambi supportati da simulazioni modellistiche effettuate con MIKE 11 e, ad esempio, lo studio della qualità dell'asta principale del F.Scrivvia mediante modellistica numerica, condotto nell'ambito della realizzazione della rete di monitoraggio ambientale dei bacini dell'Orba e dello Scrivia per conto dell'A.C.I.B.S. di Novi Ligure.

### **3.5 Modelli specifici dettagliati di qualità delle acque sotterranee e della diffusione di inquinanti di origine agricola**

Per quantificare l'impatto delle varie pratiche agricole e gli effetti connessi alla generazione di inquinanti diffusi vengono sviluppati "modelli pedologici" in grado di costituire un insieme rappresentativo in ordine alle tipiche combinazioni di tipi di suolo, coltivazioni, pratiche agricole ed uso di fertilizzanti, parametri climatici, tipo di acquiferi, e altre variabili fisiche che influenzano i processi di inquinamento di origine diffusa.

I modelli suddetti consentono di quantificare il consumo di nitrati e valutare la ricarica delle acque sotterranee, fornendo informazioni valide per la definizione delle migliori pratiche agricole.

Questi modelli risultano combinati con quelli di simulazione integrata delle acque superficiali e sotterranee, in modo tale che i risultati relativi ai vari tipi di suolo costituiscono le condizioni al contorno per i modelli di trasporto dei soluti, riferiti a porzioni di territorio e di bacino più ampie.

Mediante questo criterio potrà essere valutato l'impatto complessivo di tali fonti inquinanti, in un contesto di analisi che considera sia il sistema idrico superficiale che quello sotterraneo; si propone di utilizzare alcuni modelli locali di dettaglio per investigare gli effetti di varie pratiche agricole e il relativo impatto sul sistema idrico superficiale e sotterraneo.

I margini di miglioramento di tali pratiche possono essere ricercati nel cambio del tipo di coltivazione, nell'uso di fertilizzanti, nella pratica di irrigazione, quantificando per ciascuno di essi gli effetti attesi.

### 3.5.1 DAISY

Per la modellazione numerica dei fenomeni viene utilizzato il codice DAISY del DHI.

Il codice DAISY è stato sviluppato nella seconda metà degli anni '80 e da allora è stato testato utilizzato in numerose applicazioni in ambito europeo. Il modello descrive tutti i principali processi correlati al ciclo dell'acqua, del carbonio, dell'azoto e, con un modulo aggiuntivo, dei pesticidi, in un ecosistema agricolo.

Le figure che seguono rappresentano lo schema di flusso generale del modello e l'insieme dei fenomeni fisici modellizzati.

Il modello può essere applicato in condizioni stazionarie o in condizioni dinamiche accoppiato con MIKE SHE.

Nelle applicazioni dinamiche come sotto-modulo di MIKE SHE, DAISY rappresenta i processi di evapotraspirazione, i processi di accumulo-fusione nevosa e i processi correlati con il carbonio e i nitrati, mentre i fenomeni del ciclo dell'acqua nel suolo e di trasporto di solidi sono rappresentati direttamente da MIKE SHE.

In condizioni stazionarie Daisy calcola i fenomeni idraulici e di trasporto secondo lo schema riportato in seguito.

Daisy rappresenta i processi di diffusione del calore alla base delle funzioni abiotiche che influenzano i processi biologici nel suolo, come la mineralizzazione e la denitrificazione.

Il bilancio del carbonio nella vegetazione e nel suolo e le relative interazioni con l'azoto, vengono simulati in base agli schemi riportati nelle figure che seguono. Per il bilancio dell'azoto vengono considerati i processi di mineralizzazione, nitrificazione, denitrificazione, secondo lo schema riportato nella relativa figura.

Il modello rappresenta i processi di trasporto e trasformazione di composti chimici come i pesticidi:

- intercettazione della copertura vegetale;
- dilavamento della copertura vegetale per mezzo delle precipitazioni;
- degradazione sulla copertura vegetale descritta da processi del primo ordine;
- adsorbimento nel suolo;
- degradazione nel suolo (processi del primo ordine influenzati dalla temperatura e dall'umidità del suolo o influenzati dall'attività biologica nel suolo descritta dalla produzione di CO<sub>2</sub>).

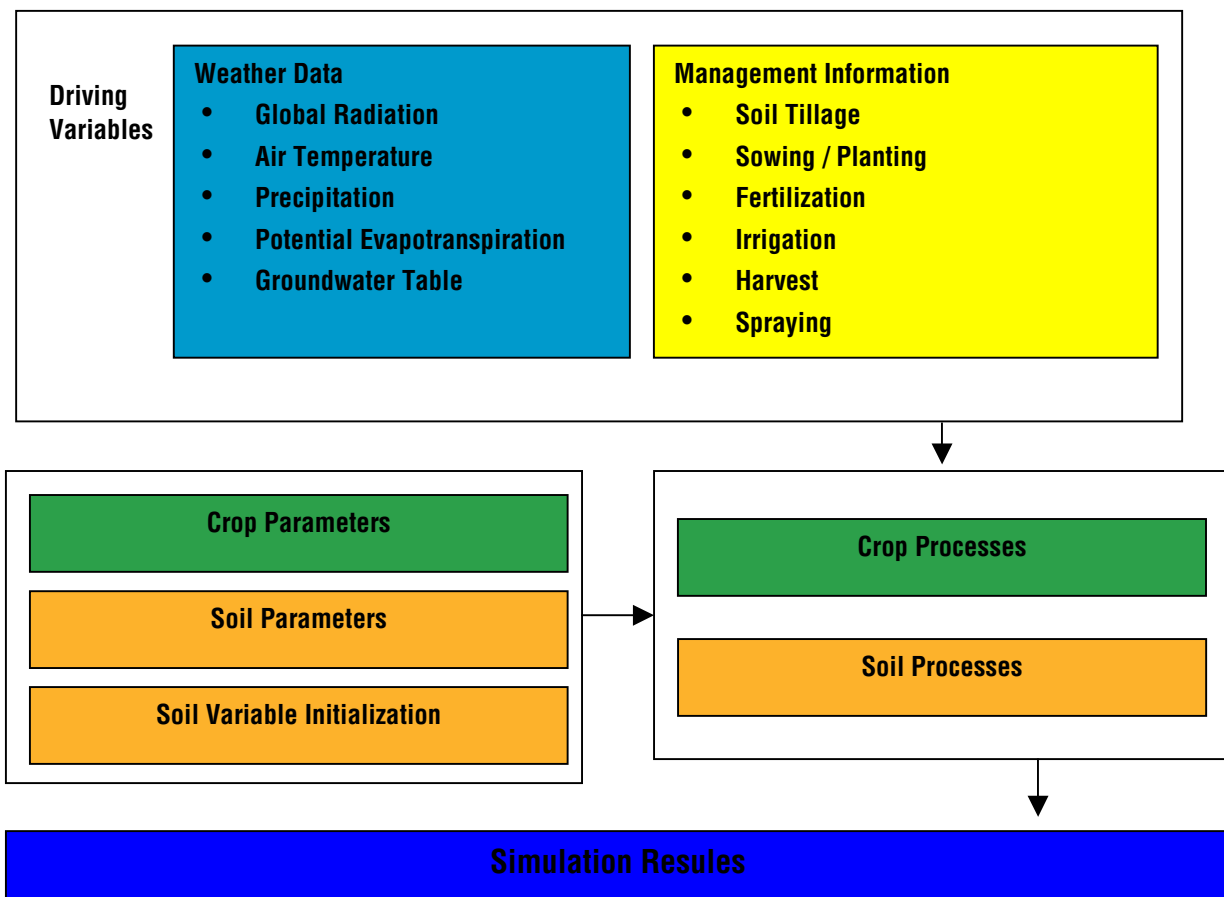


Figura 11 - Schema di flusso generale di Daisy

Il modello consente la rappresentazione dei principali effetti delle pratiche agricole (eseguite con varie tecniche): aratura, fertilizzazione, semina, raccolto, irrigazione, irrorazione con prodotti chimici.

Il modello è direttamente associato al sistema GIS (DaisyGIS) in ArcView, integrato con il modello generale MIKE INFO/MIKE BASIN sopra descritto.

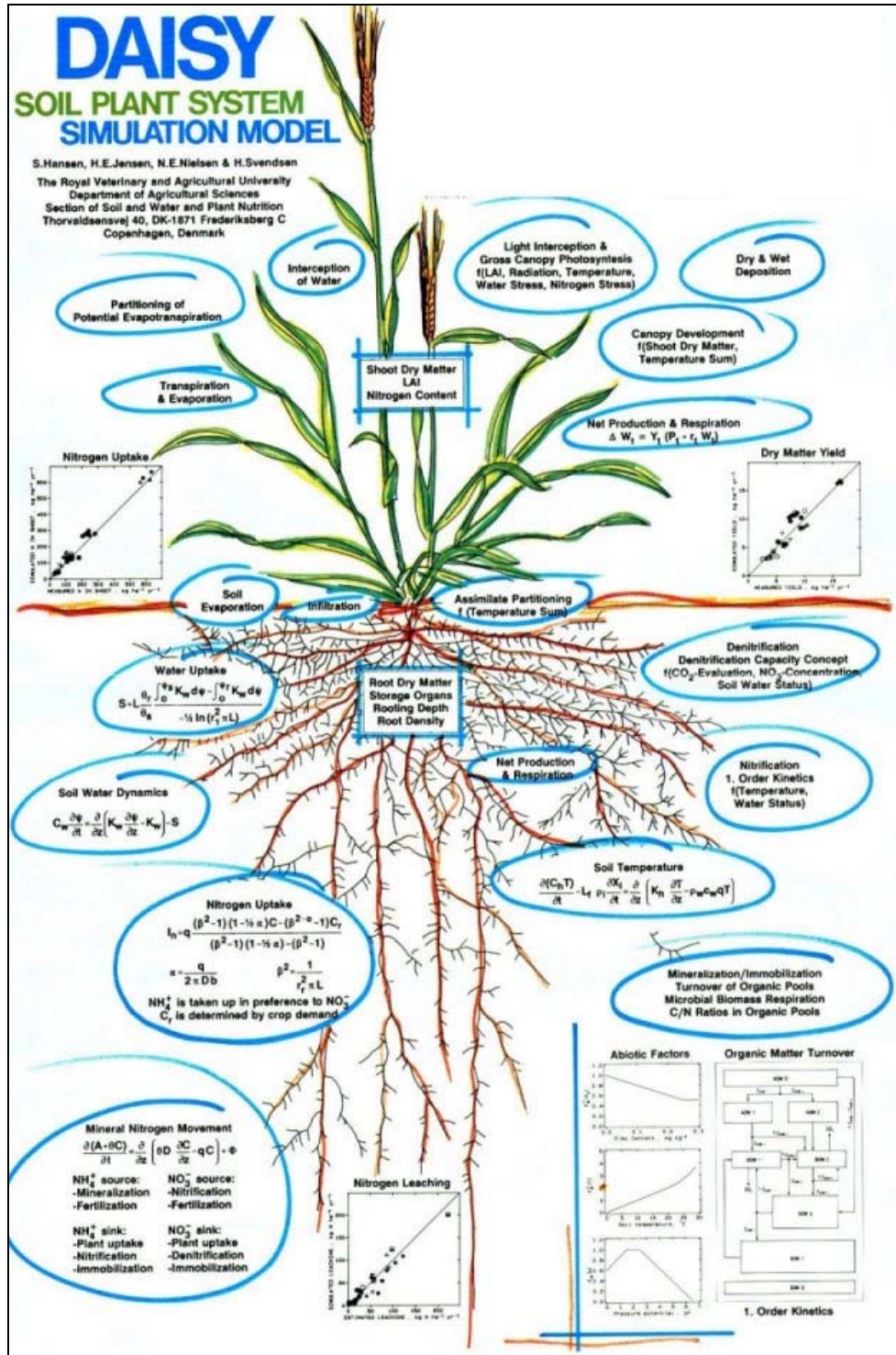


Figura 12 - Schema generale dei fenomeni simulati da Daisy.



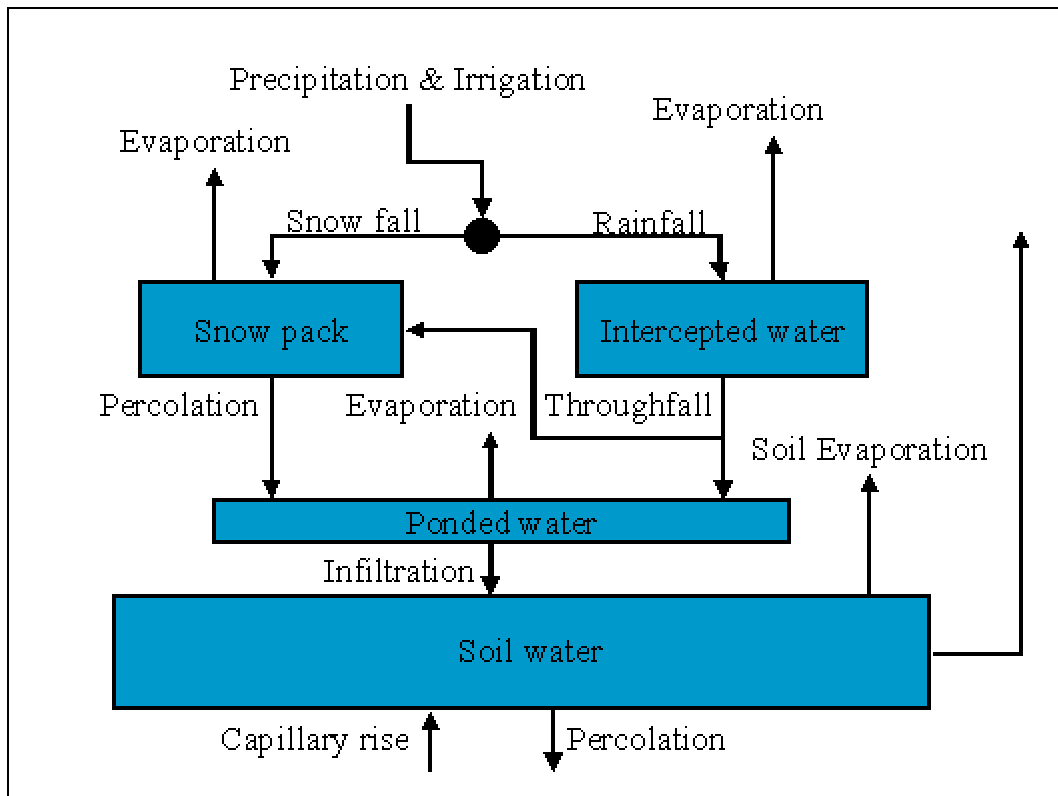


Figura 13 – Bilancio idrico in Daisy

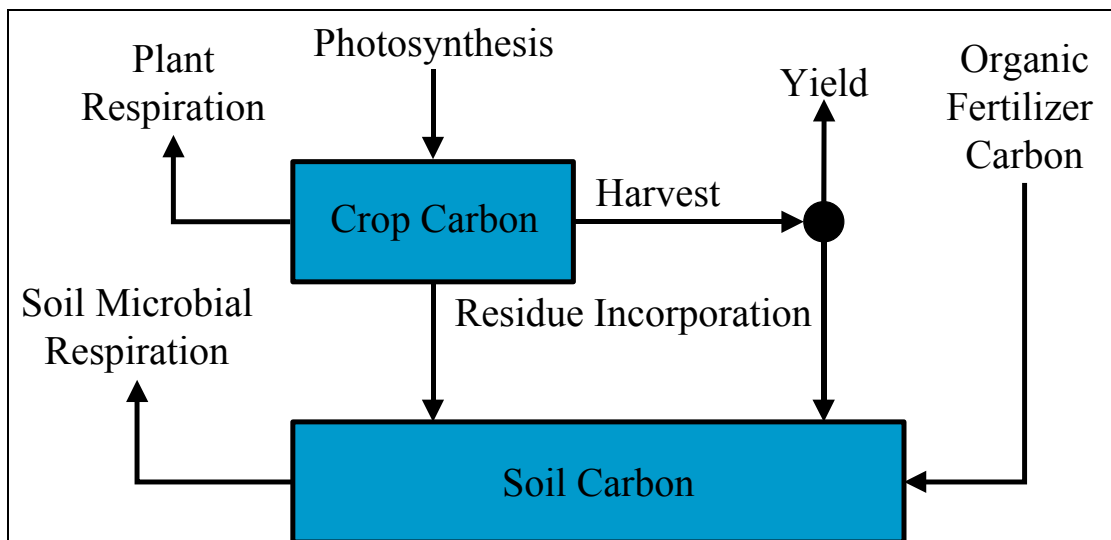


Figura 14 – Bilancio del carbonio in Daisy

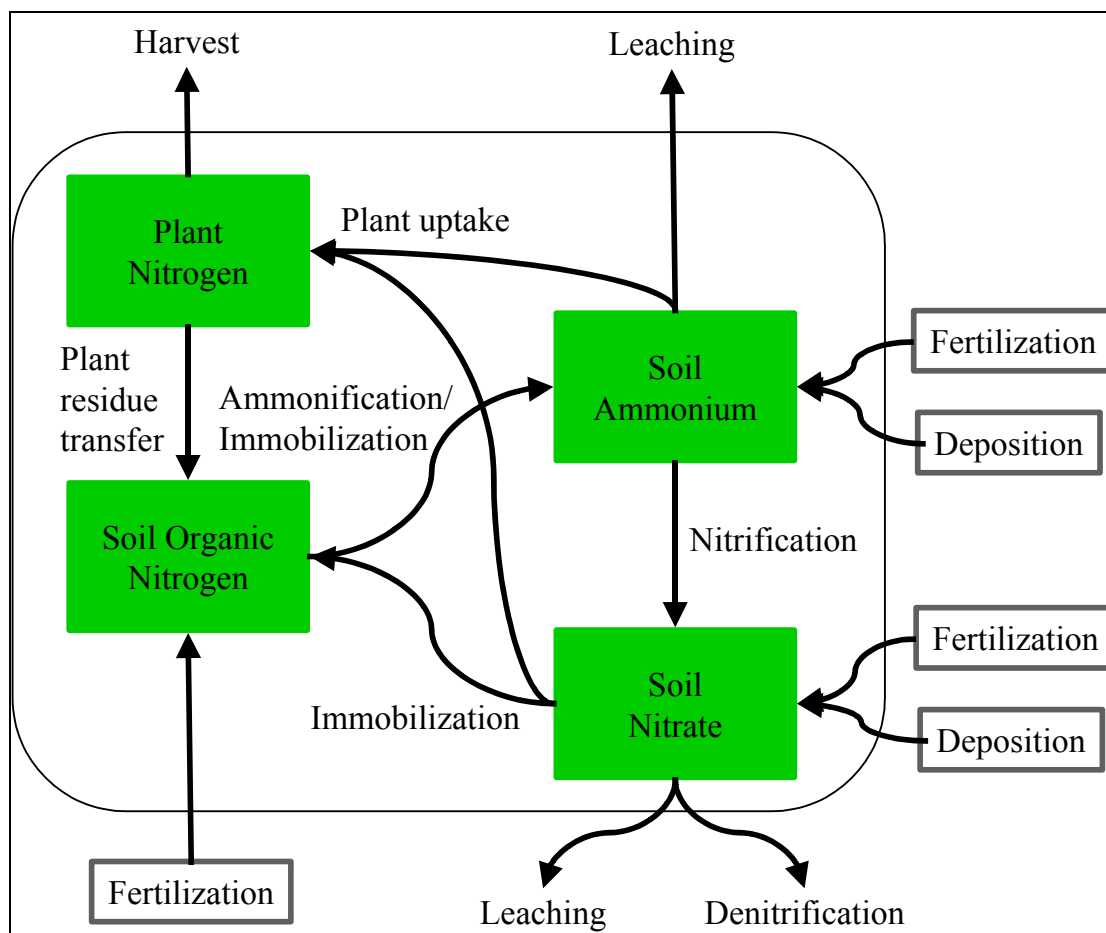


Figura 15 – Bilancio dell’azoto in Daisy

#### 4. GLI SCENARI DI SIMULAZIONE

La prima applicazione del sistema modellistico messo a punto alla fase II del progetto PTA ha come scopo la valutazione dei bilanci idrologici e idrogeologici a scala regionale.

Le analisi di bilancio idrico sono da condursi su basi spazio-temporali ben identificate e finalizzate alle esigenze del futuro piano a scala regionale.

Per questo i bilanci idrici sono stati valutati su “domini idrologici” prestabiliti, e l’analisi delle criticità quantitative è stata condotta sulle principali aste fluviali su cui sono evidenti gli effetti degli usi idrici in atto.

Il bilancio generalmente si riferisce all'andamento nel tempo delle disponibilità, dipendente dal regime idrologico e dalle modalità di richiesta delle utilizzazioni; di norma è su base annuale, ovvero calcolato sui 12 valori di regime medio mensile, ma talvolta, anche a seconda delle caratteristiche idrologiche del bacino e delle modalità di derivazione, esso può essere condotto anche a scala di tempo inferiore, fino al passo giornaliero, che permette di descrivere al meglio le caratteristiche di criticità di magra (entità, persistenza, variabilità, stagionalità, etc.).

In relazione all'esigenza di valutare le criticità quantitative sui corpi idrici superficiali in condizioni idrologiche medie e di criticità della risorsa, per tener conto della sua variabilità statistica, gli scenari di simulazione proposti in fase II (come meglio descritto nell'elaborato II.h/1 e II.i/1), in funzione dei dati di input elaborati, sono:

- uno scenario statico valido nello spazio (simulazione spaziale) basato su valori medi (base mensile) di risorsa idrica disponibile e di prelievo in atto;
- uno scenario statico a criticità prefissata delle grandezze idrologiche utilizzate;
- uno scenario dinamico, basato sulla simulazione idrologica in continuo (base giornaliera) e utilizzabile per fini di analisi della gestione idrica in situazioni a breve o medio termine; tale scenario è stato messo a punto, pertanto, con una configurazione idrologica su tre anni consecutivi recenti che rappresentano le condizioni più differenti di regime idrologico in Piemonte (piene significative e lunghi periodi di magra invernale o estiva), alle quali si può anche attribuire un riferimento di tipo statistico/probabilistico, mediante confronto con i precedenti scenari e con le informazioni elaborate durante la fase I conoscitiva del progetto

I modelli di settore per la rappresentazione del ciclo idrologico e idrogeologico (MIKE 11, MIKE SHE), che fondamentalmente alimentano le simulazioni dello scenario dinamico, sono stati messi a punto ed applicati su piccola base di tempo (dato medio giornaliero) con lo scopo di analizzare in modo approfondito l'evoluzione dei fenomeni idrologici naturali a scala regionale (bacini montani, aree di pianura, reticolo idrografico principale). Essi forniscono di fatto una ulteriore base conoscitiva, rispetto alle elaborazioni di fase I, sulla effettiva disponibilità della risorsa idrica naturale a scala regionale, che nello scenario di bilancio dinamico si interfaccia, al meglio delle conoscenze, con gli aspetti legati all'utilizzo antropico di tale risorsa.

I codici MIKE BASIN e MIKE SHE sono stati successivamente utilizzati, alimentati dai modelli di settore, per rappresentare rispettivamente i principali elementi di bilancio sul comparto delle acque superficiali e sotterranee, con lo scopo di valutare, per le finalità della fase II, l'effettivo impatto delle utilizzazioni sulla disponibilità naturale della risorsa e di individuare situazioni di evidente compromissione.

Negli elaborati di fase II precedentemente citati sono descritte in dettaglio le applicazioni condotte con i modelli di bilancio idrico; essi contengono inoltre alcune indicazioni sull'affidabilità delle stime prodotte in base ai dati disponibili.

In relazione all'affidabilità raggiungibile, allo stato attuale, dalle stime risultanti, sia nel comparto superficiale sia in quello sotterraneo, nell'elaborato II.h/2 sono indicate le eventuali necessità e modalità di adeguamento e potenziamento dell'esistente rete di monitoraggio regionale, che verranno meglio individuate e localizzate nelle successive fasi di analisi. In fase IV è infatti prevista una specifica attività che riguarderà la "Definizione delle metodologie e del programma di monitoraggio per la verifica dell'efficacia delle azioni proposte", che a sua volta permetterà di analizzare l'affidabilità delle stime elaborate dal sistema di modelli numerici

Nella fase IV del progetto PTA, è il modello di rappresentazione generale del sistema fisico e antropico costituito con il codice MIKE BASIN il vero strumento di simulazione e verifica degli scenari futuri relativi allo stato quali-quantitativo della risorsa e agli effetti delle azioni mirate al conseguimento degli obiettivi del D.Lgs. 152/99.

## **ANNESSO 1**

### **Il modello MIKE INFO**

Il codice MIKE INFO Land and Water, prodotto dal Danish Hydraulic Institute, utilizza come base informativa il sistema ArcView della ESRI, che assicura la completa compatibilità con gli standard GIS della Regione Piemonte.

MIKE INFO combina di fatto le funzionalità proprie di ArcView (che è essenzialmente un GIS vettoriale) con una serie di moduli sviluppati allo “stato dell’arte” per la gestione di dati in modalità raster (DEM) e per la gestione dell’interfaccia dinamico con i modelli di simulazione.

Le principali funzionalità del prodotto sono nel seguito richiamate:

1. importare e trasformare tematismi;
2. gestire le localizzazione delle stazioni di misura (anche pluri-sensore) ;
3. delimitare bacini idrografici;
4. calcolare superfici;
5. analizzare bilanci idrici;
6. preparare i dati di input per modelli di simulazione idrologica;
7. gestire dati vettoriali e su griglia.



Figura 1 - Strumenti principali di analisi territoriale di MIKE INFO

## 5. DATI IN INPUT

### 5.1 II DEM

Il DEM – Digital elevation model, è il tematismo di base per le elaborazioni territoriali di MIKE INFO, che viene facilmente importato nel progetto di lavoro, o come grid o mediante lo strumento “ import & transform”.

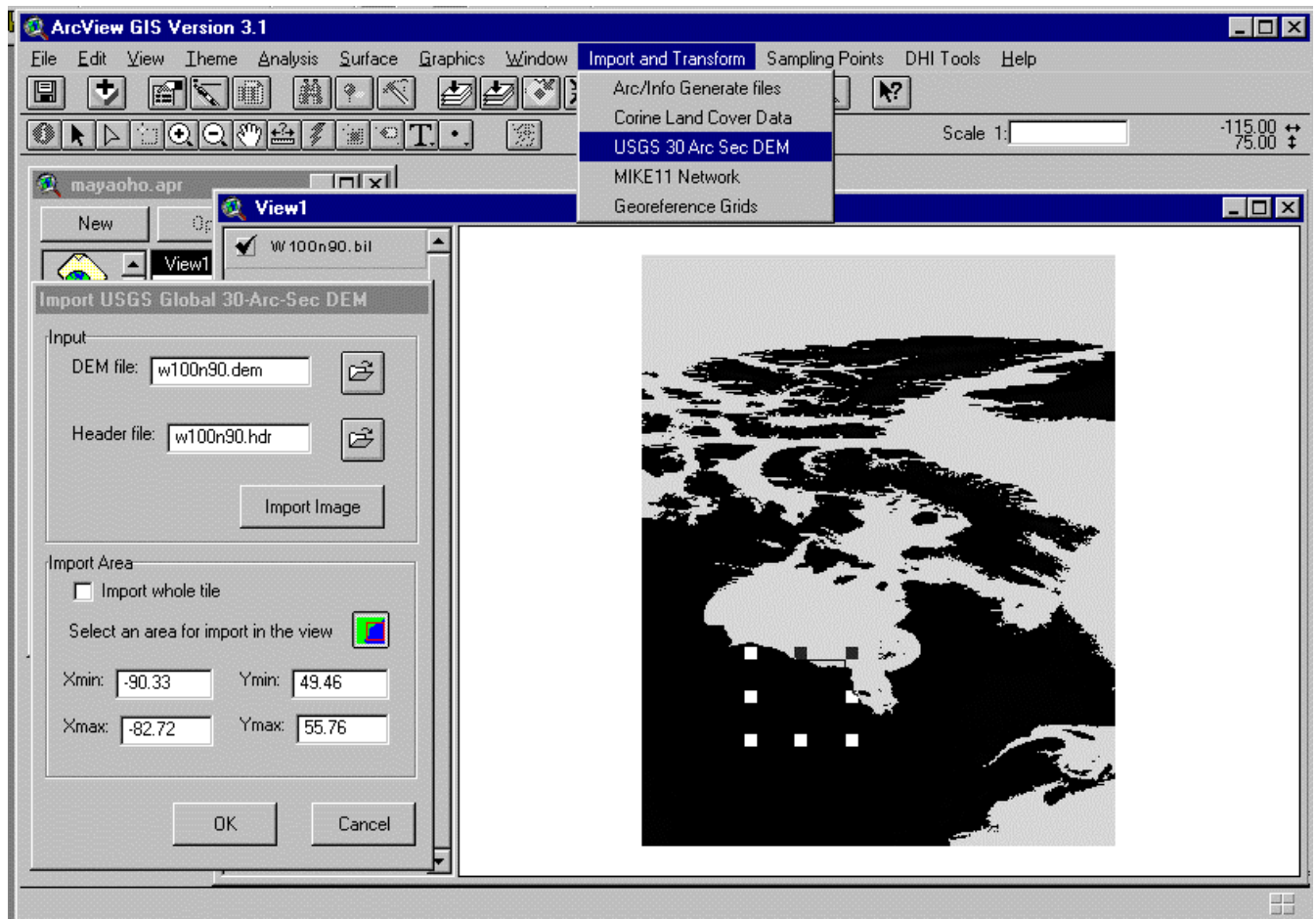


Figura 1 - Menù per l'importazione del DEM.

E' possibile definire una sottoarea del DEM a disposizione, ed gestirla direttamente, in modo da ricoprire solo la zona in esame.

## 5.2 Le stazioni di misura

Un punto di misura è definito come il luogo dove un qualsiasi tipo di dato può essere misurato e localmente registrato sotto forma di serie storica. Si tratta quindi di una stazione meteorologica, o di una stazione di misura delle qualità dell'acqua, una stazione idrometrica, un piezometro....

Nello stesso punto possono ovviamente essere installati diversi sensori, per esempio nelle stazioni meteorologiche si misurano le precipitazioni, le temperature, l'umidità, il vento.... Il tematismo che rappresenta tutte le stazioni di misura è puntuale.

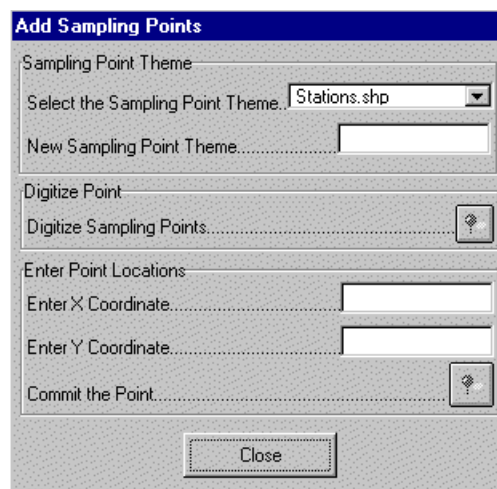


Figura 2 - Menù per l'inserimento delle stazioni di misura.

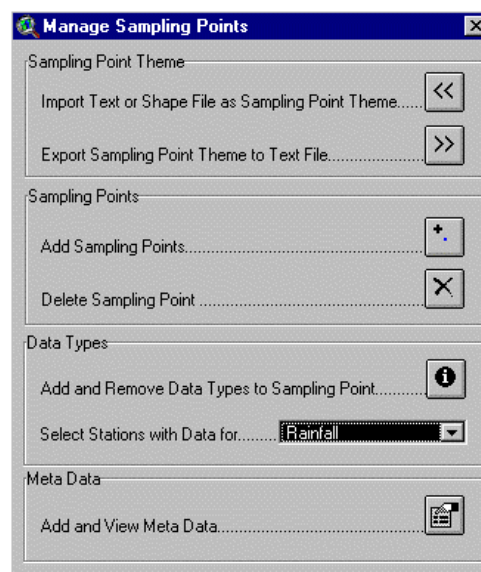


Figura 3 - Menù che permette la gestione delle stazioni di misura e dei dati misurati.



I dati misurati, distinti per tipologia e step temporale delle misure, possono essere memorizzati direttamente come file in formato MIKE11 e risultano collegati alla stazione e quindi facilmente richiamabili.

Datatype	Sensor	Startdate	Enddate	Type	Filepath	Item
Rainfall	Daily	1986/11/01 06:00:00	1998/05/31 06:00:00	Step Accumulated	e:\data\agrovand\tsdata\p.dfs0	5
Discharge	Undefined	1986/11/01 06:00:00	1997/10/31 06:00:00	Instantaneous	e:\data\agrovand\tsdata\q.dfs0	1
Evaporation	Daily	1987/11/01 06:00:00	1997/10/31 06:00:00	Step Accumulated	e:\data\agrovand\tsdata\ve.dfs0	2

Figura 4 - Menù per l'inserimento dei dati relativi a ciascuna stazione di misura

## 6. TRACCIAMENTO DEI BACINI IDROGRAFICI

Lo strumento per il tracciamento dei bacini idrografici si basa su DEM come griglia di calcolo.

L'attività è condotta in 4 fasi:

1. dal DEM, si calcola una griglia, nella direzione della corrente, basandosi sulla routine di ArcView "Spatial Analyst".
2. La griglia è calcolata in base ai criteri indicati dall'utente. Infatti, nella costruzione del reticolo di drenaggio il codice può definire una cella come appartenente alla rete di drenaggio se defluiscono in essa almeno i contributi di un numero minimo di celle definito dall'utente.
3. La costruzione del reticolo di drenaggio può essere effettuata in riferimento all'intero dominio di dati a disposizione o di un sotto dominio definito dall'utente. L'utente semplicemente clicca su un punto a monte di ciascun corso d'acqua di interesse e la routine che delinea i bacini individua tutti i principali corsi d'acqua e li memorizza come tema polyline.
4. Se necessario l'utente può aggiungere punti sui corsi d'acqua individuati per tracciare sottobacini.

Le 4 fasi sono condotte attraverso la finestra di dialogo in figura 5, che permette di creare i tematismi relativi quindi alla rete idrografica, ai bacini e ai nodi (confluenze etc...)

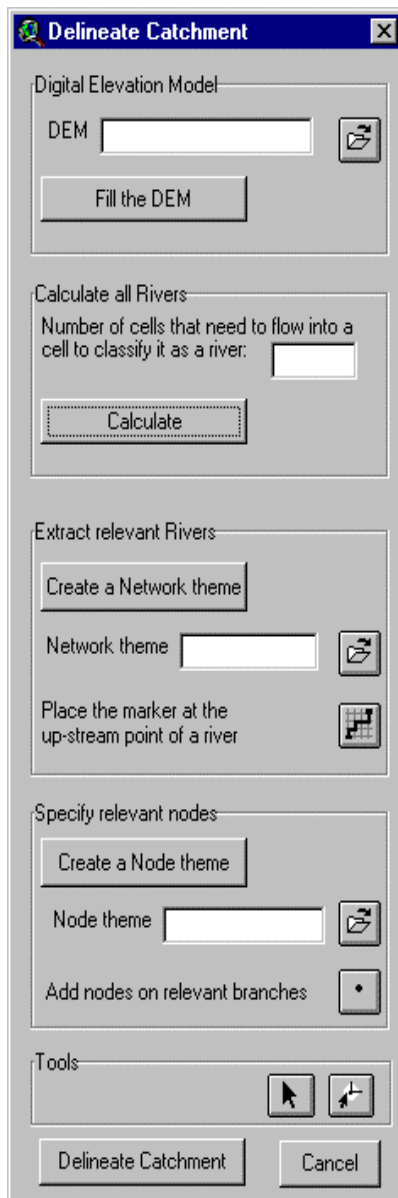


Figura 5 - Menù per il tracciamento dei bacini, della rete idrografica e dei nodi

## 7. RAGGUAGLIO DEI DATI IDROLOGICI SUI BACINI

Generalmente, una serie storica rappresentante una grandezza idrologica media su un bacino è calcolata assegnando dei pesi a ciascuna stazione di misura interna o limitrofa al bacino stesso.

Tali pesi possono essere definiti o mediante la creazione dei cosiddetti “poligoni di Thiessen” o mediante la costruzione di curve isoiete.

Quindi, il primo passo da fare è decidere quale metodo usare. Alcune differenze fra i due metodi (vantaggi e svantaggi) sono indicate nella tabella 1 seguente.

Poi il codice implementa automaticamente il metodo prescelto e crea l'apposito tematismo.

	THIESSEN	ISOHYETS
<b>ADVANTAGES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast, simple and mathematically defined (objective)</li> <li>• Good in homogenous landscapes without large spatial variation (e.g. due to topographical effects) or in areas with a dense and well distributed station network .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accounts for the overall spatial distribution.</li> <li>• normally superior to the Thiessen Method in mountaneous areas</li> <li>• Easy to use in combination with spatial extrapolations into non gauged areas (e.g. high altitudes)</li> <li>• Can benefit from the experience of human experts (by adjustments in the surface)</li> <li>• Can include the effects of many variables (by including the influence of those in the generation of the surface).</li> </ul>
<b>DISADVANTAGES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doesn't take other parameters than distance into account.</li> <li>• May give incorrect result in mountaneous area with distinct topographical divides and orographic effects.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depends on a surface (grid) which can be created in a lot of different ways meaning that the method is subjective.</li> <li>• With sparse station density the method may represent the rainfall in a certain location by the recordings at a remote station, which may introduce uncertainty in the timing of the rainfall events.</li> </ul>

Tabella 1 - Differenze fra i metodi per il ragguglio dei dati idrologici ai bacini.

Uno specifico menù permette di gestire le serie storiche attribuite così ai bacini, riportato in figura 6.

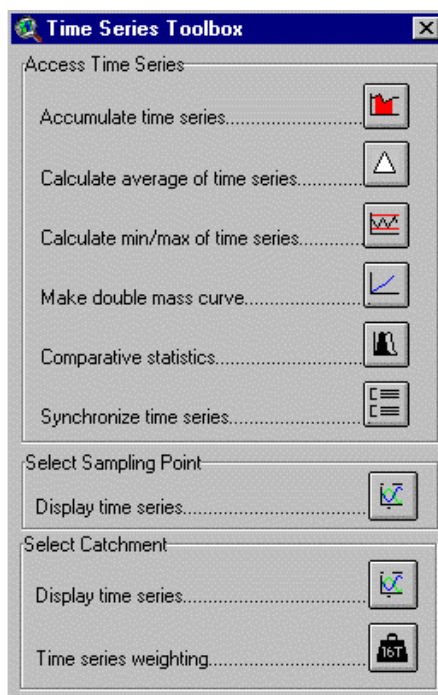


Figura 6 - Menù per la gestione delle serie storiche dei dati idrologici raggugliati ai bacini.

## 8. ALTRE OPZIONI

Con MIKE INFO è possibile caratterizzare l'area di analisi attraverso moltissime componenti: morfometriche, fisiografiche, climatiche, di uso suolo, agricole, etc.

Il codice fornisce opzioni di calcolo che permettono di effettuare analisi territoriali in maniera automatica.

Per esempio è possibile:

1. calcolare i principali parametri morfometrici di un bacino idrografico e del relativo reticolo superficiale: superficie, altitudine media, minima e massima, pendenza dei versanti, curva ipsografica, pendenza dell'asta, densità di drenaggio...
2. calcolare le classi di uso suolo;
3. valutare l'entità dell'erosione dei suoli;
4. analizzare spazialmente i principali fattori relativi alle analisi sull'agricoltura e l'allevamento;
5. analizzare spazialmente i fattori legati alle fonti puntuali e diffuse di inquinanti civili e agricoli;

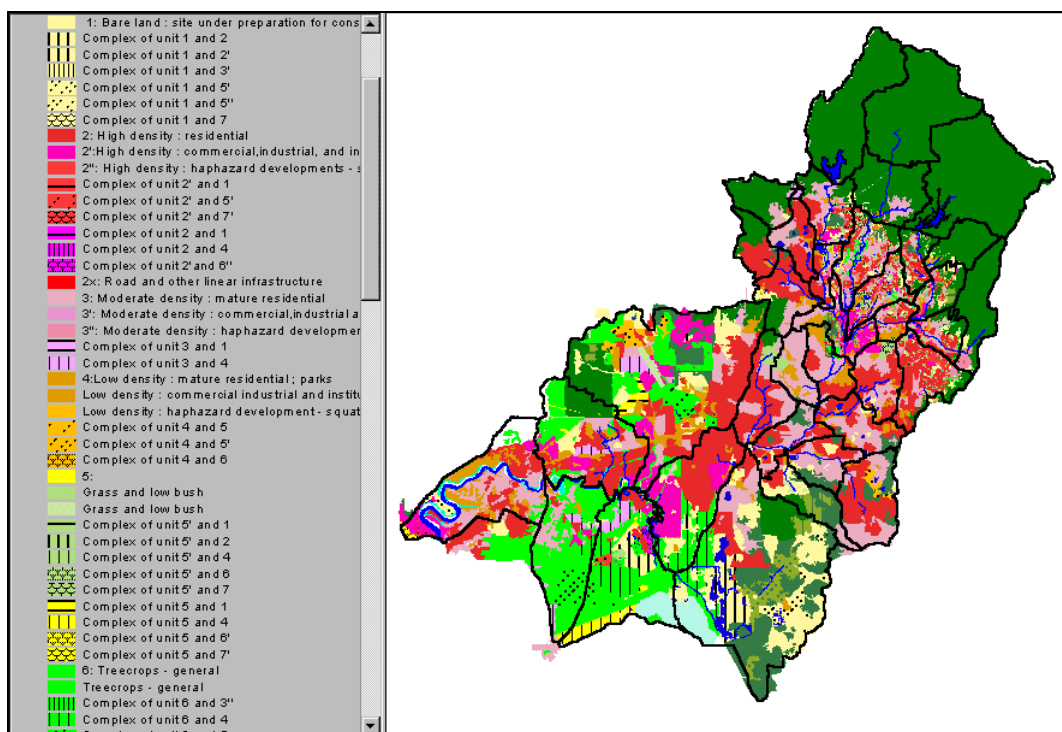


Figura 7 - Mappa dell'uso del suolo elaborata su GIS.

## **ANNESSO 2**

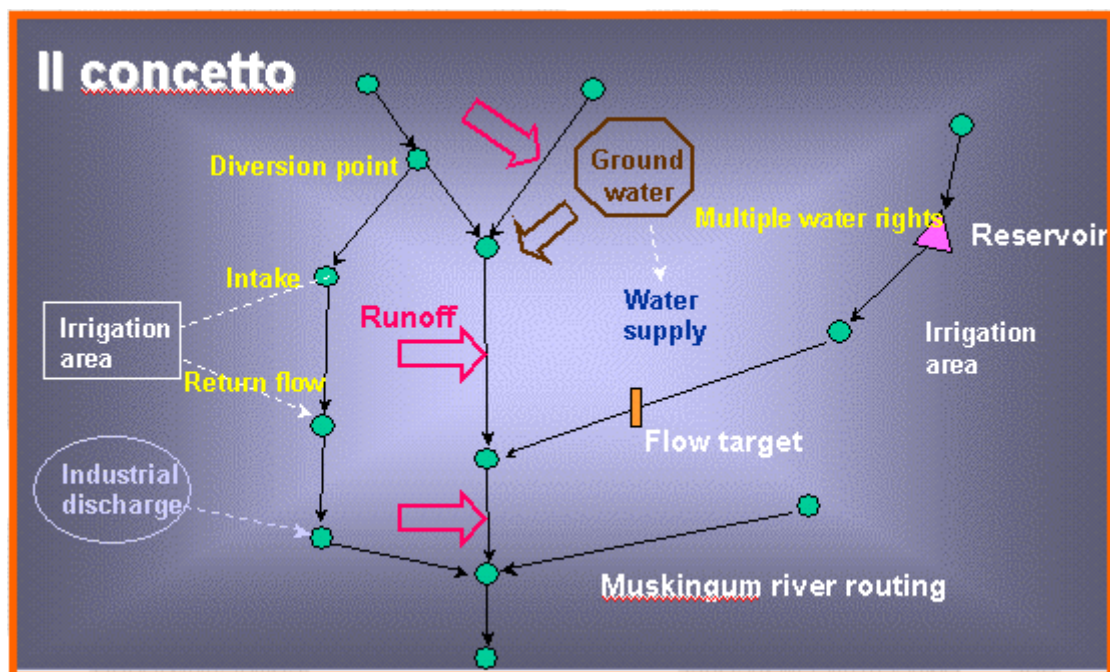
### **Il modello MIKE BASIN**

La gestione e pianificazione della risorsa idrica a scala di bacino necessita innanzitutto dell'identificazione della migliore soluzione di utilizzo delle acque legata alle caratteristiche specifiche dell'area in esame (suolo, agricoltura, infrastrutture, vincoli ...).

La pianificazione richiede quindi una conoscenza complessiva sul bacino, che si origina da studi specifici di settore, organizzata nell'ambito di un "framework" capace di sostenere analisi integrate. Il codice MIKE BASIN, basato sulla rappresentazione a scala di bacino della risorsa idrica disponibile e dei potenziali utilizzatori, offre esattamente questo tipo di framework.

Il codice MIKE BASIN, integrato da MIKE INFO LAND & WATER, è specializzato nella gestione di dati informativi sulle reti idrografiche e delle relative interconnessioni con fattori antropici. In particolare esso costituisce uno strumento di supporto decisionale per l'applicazione-verifica di azioni di gestione dei deflussi.

Il modello di bilancio idrologico costruito con il codice MIKE BASIN simula il comportamento "artificiale" del corso d'acqua considerando tutte le componenti relative ai deflussi idrologici "naturali" e alle derivazioni idriche con o senza successive restituzioni in alveo. Il codice prevede anche la schematizzazione degli acquiferi per considerare il contributo della risorsa idrica sotterranea. Inoltre, un modulo aggiuntivo (MIKE BASIN WQ) offre la possibilità di condurre simulazioni anche sullo stato qualitativo della risorsa idrica.



Schema concettuale di MIKE BASIN

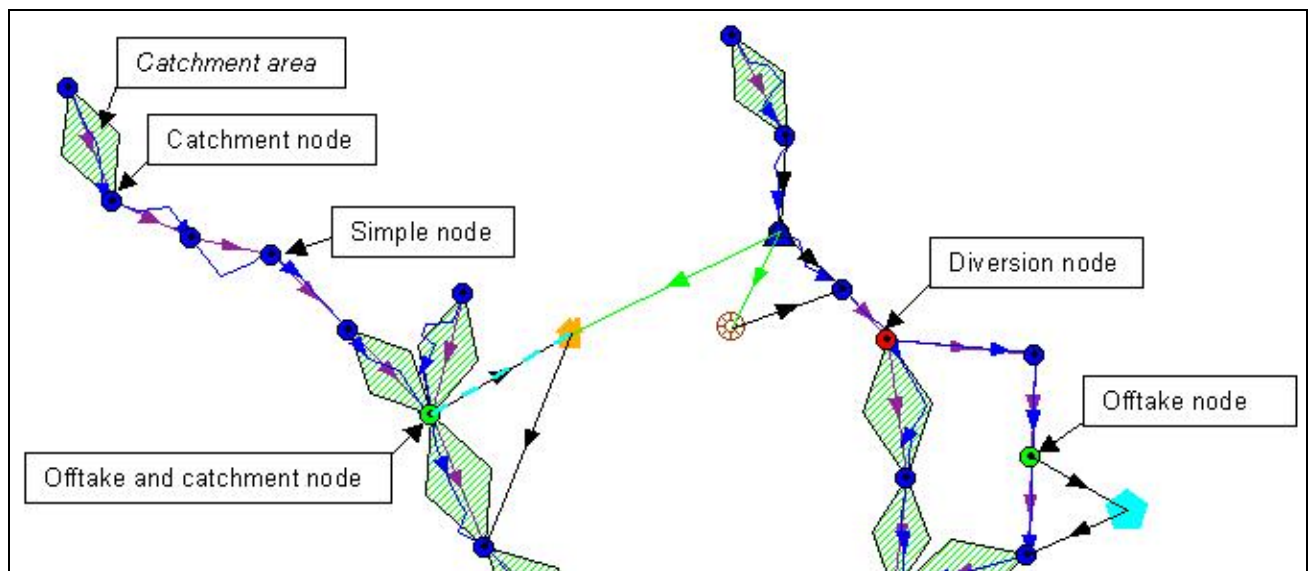
MIKE BASIN è contemporaneamente un codice di calcolo e uno strumento GIS, prodotto in ambiente ArcView (codice di calcolo ESRI), per:

- pianificazione e gestione delle risorse idriche a scala di bacino, con rappresentazione della disponibilità idrica;
- analisi di compatibilità per richieste idriche settoriali;
- analisi sulla gestione di serbatoi multi-obiettivo;
- analisi su schemi idraulici di distribuzione;
- analisi dei vincoli ambientali.

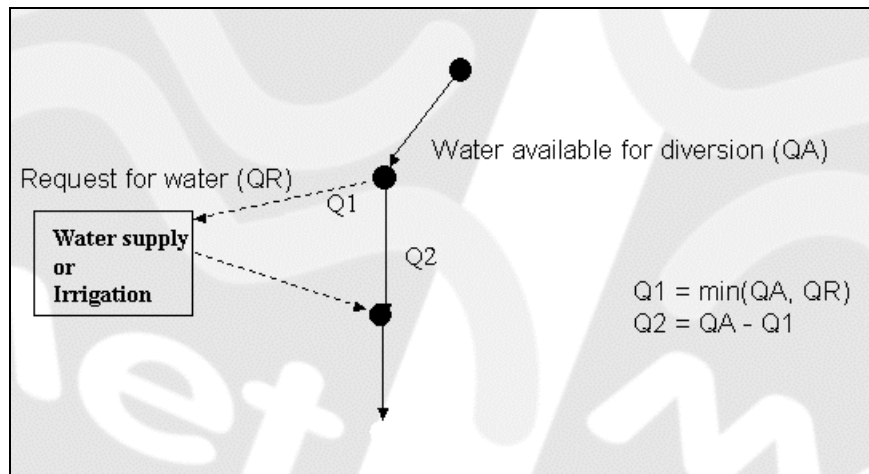
Consente in particolare di inglobare in un'analisi integrata anche diversi aspetti che traggono origine da studi di dettaglio e di essere di supporto nelle decisioni riguardanti ad esempio lo "sviluppo sostenibile" nel caso di risorse idriche limitate a causa di utilizzi competitivi o non compatibili, tenendo in conto le fissate priorità d'uso, le caratteristiche proprie del territorio (ad es. urbano o rurale) in esame ed i vincoli di natura socio-economica.

### Schema del modello e input di base

MIKE BASIN è un modello del tipo "a rete" che rappresenta il reticolo idrografico in esame (corso d'acqua principale ed affluenti) mediante una serie di rami e di nodi: i rami rappresentano singoli tratti di corso d'acqua mentre i nodi individuano le confluenze o i punti di interesse della gestione idrica (serbatoi, derivazioni ecc.).

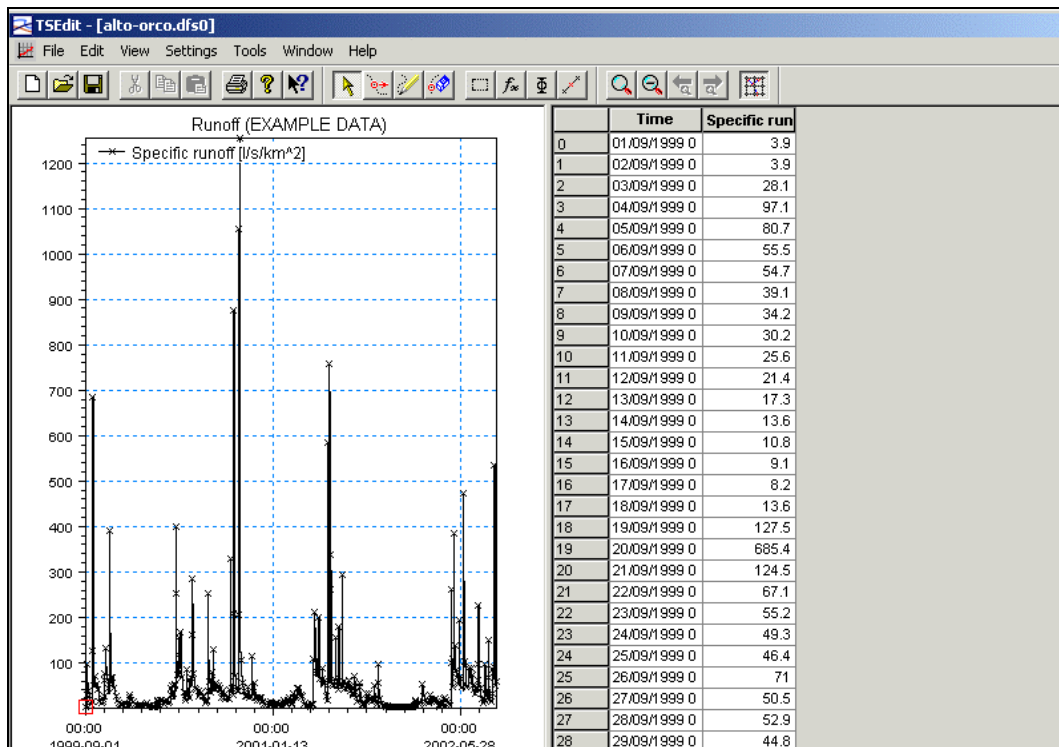


Il modello permette di definire priorità di utilizzo (e quindi di derivazione) sia nei nodi di prelievo diretto dal corso d'acqua, sia dai serbatoi ad uso multiplo. Questa opzione consente, per esempio, di poter facilmente tenere conto della garanzia di mantenimento del deflusso minimo vitale a valle della singola presa.



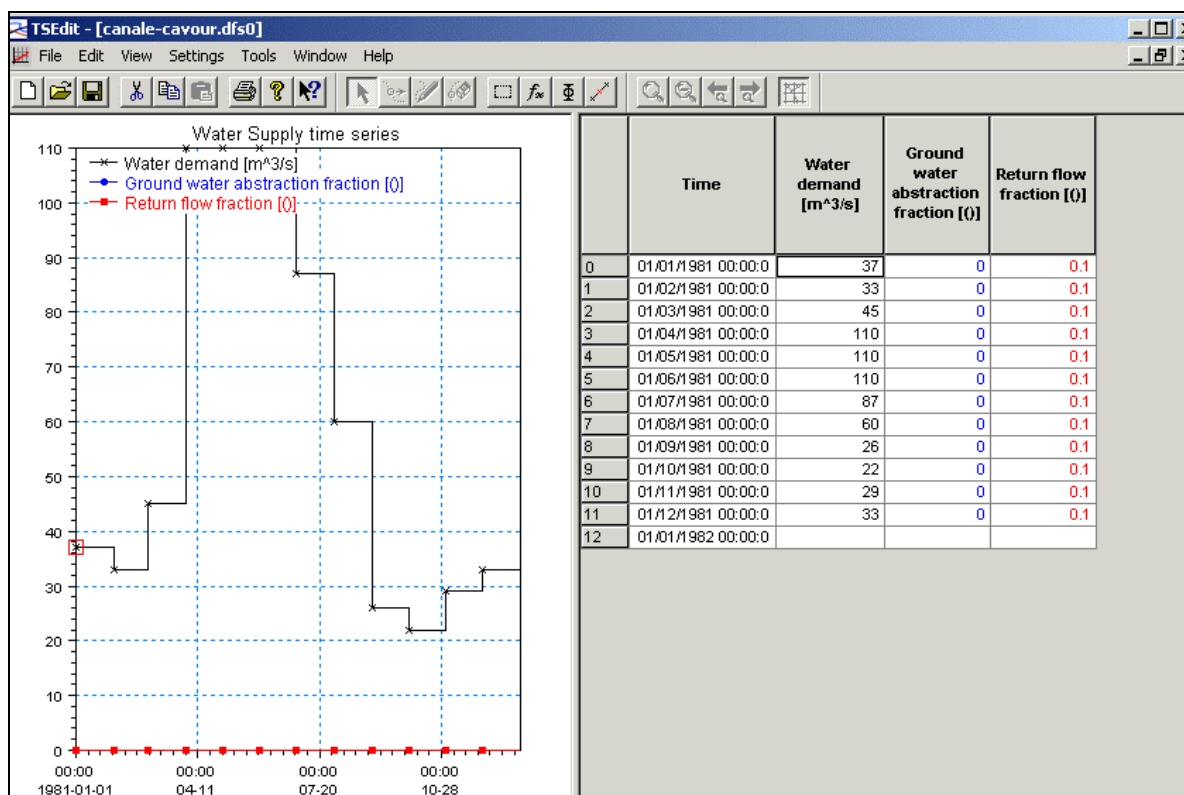
Schema di funzionamento al nodo

Input di base sono le serie storiche dei dati riguardanti i deflussi su ciascun tratto di rete e le portate di idroesigenza delle utenze. Sono inoltre da inserire le caratteristiche dei serbatoi e i relativi schemi operativi, gli afflussi diretti agli invasi e le temperature (per calcolare le perdite per evapotraspirazione, se significative); nel modello possono essere incorporate quindi richieste idriche multisetoriali per scopi domestici, industriali, irrigui, idroelettrici ed ambientali.



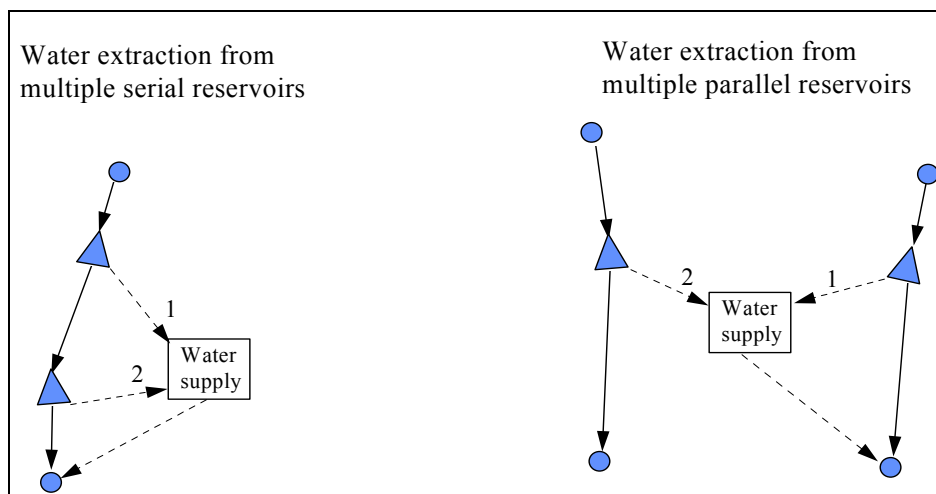
Esempio di serie storica di input: dati giornalieri di portata specifica (l/s/km<sup>2</sup>) che alimenta un tratto fluviale



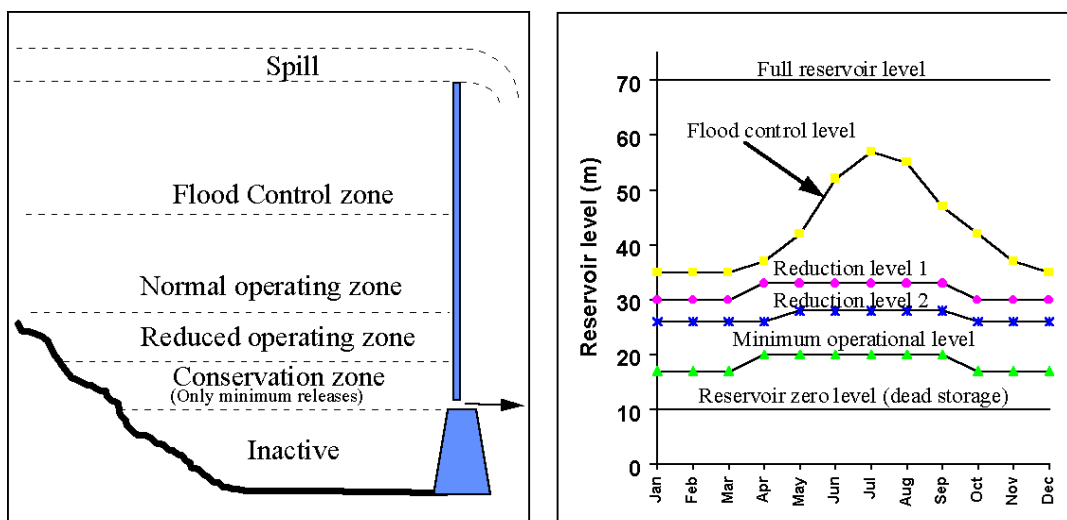


Esempio di serie storica di input: dati mensili rappresentanti la regola operativa di derivazione di un prelievo

MIKE BASIN può simulare sistemi anche multipli di serbatoi multi-uso; lo scopo è quello di poter rappresentare le prestazioni di ciascun singolo invaso per specifiche regole operative, descritte da opportune curve di utilizzo.

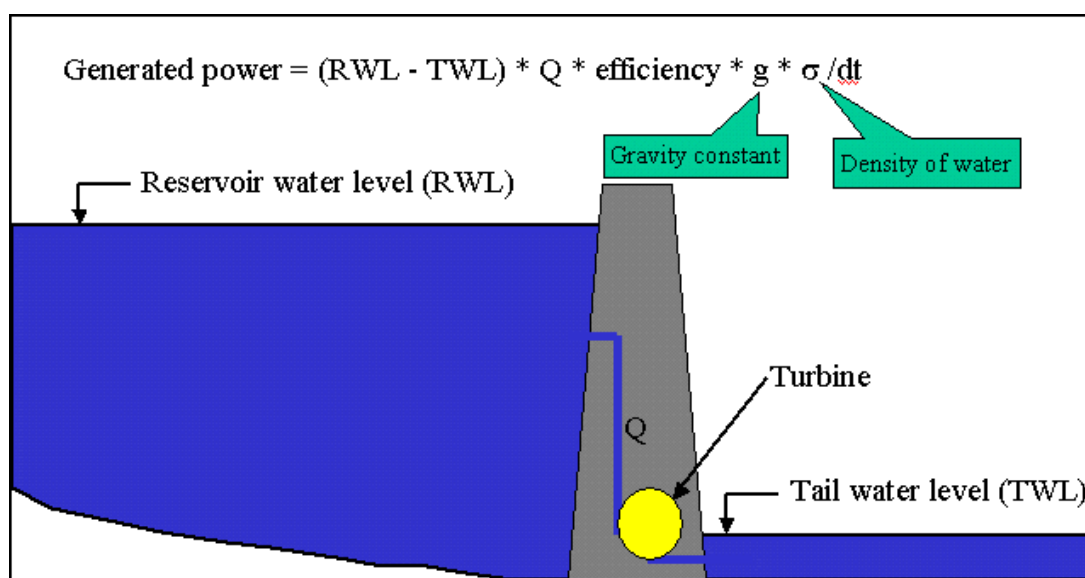


Sistemi multiplo di serbatoi di regolazione



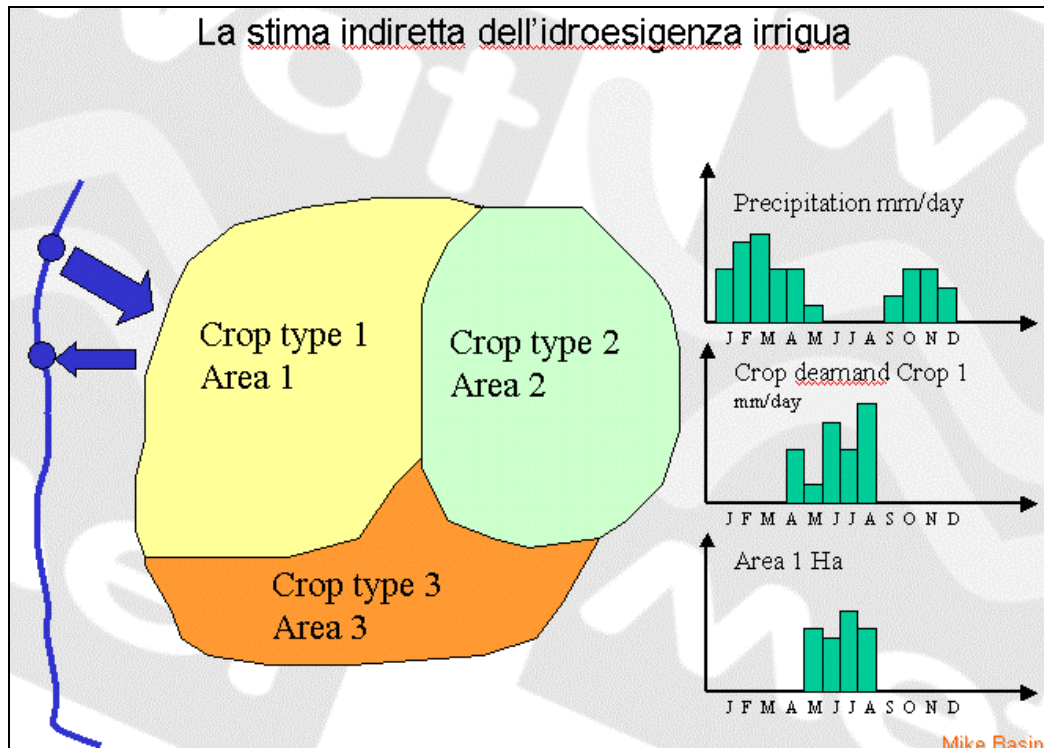
Schematizzazione delle regole operative di un serbatoio di ritenuta

A un serbatoio può essere collegato, oltre ad utenti a scopo irriguo o industriale, un impianto idroelettrico, come in figura seguente.



MIKE BASIN permette di condurre analisi, attraverso i dati di uso suolo, anche sul comparto dell'irrigazione. La stima del fabbisogno irriguo può essere condotta dai dati di campo.

## La stima indiretta dell'idroesigenza irrigua



Mike Basin

La domanda irrigua  $I_t$  è calcolata come:

$$I_t = \left[ \sum_{i=1}^I A_i (D_i - c_i P) + \sum_{m=1}^M n_m \cdot L_m \right]_t$$

dove:

$I$  è il numero delle tipologie di campi/coltivazioni considerate

$A_i$  è la superficie di ogni campo  $i$

$D_i$  è la fabbisogno di campo  $i$

$P$  è la precipitazione

$c_i$  è un coefficiente per la tipologia di sistema di irrigazione

$M$  è il numero dei diversi tipi di animali (allevamento)

$n_m$  è il numero di animali per ogni tipo

$L_m$  è il fabbisogno d'acqua per ogni tipo di animale  $m$

Il modello opera sulla base di un reticolo idraulico digitalizzato direttamente a video sulla cartografia di base (GIS) caricata in ArcView o costruito in automatico con MIKE INFO su base DEM.

Tutti i parametri di definizione della configurazione del reticolo di simulazione del flusso idrico, la localizzazione dei centri di domanda idrica, gli invasi, le prese e le restituzioni sono definiti mediante editing a video. E' anche possibile importare serie di dati direttamente da applicazioni Windows.

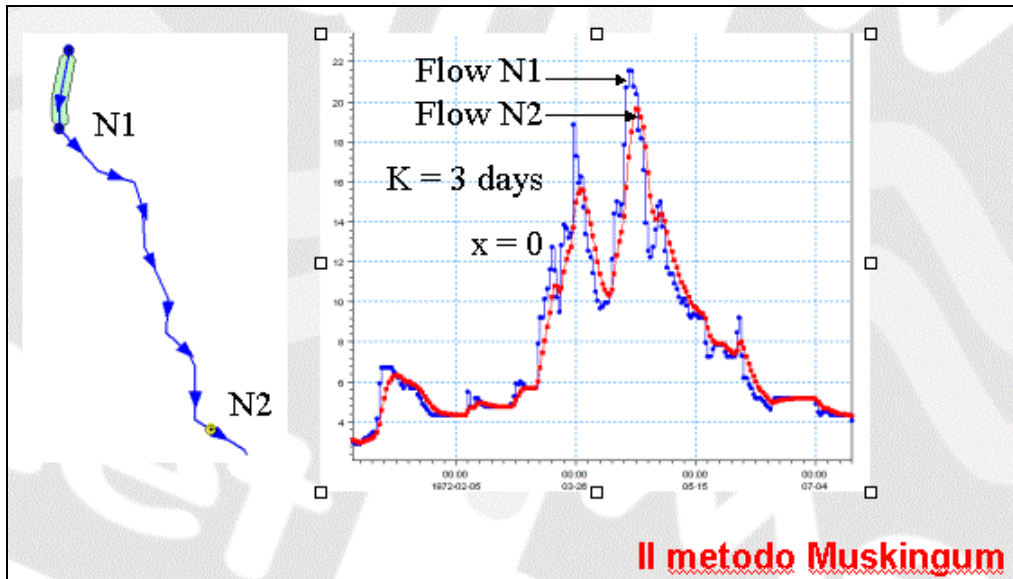
MIKE BASIN utilizza un'interfaccia grafica che consente l'impiego di tutte le funzionalità GIS di ArcView ed è sviluppato in linguaggio C++, consentendo l'implementazione di nuove opzioni o l'integrazione con applicazioni esterne.

MIKE BASIN risulta inoltre completamente compatibile con diversi moduli del codice di calcolo MIKE 11 (il modulo idrologico RR per la trasformazione afflussi-deflussi sul bacino; il modulo idrodinamico HD per la simulazione del comportamento idraulico della rete idrografica superficiale) con i quali può essere collegato quando la pianificazione e la gestione delle risorse a scala di bacino necessitano di studi modellistici di dettaglio in relazione agli aspetti più tipicamente fluviali o idrologici di bacino, ad integrazione degli output del modello e delle simulazioni possibili.

Il concetto matematico del codice di calcolo MIKE BASIN è quello di individuare soluzioni stazionarie ad ogni passo di calcolo; in questo modo può essere usato per definire valori "tipici" di quantità e qualità della risorsa idrica su sistemi a lungo periodo (cicli annuali su base mensile o giornaliera). Il vantaggio della rapidità della routine di calcolo è quello di poter simulare diversi scenari in poco tempo e permettere quindi il veloce confronto di differenti soluzioni. L'approssimazione della soluzione stazionaria, tuttavia, perde di significato quando i processi in esame non sono dello stesso ordine di grandezza del passo di simulazione; processi altamente dinamici possono però essere risolti attraverso l'utilizzo del codice di calcolo idrodinamico MIKE11.

Dal punto di vista idrodinamico, MIKE BASIN, per tener conto degli effetti di ritardo e di laminazione dell'idrogramma di portata fra due nodi successivi, utilizza il metodo Muskingum, comunemente usato nell'ambito di simulazioni idrologiche per tener conto della variabilità in alveo della relazione portate-volume immagazzinato.

MIKE BASIN offre in output tutte le informazioni riguardo le prestazioni (in termini di portate affluenti, defluenti e derivate) ai nodi, con particolare dettaglio al funzionamento dei serbatoi di ritenuta o dei sistemi irrigui; i risultati numerici sono presentati sia come medie sull'intero periodo di simulazione (sommari con base media mensile) sia per ogni passo di tempo, indicando anche frequenza ed entità dei deficit e delle carenze. Tutti i risultati possono essere visualizzati graficamente ed è fornita anche l'animazione lungo tutto il periodo della simulazione. Per alcuni risultati vengono forniti anche specifici valori di portata derivati dall'analisi statistica delle serie simulate (valori della curva di durata delle portate, Q7,10 ed altri).



Esempio di analisi idrodinamica semplificata .

purenode\_29.html - MIKE E  
File · Edit · View · Help

Quantiles for: Flow (ft <sup>3</sup> /s)	
7Q10	135.715
30Q20	123.275
30Q50	91.540

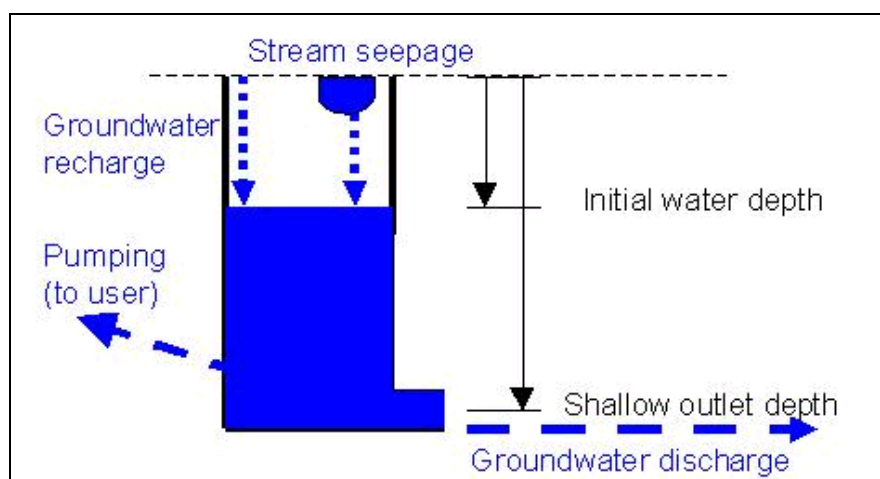
Duration table for: Flow (ft <sup>3</sup> /s)	
0 %	85186
5 %	16654.7
10 %	9023.68
15 %	6274.95
20 %	4873.85
25 %	3910.02
30 %	3311.96
35 %	2883.7
40 %	2474.12
45 %	2122.25

Esempio di analisi statistica sui risultati di simulazioni di medio-lungo periodo

## Modello acque sotterranee

I processi relativi alle acque sotterranee possono essere aggiunti alla simulazione del bilancio idrico superficiale, considerando che un acquifero interferisce con i deflussi superficiali fondamentalmente in tre modi:

- perdita per infiltrazione dal corso d'acqua (da fiume a falda) (seepage)
- ricarica dell'acquifero (dal bacino direttamente in falda) (recharge)
- alimentazione del corso d'acqua (da falda a fiume) (groundwater baseflow)



Schematizzazione dei processi relativi alle acque sotterranee.

Mentre i primi due fenomeni devono essere specificati dall'utente (attraverso specifiche serie temporali) la portata in uscita dall'acquifero verso il corso d'acqua è calcolata direttamente dal modello di bilancio, utilizzando una schematizzazione a serbatoio lineare. Un utilizzo diretto di acque di sottosuolo può impattare sul comportamento del serbatoio lineare rappresentante la falda, aggiungendo opportunamente dei pompaggi.

## Modello di qualità dell'acqua

Date le caratteristiche GIS, MIKE BASIN offre la possibilità di integrare direttamente nel modello la simulazione dell'inquinamento indotto da scarichi distribuiti e/o puntuali.

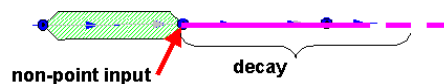
Fonti puntuali sono generalmente connesse a scarichi puntuali di tipo urbano associati a impianti di trattamento, per i quali l'utente può definire tipologie e metodologie o sceglierle da opzioni predefinite.

Fonti distribuite riguardano, specificatamente, i carichi di fosforo e azoto totali, anche con variazioni stagionali, fornendo l'opportunità, attraverso apposite subroutine, di effettuare la calibrazione dei carichi e la stima dei tempi di trasferimento.

Il modulo WQ aggiuntivo si configura, pertanto, come strumento per individuare i fabbisogni qualitativi, cioè di tipo ambientale, della risorsa idrica, specialmente in condizioni di criticità indotte da bassi deflussi in alveo.

Attraverso il modulo WQ, MIKE BASIN può simulare il trasporto e i fenomeni di degradazione delle più importanti sostanze che condizionano lo stato qualitativo dei corpi recettori (corsi d'acqua o invasi); ammoniaca, nitrati, ossigeno, fosforo e azoto totali e materia organica (quest'ultima è rappresentata in termini di domanda biologica e chimica, rispettivamente BOD e COD).

I processi di degradazione per tutte le sostanze sono descritti includendo le rispettive reazioni di trasformazione. Generalmente sono utilizzate leggi di decadimento, i cui parametri possono comunque essere specificati dall'utente. La soluzione numerica prevede la simulazioni di condizioni stazionarie ad ogni passo di tempo.

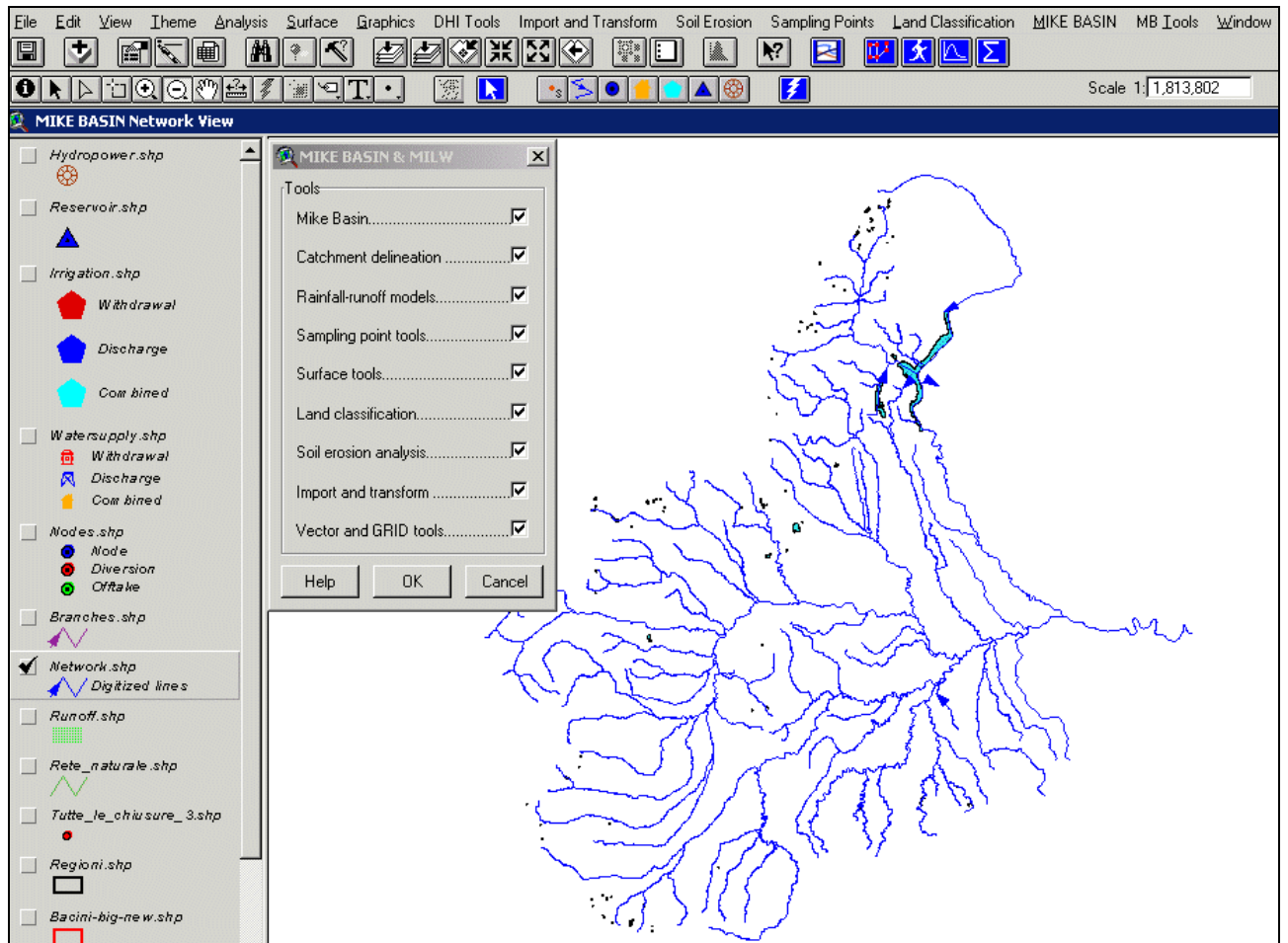


### Le procedure di ottimizzazione

Riguardo alle procedure di ottimizzazione degli scenari simulati, esiste la possibilità di condurre opportunamente analisi mirate per la razionalizzazione degli schemi di intervento, mediante tecniche di ottimizzazione predefinite o indicate con opportuni algoritmi dall'utente, opzione che risulterà molto utile per le elaborazioni di terza fase.

I processi di ottimizzazione possono essere applicati sui risultati di specifici scenari di interesse, utilizzando criteri di scelta fra due soluzioni differenti di schemi di intervento basati o sulla variazione di singoli parametri, o con analisi multi-criteria, attraverso procedure automatiche più sofisticate che permettono di tener conto di più fattori contemporaneamente.

## Alcune immagine dell'applicazione di MIKE BASIN al bacino piemontese



Attivazione dei moduli integrati di MIKE BASIN & MIKE INFO LAND and WATER



**MIKE BASIN Settings**

Working directory  
c:\1570-pta\modelli-fase2\mikebasin\mb-uter

Units  
 SI  U.S.

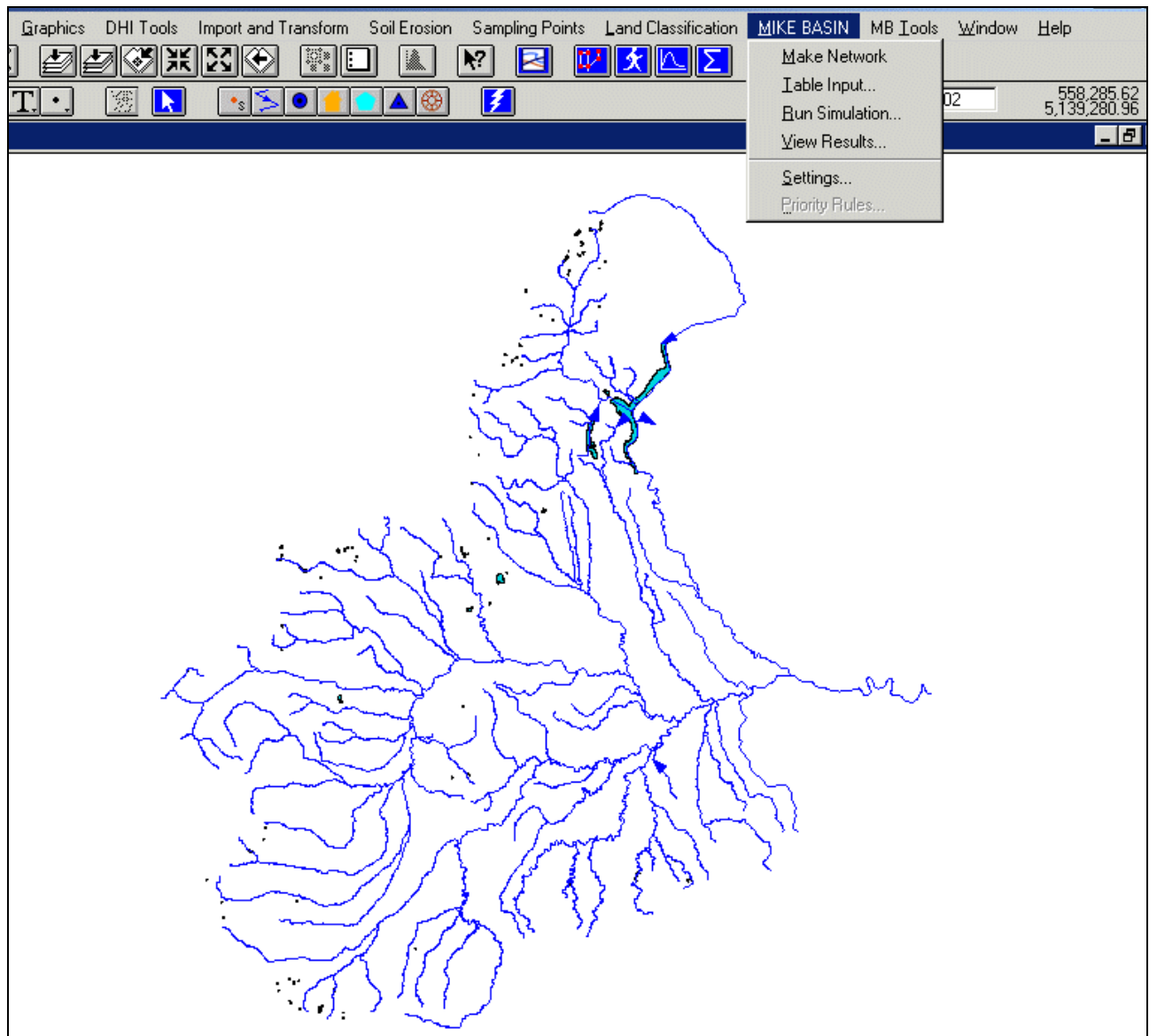
Simulation options  
 Water quantity  
 Groundwater  
 Water quality  
 Non-point extension  
 Global priority rules

General settings  
Start month of a water year   
Low flow statistics start month   
Low flow statistics end month

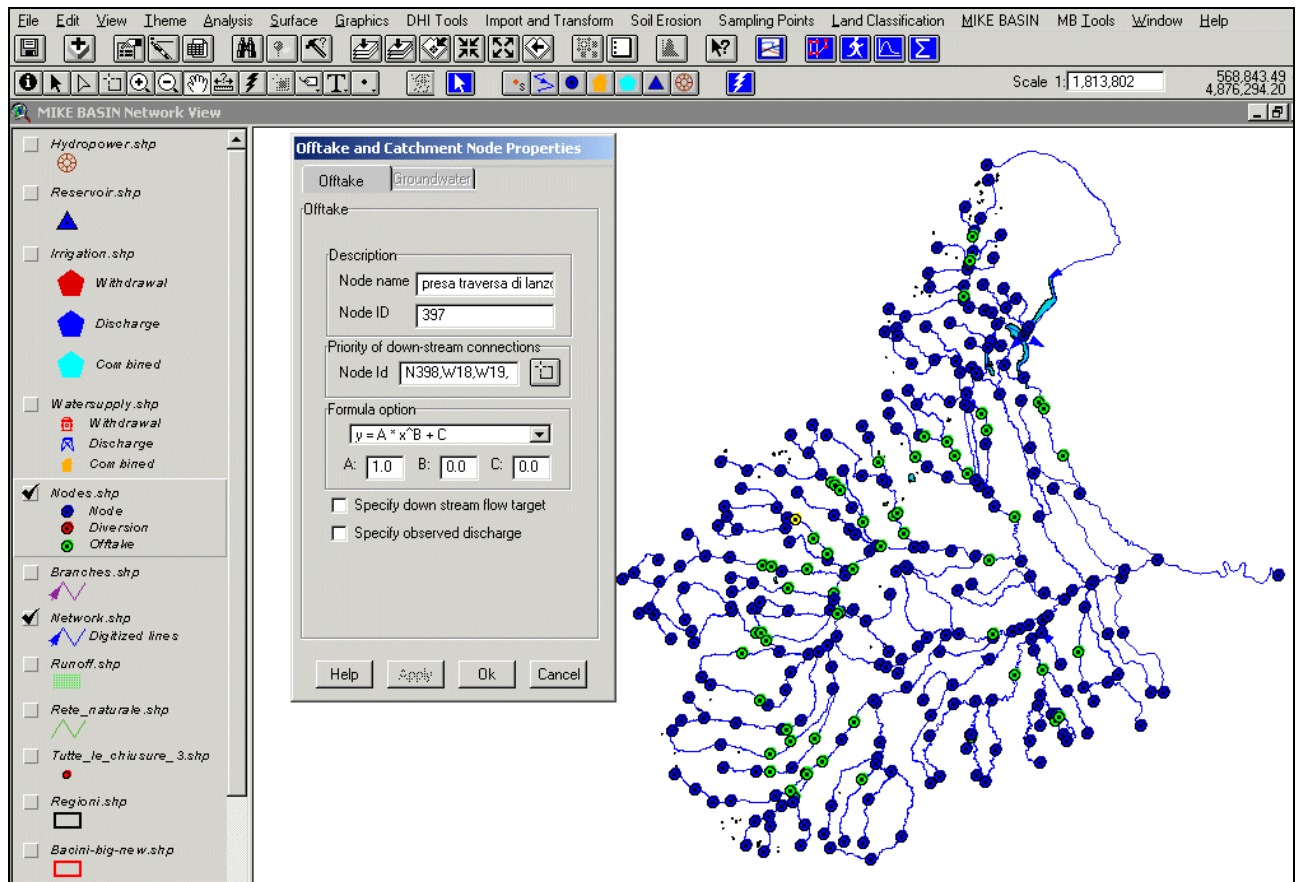
Interface preferences  
 Always load default legends.

Help OK Cancel

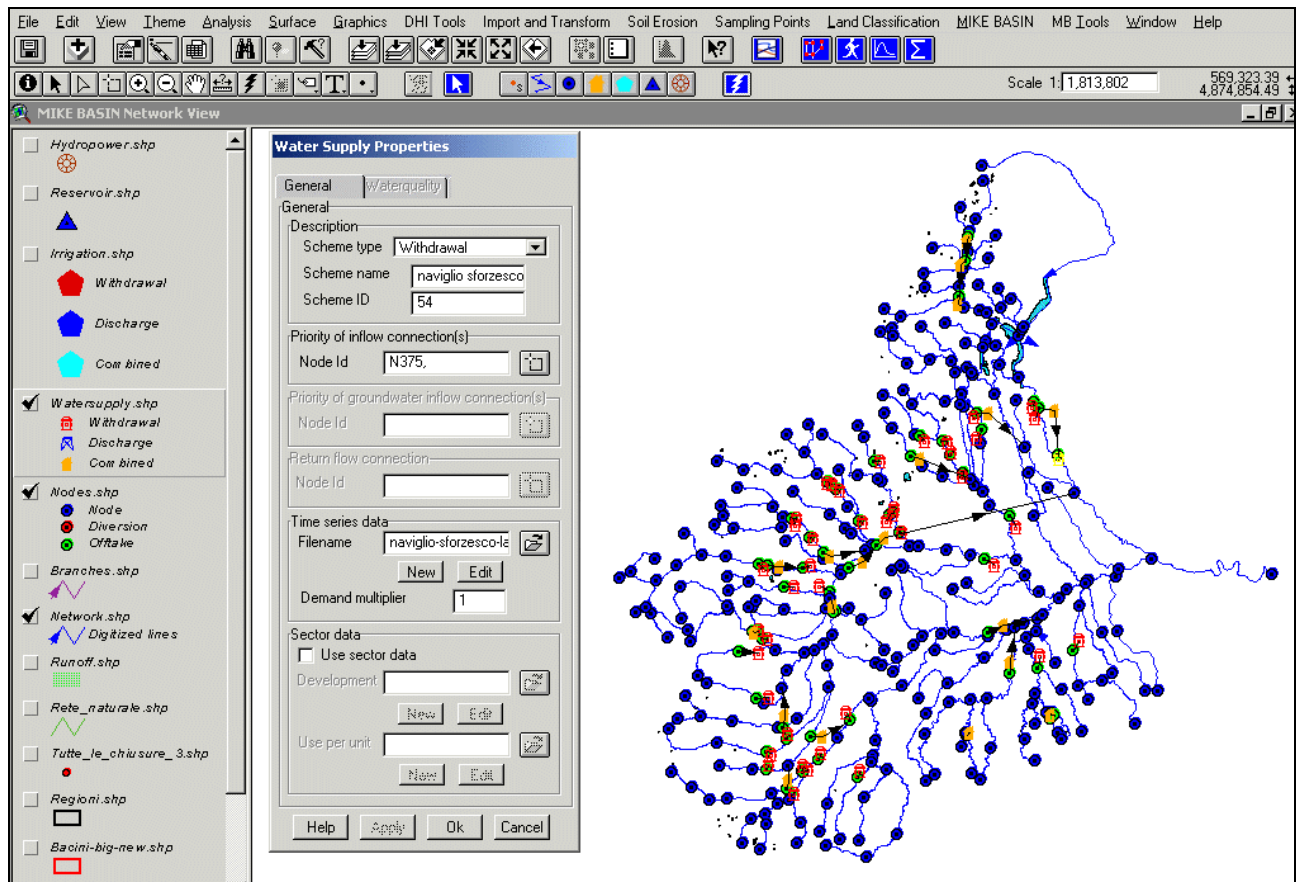
Menù di settaggio del codice di simulazione MIKE BASIN



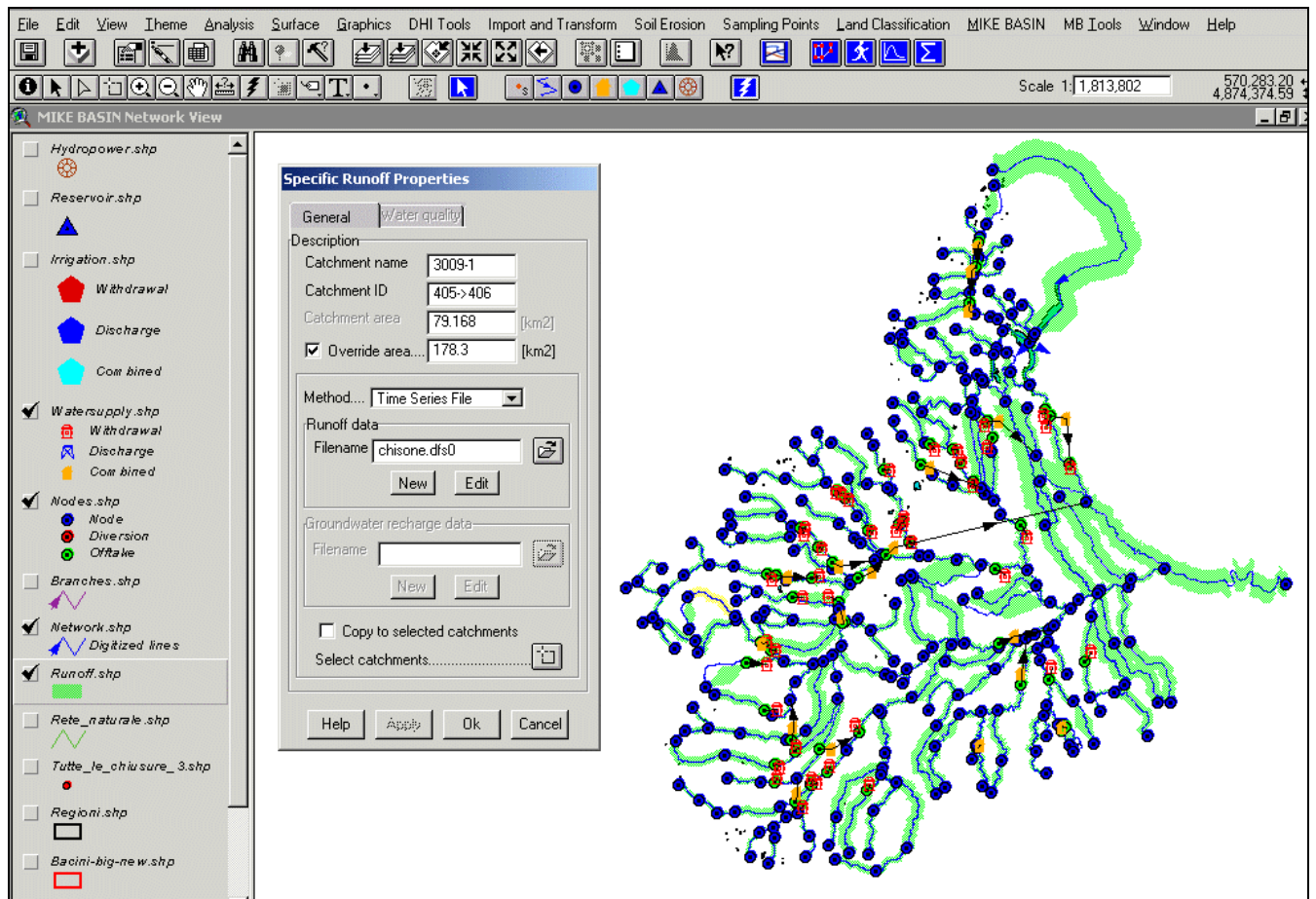
Menù delle operazioni base di MIKE BASIN



Menù di inserimento dei nodi del modello sul reticolo definito



Menù di inserimento delle utenze collegate ai nodi



Menù di inserimento delle condizioni idrologiche sul reticolo simulato (runoff)

mb-utenze-q-bacini-big\mb-utenze-qsemp1.apr - aprs\mikein~1.apr - ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 330 selected

**Attributes of Nodes.shp**

Shape	Node_name	Node_id	Node_type	Node_catch	Downnodes	Diversion
Point	presa canali pellice	407	UserNode		1 N262,w30,	
Point	presa canale carlo alberto	435	UserNode		1 N315,w40,	
Point	prese canali basso bormida	314	UserNode		1 N434,w42,	
Point	presa naviglio sforzesco/lango	375	UserNode		1 N328,w54,	
Point	prese canali basso scriveria	437	UserNode		1 N324,w45,	
Point	presa canale loreto	412	UserNode		1 N293,w33,	
Point	presa canale carassona	420	UserNode		1 N304,w38,	
Point	presa canale dio Rivalta	404	UserNode		1 N264,w25,	
Point	presa bealera caselette	402	UserNode		1 N403,w22,	
Point	presa caanle di rivoli	401	UserNode		1 N402,w23,	
Point	presa canale di caselle	398	UserNode		1 N474,w21,	
Point	presa traversa di lanzo	397	UserNode		1 N398,w18,w19,	
Point	presa canale mellea	422	UserNode		1 N293,w34,	
Point	presa gora di ozegna	386	UserNode		1 N387,w17,	
Point	presa canale vermenagna	302	UserNode		1 N463,w51,	
Point	presa canali ronchi-miglia	306	UserNode		1 N464,w36,	
Point	presa accessoria lavagnina	449	UserNode		1 N313,w43,	
Point	presa depretis	380	UserNode		1 N378,w11,w10,	
Point	presa invaso lavagnina	451	UserNode		1 N450,w43,	
Point	presa canale farini	379	UserNode		1 N243,w13,	
Point	presa diga di valla	453	UserNode		1 N310,w46,	
Point	presa canale baraggia	280	UserNode		1 N368,w7,	
Point	presa canale de ferrari	455	UserNode		1 N300,w41,	
Point	presa canale lanza	373	UserNode		1 N281,w3,	
Point	presa roggia sartirana	372	UserNode		1 N281,w64,	
Point	presa roggia buronzo	368	UserNode		1 N485,w14,	
Point	presa gora di montanaro	245	UserNode		1 N128,w63,	
Point	presa roggia mora/biraga/busc	369	UserNode		1 N479,w4,w5,	
Point	presa roggia favria	384	UserNode		1 N385,w15,	
Point	prese canali alta stura	462	UserNode		1 N306,w35,	
Point	presa canale bene vagienna	463	UserNode		1 N306,w47,	
Point	presa canale stura	464	UserNode		1 N423,w48,	
Point	presa canale pertusata	465	UserNode		1 N424,w37,	
Point	presa canale caluso	385	UserNode		1 N386,w16,	
Point	canali alto Po	467	UserNode		1 N408,w31,	
Point	presa rio torto	468	UserNode		1 N469,w32,	

Tabella dei nodi inseriti nel modello

Attributes of Watersupply.shp							
Shape	W/s_type	W/s_id	W/s_name	W/s_innode	W/s_outnode	Extitle	Dmultiplic
Point	0	2	c.cavour	N481,	N328,	users\irigui\canale-cavour.dfs0	1.000
Point	1	3	presa canale Lanza	N373,		users\irigui\canale-lanza.dfs0	1.000
Point	0	4	presa roggia mora-biraga-busca	N369,	N376,	users\irigui\roggia-mora-biraga-busca.dfs0	1.000
Point	1	5	roggia marchionale	N369,		users\irigui\roggia-marchionale.dfs0	1.000
Point	1	6	roggia lenta	N479,		users\irigui\roggia-lenta.dfs0	1.000
Point	1	7	n.canale baraggia	N280,		users\irigui\nuovo-canale-baraggia.dfs0	1.000
Point	1	8	canale della marchesa	N478,		users\irigui\canale-marchesa(cervo).dfs0	1.000
Point	1	10	canale di Villareggia	N380,		users\irigui\canale-di-villareggia.dfs0	1.000
Point	1	11	canale de petris	N380,		users\irigui\canale-depetris.dfs0	1.000
Point	1	12	canale di chivasso	N378,		users\irigui\canale-di-chivasso.dfs0	1.000
Point	1	13	canale farini	N379,		users\irigui\canale-farini.dfs0	1.000
Point	1	14	roggia buronzo	N368,		users\irigui\roggia-buronzo.dfs0	1.000
Point	1	15	roggia favria	N384,		users\irigui\roggia-favria.dfs0	1.000
Point	1	16	canale di caluso	N385,		users\irigui\canale-di-caluso.dfs0	1.000
Point	1	17	gora ozegna-bealera rivarolo	N386,		users\irigui\bealera-rivarolo-gora-ozegna.dfs0	1.000
Point	1	18	canale lanzo-nole	N397,		users\irigui\canale-lanzo-nole.dfs0	1.000
Point	1	19	canale Fiano-Druento	N397,		users\irigui\canale-fiano-druento.dfs0	1.000
Point	0	20	bealera di settimo	N474,	N475,	users\irigui\bealera-di-settimo.dfs0	1.000
Point	1	21	canale di caselle	N398,		users\irigui\canale-di-caselle.dfs0	1.000
Point	0	22	canali bassa dora rip	N402,	N477,	users\irigui\canali-bassa-dora-1.dfs0	1.000
Point	1	23	canale di rivoli	N401,		users\irigui\canale-di-rivoli.dfs0	1.000
Point	1	24	canali bassa dora riparia	N477,		users\irigui\canali-bassa-dora-2.dfs0	1.000
Point	1	25	canale di Rivalta	N404,		users\irigui\canale-di-rivalta.dfs0	1.000
Point	0	26	impianto la loggia	N482,	N358,	users\idroelettrici\impianto-la-loggia.dfs0	1.000
Point	1	27	canale motta grossa	N472,		users\irigui\canale-motta-grossa.dfs0	1.000
Point	0	28	canale moirano	N471,	N472,	users\irigui\canale-moirano.dfs0	1.000
Point	1	29	canale di macello	N473,		users\irigui\canale-di-macello.dfs0	1.000
Point	1	30	canali pellice	N407,		users\irigui\canali-pellice.dfs0	1.000
Point	1	31	canali alto po	N467,		users\irigui\canali-alto-po(c.dfs0	1.000
Point	0	32	bedale del corso-rio torto	N468,	N466,	users\irigui\rio-torto.dfs0	1.000
Point	1	33	canale loreto	N412,		users\irigui\canale-loreto.dfs0	1.000
Point	0	34	canale mellea	N422,	N465,	users\irigui\canale-mellea.dfs0	1.000
Point	0	35	canali alta stura demonte	N462,	N421,	users\irigui\canali-alta-stura-d.dfs0	1.000
Point	1	36	canali ronchi miglia	N306,		users\irigui\canale-ronchi-miglia.dfs0	1.000
Point	1	37	canale pertusata	N465,		users\irigui\canale-pertusata.dfs0	1.000
Point	1	38	canale carassona	N420,		users\irigui\canale-carassona.dfs0	1.000

Tabella delle utenze




Attributes of Runoff.shp							
Shape	Rq_no	Rq_id	Rq_name	Ext_file	Rq_area	Method	Giv_rc_file
Polygon	1	228->231	5017-3	res-nam-mb\affluenti-magg.dfs0	36.0000000	Time Series File	
Polygon	2	251->271	4003-1	res-nam-mb\dora-ripa.dfs0	15.5000000	Time Series File	
Polygon	3	42->218	5016-1	res-nam-mb\strona-omegna.dfs0	85.0000000	Time Series File	
Polygon	6	332->331	7004-2	res-nam-mb\alto-scrivia.dfs0	35.0000000	Time Series File	
Polygon	7	62->268	3007-3	res-nam-mb\chisola.dfs0	55.0000000	Time Series File	
Polygon	9	299->170	2024-1	res-nam-mb\medio-basso-tanaro.dfs0	29.0000000	Time Series File	
Polygon	11	268->263	3007-5	res-nam-mb\chisola.dfs0	130.0000000	Time Series File	
Polygon	13	46->236	8010-2	res-nam-mb\vagogna.dfs0	20.0000000	Time Series File	
Polygon	14	291->292	3024-1	res-nam-mb\po-monte-torino.dfs0	25.0000000	Time Series File	
Polygon	16	281->283	8008-3	res-nam-mb\basso-po.dfs0	50.0000000	Time Series File	
Polygon	19	326->321	8013	res-nam-mb\terdoppio.dfs0	253.0000000	Time Series File	
Polygon	20	322->212	po	res-nam-mb\basso-basso-po.dfs0	1.0000000	Time Series File	
Polygon	21	343->247	4016	res-nam-mb\alta-stura-lanzo.dfs0	126.0000000	Time Series File	
Polygon	24	323->318	8012-2	res-nam-mb\basso-po.dfs0	20.0000000	Time Series File	
Polygon	25	269->354	3023-4	res-nam-mb\basso-pellice.dfs0	25.0000000	Time Series File	
Polygon	31	86->298	2019-1	res-nam-mb\triverna.dfs0	28.5000000	Time Series File	
Polygon	32	339->270	4004-1	res-nam-mb\dora-bardonecchia.dfs0	82.0000000	Time Series File	
Polygon	33	226->228	5017-2	res-nam-mb\affluenti-magg.dfs0	20.0000000	Time Series File	
Polygon	34	234->235	1006-4	res-nam-mb\altosesia(1004tot).dfs0	1.0000000	Time Series File	
Polygon	35	305->304	2017-2	res-nam-mb\medio-tanaro.dfs0	35.5000000	Time Series File	
Polygon	37	58->265	3003-2	res-nam-mb\banna.dfs0	53.0000000	Time Series File	
Polygon	40	273->250	4019-4	res-nam-mb\bassastura-lanzo.dfs0	20.0000000	Time Series File	
Polygon	41	16->275	4023-2	res-nam-mb\soana.dfs0	87.0000000	Time Series File	
Polygon	42	43->227	5015-2	res-nam-mb\strona-omegna.dfs0	12.0000000	Time Series File	
Polygon	43	347->278	1011-7	res-nam-mb\basso-cervo.dfs0	135.0000000	Time Series File	
Polygon	44	10->248	4013-2	res-nam-mb\alta-stura-lanzo.dfs0	47.2000000	Time Series File	
Polygon	47	246->128	8002-2	res-nam-mb\po-valle-torino.dfs0	3.0000000	Time Series File	
Polygon	48	240->241	1011-9	res-nam-mb\basso-cervo.dfs0	3.0000000	Time Series File	
Polygon	49	353->311	2038-4	res-nam-mb\basso-bormida.dfs0	45.0000000	Time Series File	
Polygon	50	318->319	8012-3	res-nam-mb\basso-po.dfs0	10.0000000	Time Series File	
Polygon	51	236->329	8010-3	res-nam-mb\vagogna.dfs0	175.0000000	Time Series File	
Polygon	52	214->219	5009	res-nam-mb\alto-toce(5006tot).dfs0	264.0000000	Time Series File	
Polygon	54	264->272	3026-2	res-nam-mb\po-monte-torino.dfs0	60.0000000	Time Series File	
Polygon	57	30->349	5013-2	res-nam-mb\alto-toce(5006tot).dfs0	26.0000000	Time Series File	
Polygon	58	217->232	1003	res-nam-mb\altosesia(1004tot).dfs0	147.0000000	Time Series File	
Polygon	59	209->227	5015-1	res-nam-mb\strona-omegna.dfs0	60.0000000	Time Series File	


Tabella delle condizioni idrologiche sui tratti individuati dai nodi sul reticolo idrografico



**MIKE BASIN Simulation**

Simulation ID  
MIKE BASIN Simulation ID  

Simulation parameters

Use parameters from a previous simulation 

Simulation period

Start time [yyyy mm dd h m s]

End time [yyyy mm dd h m s]

Simulation interval

Time step length


Days  Months

Simulation ID

Description:

Sub-description:

Simulation options

- Reset reservoirs each year.
- Infer runoff from observed discharge.
- Generate output only at selected nodes. 
- Automatically load simulation results.
- Create html result tables.
- Create data for enhanced result presentation.

Menù di attivazione delle simulazioni

## **ANNESSO 3**

### **Il modello idrodinamico HD del codice MIKE 11**

## MIKE 11 – modulo HD

### 1. PREMESSA

Il programma MIKE11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni idrodinamiche in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE11-HD è un codice di calcolo per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione MIKE11-HD, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

### 2. DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.

Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle, cioè simulare i fenomeni di rigurgito.

Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

### 3. EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE11 mediante il terzo tipo di formulazione risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni.

- a) Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
- b) La pendenza del fondo è piccola.
- c) Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0$$

dove:

- A = area della sezione bagnata (m<sup>2</sup>);
- C = coefficiente di attrito di Chezy (m<sup>1/2</sup> s<sup>-1</sup>);
- g = accelerazione di gravità (m s<sup>-2</sup>);
- h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q = portata (m<sup>3</sup>/s);

R = raggio idraulico (m);  
 $\alpha$  = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;  
q = portata laterale addotta ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

#### 4. SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

#### 5. APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare tutti i termini legati alla quantità di moto nelle equazioni generali di De Saint Venant:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine  $\partial h / \partial x$ . Per ragioni di stabilità questo termine nella soluzione viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

## 6. DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

### Tipi di strutture simulate

#### Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

#### Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

#### Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

#### Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

#### Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_{j1}) \cdot Z_{j2}$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

### Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

## **7. RESISTENZA D'ATTRITO**

MIKE11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2 AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2 AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

## **8. CONDIZIONI INIZIALI**

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

## 9. METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

## 10. CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

## 11. DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perchè questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

### 1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d + V}}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

Cr = numero di Courant;

d = altezza d'acqua media;



V = velocità media della corrente;  
g = accelerazione di gravità;  
Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente ( $Fr < 1$ ), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

## 2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V * Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

In osservanza ai sovraccitati criteri è possibile definire unicamente intervalli di valori per Dx e Dt e non valori univoci per ogni simulazione.

Il file principale del modello è definito 'file di simulazione' e racchiude tutte le informazioni relative alla simulazione stessa.

In una prima finestra vengono selezionati i moduli attivati tra quelli disponibili ( idrodinamico, qualità delle acque, trasporto solido, idrologico, previsione piene)

Nel presente progetto, relativamente alle attività di fase II, si è utilizzato solo il modulo idrodinamico.

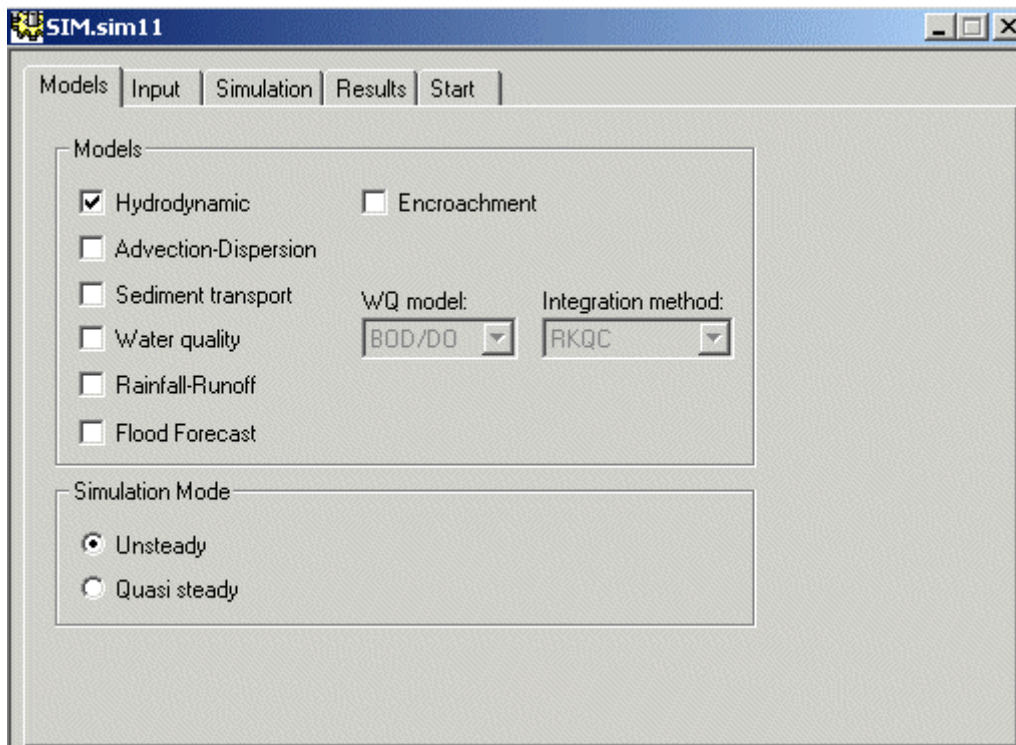


Figura 1 – Finestra di selezione dei moduli attivi

In base ai moduli attivati, vengono selezionati i files di ingresso che contengono le informazioni specifiche per l'area di studio, descritte successivamente.

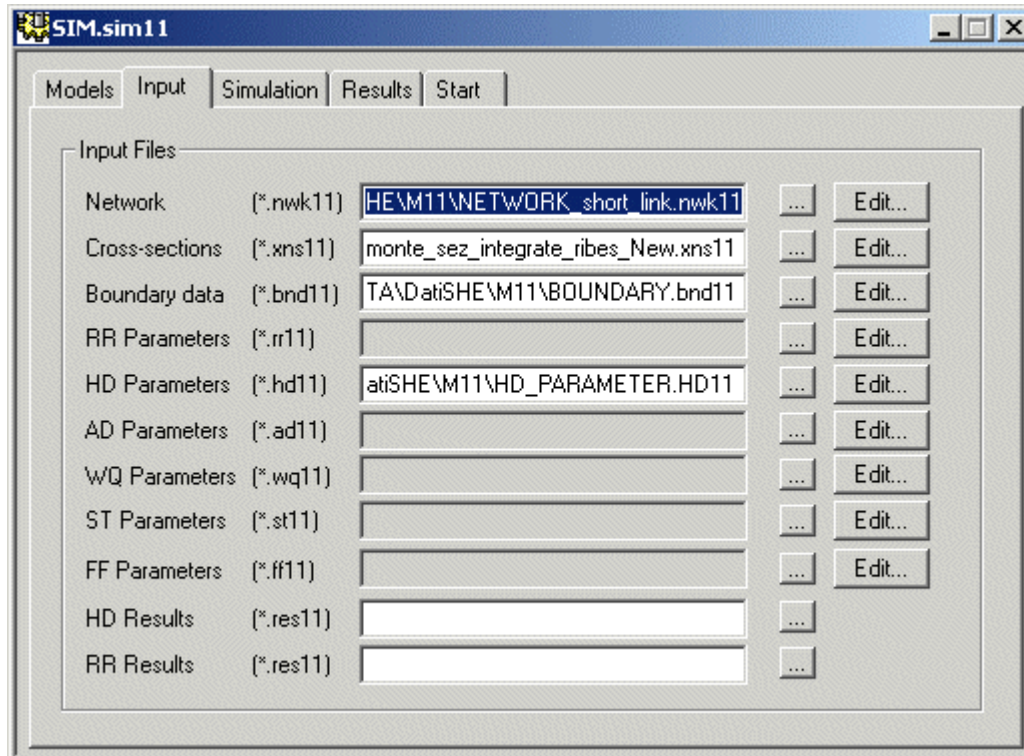


Fig.ura 2 – Scelta dei file di input

Viene poi definito l'intervallo temporale per la simulazione, il passo di integrazione e le condizioni iniziali.

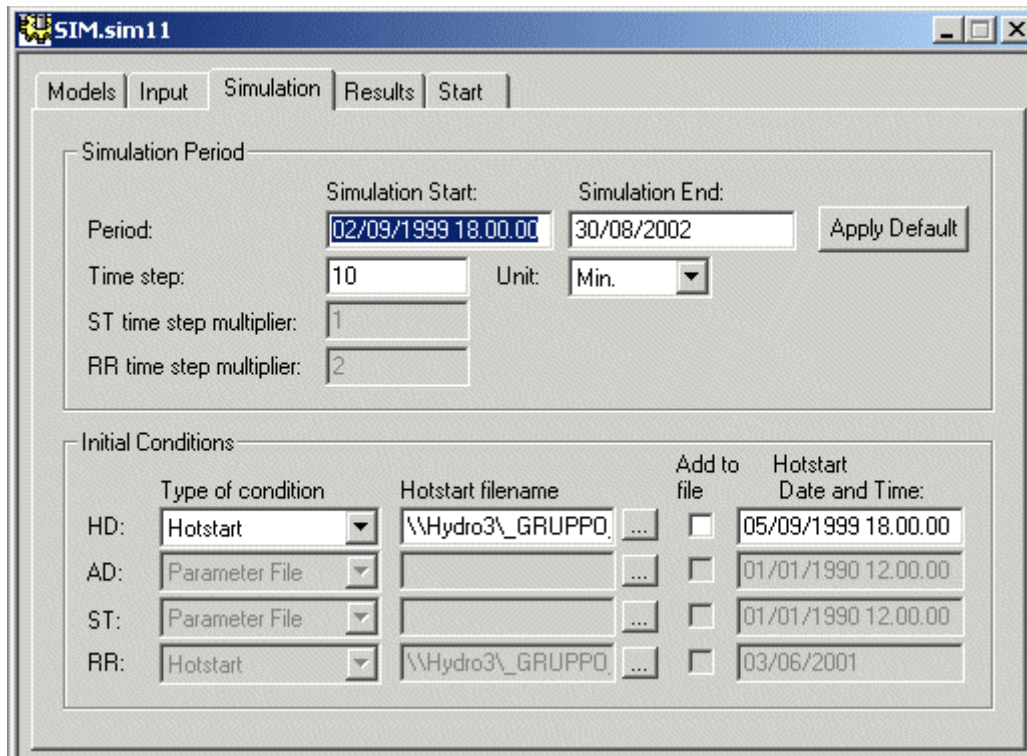


Figura 3 – Scelta dell'intervallo di simulazione, timestep e condizioni iniziali

A seguire la definizione del file di output, la validazione dei dati inseriti e l'avvio della simulazione

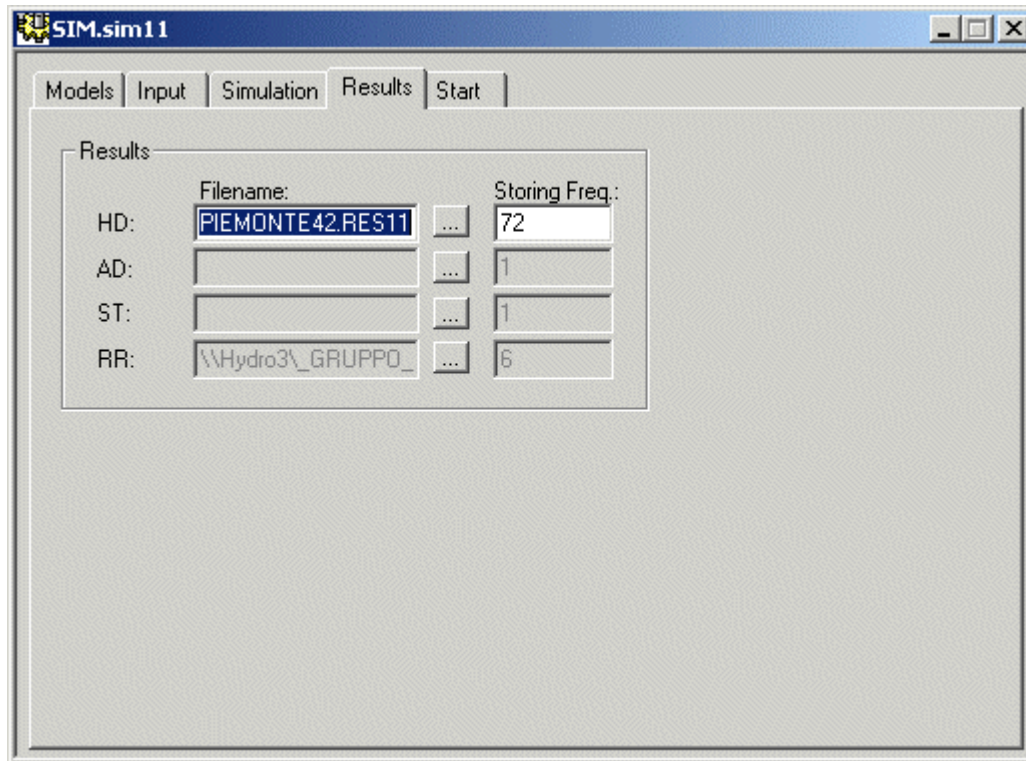


Fig.ura 4 – Scelta del file di output

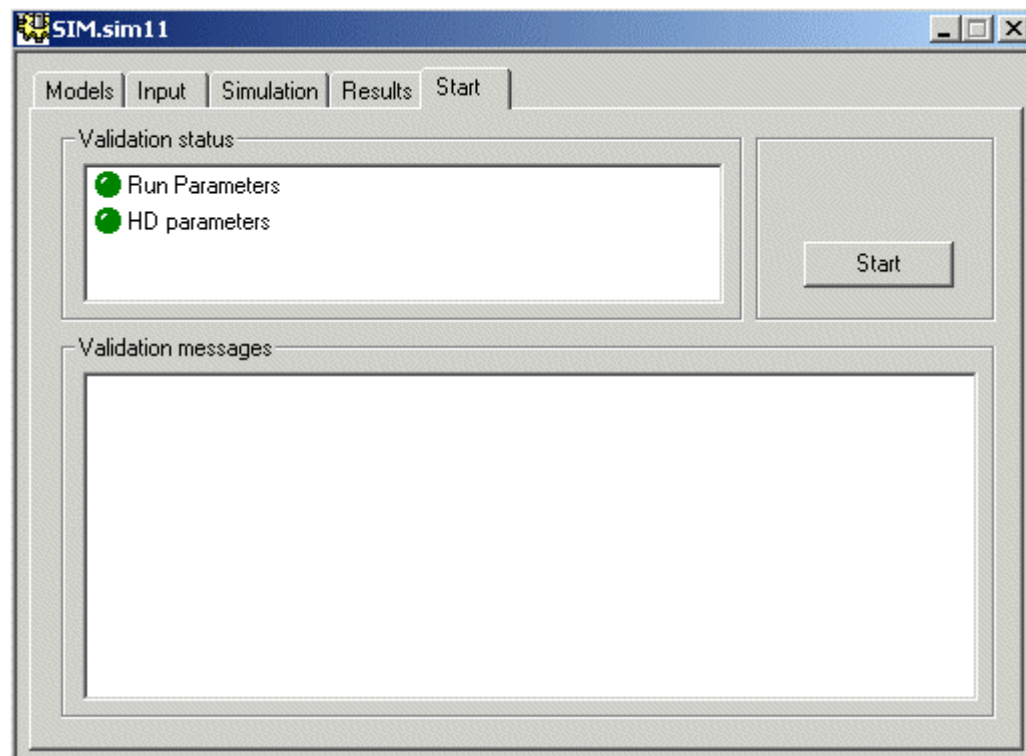


Figura 5 - Validazione dei dati ed avvio della simulazione.

I dati di input selezionati nel file di simulazione descrivono il sistema che si intende rappresentare. Un primo file descrive la rete idrografica simulata, sia a livello grafico, sia in termini di strutture presenti.

All'interno vengono anche definiti i parametri di conduttività per lo scambio falda – fiume, qualora differenti da quelli dello strato geologico corrispondente.

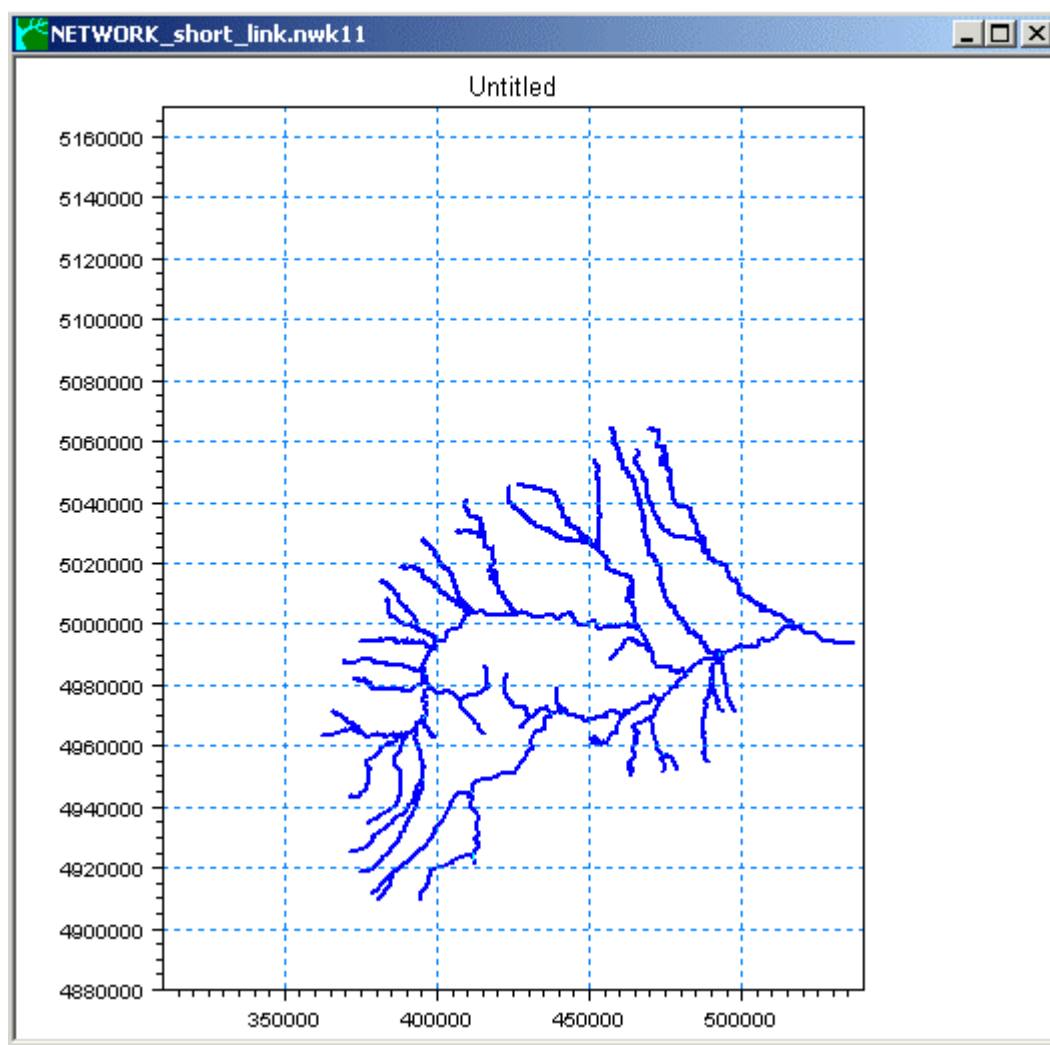


Figura 6 – Definizione del reticolo idrografico modellato

NETWORK\_short\_link.nwk1:2

Overview

- Network
  - Points (7111)
  - Branches (41)
- Structures
  - Weirs (31)
  - Culverts (3)
  - Bridges
  - Pump
  - Regulating
  - Control Str.
  - Dambreak Str.
  - User defined
  - Tabulated Structures
  - Energy Loss
  - Hydraulic Control (MIKE 12)
- Routing
  - Kinematic routing method
- Runoff/groundwater links
  - MIKE SHE links (42)
  - Rainfall-runoff links
- Grid points
  - Grid Points

Location

Branch name: agognaupper

Upstream Chainage: 5617

Downstream Chainage: 65672

Inundation

Flood Area Option: No flooding

Flood Code:

Bed Topography: Use Grid Data

Bed Leakage: Use River data

Include all Branches

Leakage

Exchange type: Reduced (b)

Leakage Coef.: 1E-006

Overview of MIKE SHE Coupling Reaches

	Branch Name	US. Chainage	DS. Chainage	Exchange Type	Leakage Coef.	Flood Area	Flood Code	Be...
1	agognaupper	5617	65672	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
2	agogna	65673	68500	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
3	Banna	5000	29519	Reduced (b)	1E-005	No flooding		Use C
4	BELBO	86959	102959	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
5	Belbo Upper	42567	43942	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
6	Borbore	10400	17678	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
7	Bormida	138067	143690	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
8	Ceronda	11000	23188	Reduced (b)	1E-005	No flooding		Use C
9	cervo	14013	51450	Reduced (b)	1E-005	No flooding		Use C
10	Chisola	12000	39071	Reduced (b)	1E-005	No flooding		Use C
11	Chisone	57847	65284	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
12	Chiusella	5000	12060	Reduced (b)	1E-007	No flooding		Use C
13	Curone	38472	55501	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
14	Dora Baltea	101342	151629	Reduced (b)	1E-005	No flooding		Use C
15	Dora Riparia	71661	101170	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
16	elvo	11130	47263	Reduced (b)	1E-006	No flooding		Use C
17	Gesso	17337	22786	Reduced (b)	1E-007	No flooding		Use C

Figura 7 - Parametri specifici di strutture interferenti e coefficienti di conduttività tra alveo e zona satura.

La geometria dei corsi d'acqua è descritta da sezioni trasversali d'alveo che sono contenute in un apposito file.

La geometria della sezione è di volta in volta visualizzata nella parte destra mentre a sinistra sono inseriti i dati morfologici e la localizzazione lungo il reticolo precedentemente individuato.

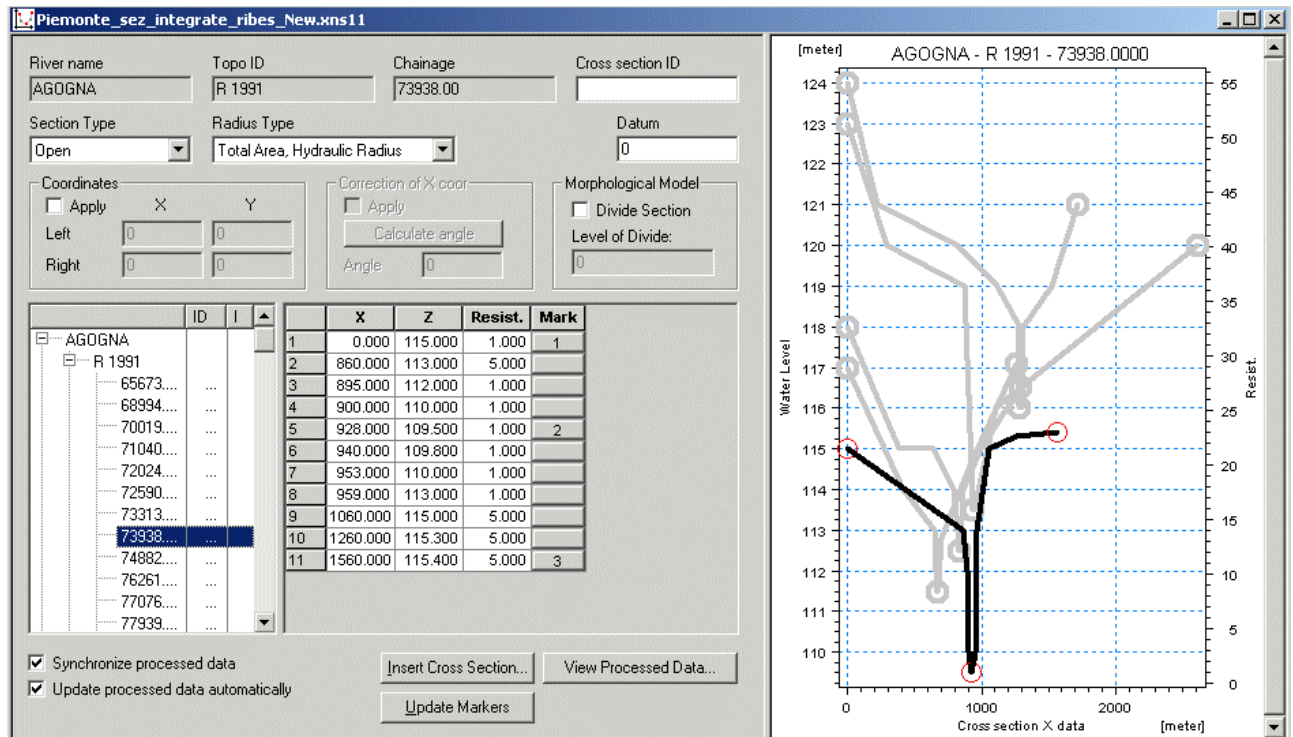


Figura 8 – Sezioni trasversali



Le condizioni al contorno, gestite in apposita finestra, descrivono gli ingressi e le derivazioni dalla rete, nonché la scala di deflusso descrittiva delle condizioni di valle.

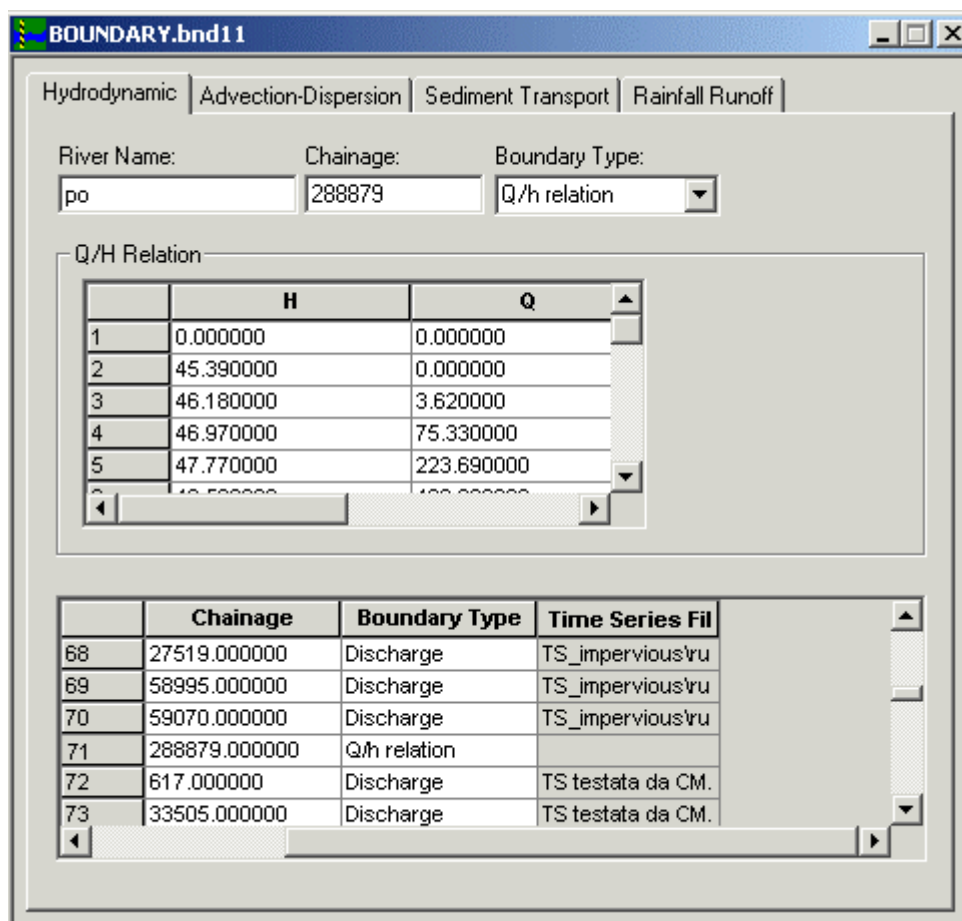


Figura 9 – File delle condizioni al contorno.

In ultimo è necessario specificare alcuni parametri propri dello schema numerico di calcolo.

The screenshot shows a software window titled "HD\_PARAMETER.HD11" with a standard Windows-style title bar. The window is divided into several sections. At the top, there are four tabs: "User Def. Marks", "Encroachment", "Heat Balance", and "Stratification". Below these are two rows of sub-sections: "Initial", "Wind", "Bed Resist.", "Bed Resist. Toolbox", and "Wave Approx" in the first row; "Default Values", "Quasi Steady", "Reach Lengths", "Add. Output", and "Flood Plain Resist." in the second row. The main area is titled "Computation Scheme" and contains two columns of input fields. The first column includes: Delta (value: 1), Delhs (value: 0.1), Delh (value: 0.1), Alpha (value: 1), Theta (value: 1), Eps (value: 0.0001), and Dh Node (value: 0.01). The second column includes: Zeta Min (value: 0.2), Struc Fac (value: 0), Inter1Max (value: 10), Nolter (value: 1), MaxIterSteady (value: 20), FroudeMax (value: -1), and FroudeExp (value: -1). Below the "Computation Scheme" section is a "Switches" section with a label "Node Compatibility" and a dropdown menu currently set to "Water Level".

Fig.ura 10 – File dei parametri idrodinamici.

Output del modello sono tutte le grandezze idrodinamiche relative al deflusso nel reticolo idrografico, rappresentabili nel modo più utile alle finalità dell'utente.

Ad esempio è possibile rappresentare profili longitudinali, trasversali, idrogrammi di livello e di portata, sempre mantenendo la georeferenziazione e la sincroreferenziazione delle informazioni fornite.

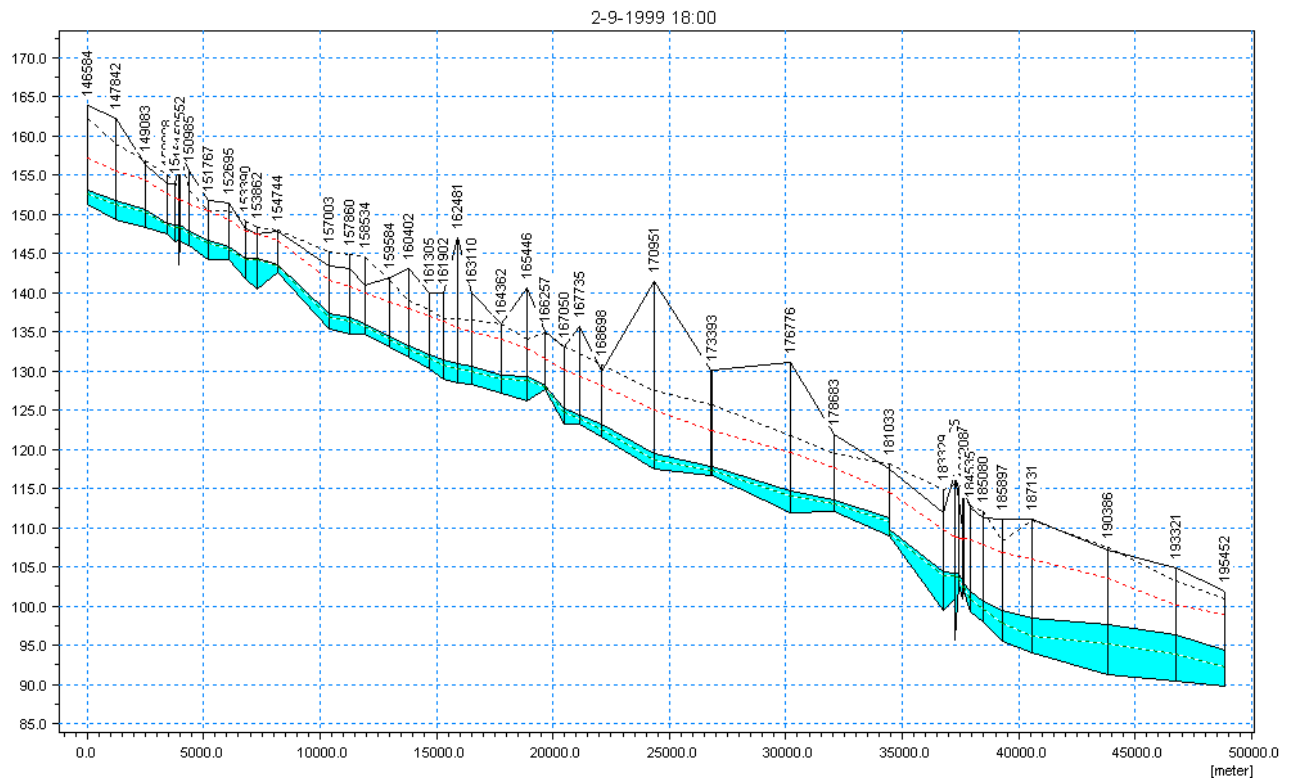


Fig.ura 11 – Esempio di profilo longitudinale di output

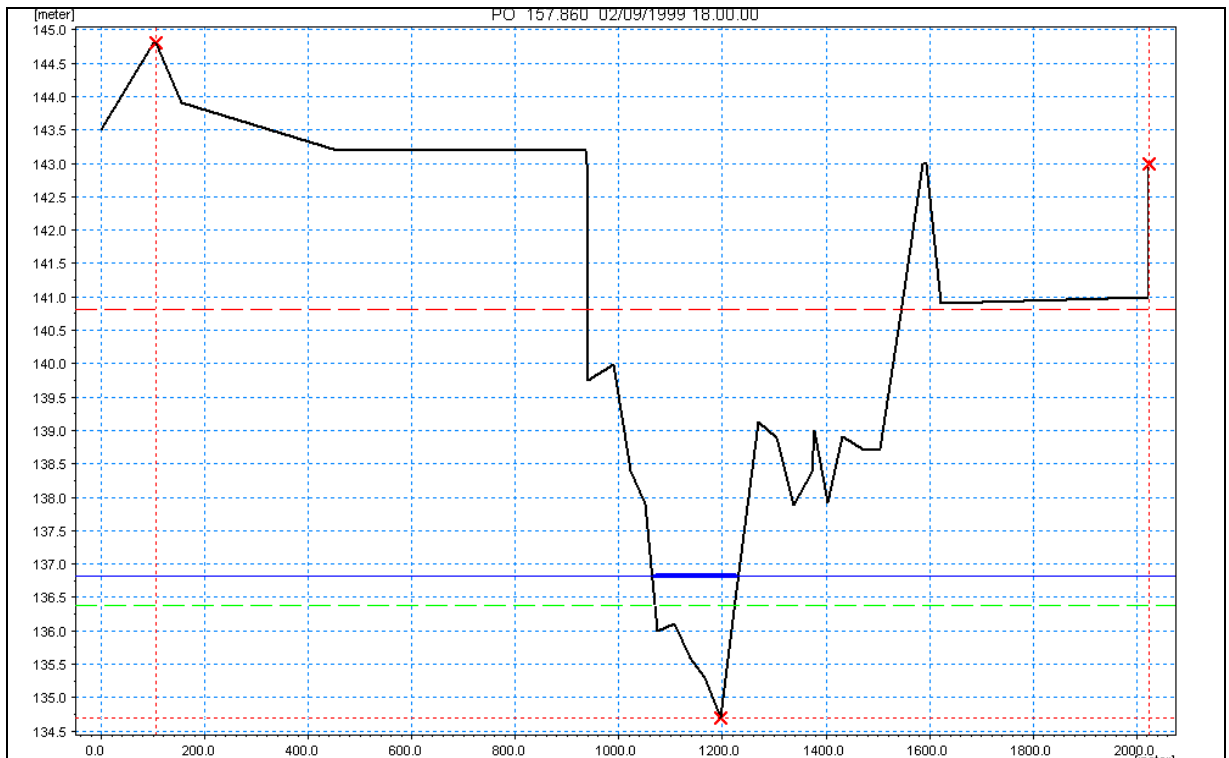


Figura12 – Esempio di sezione trasversale con indicazione del livello della corrente al tempo fissato

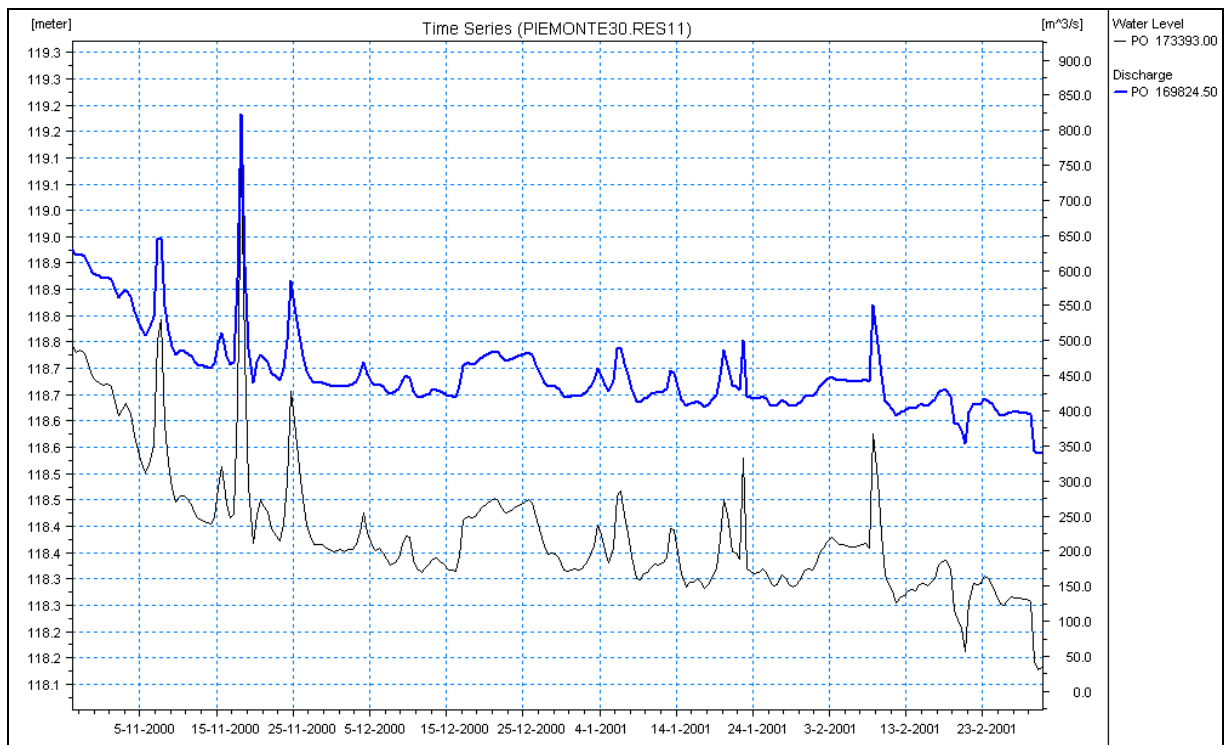


Figura 13 – Idrogrammi di livello e portata per una specifica sezione trasversale.

## **ANNESSO 4**

### **Il modello MIKE SHE**

## MIKE SHE

Il modello lavora attraverso una accurata interfaccia grafica che permette la gestione di tutti i file di input e di output.

Lavorando nell'ambito dell'ambiente MIKEZERO, è possibile gestire tutte le informazioni sfruttando la completa uniformità dei formati dei files, interfacciabili direttamente con i sistemi GIS.

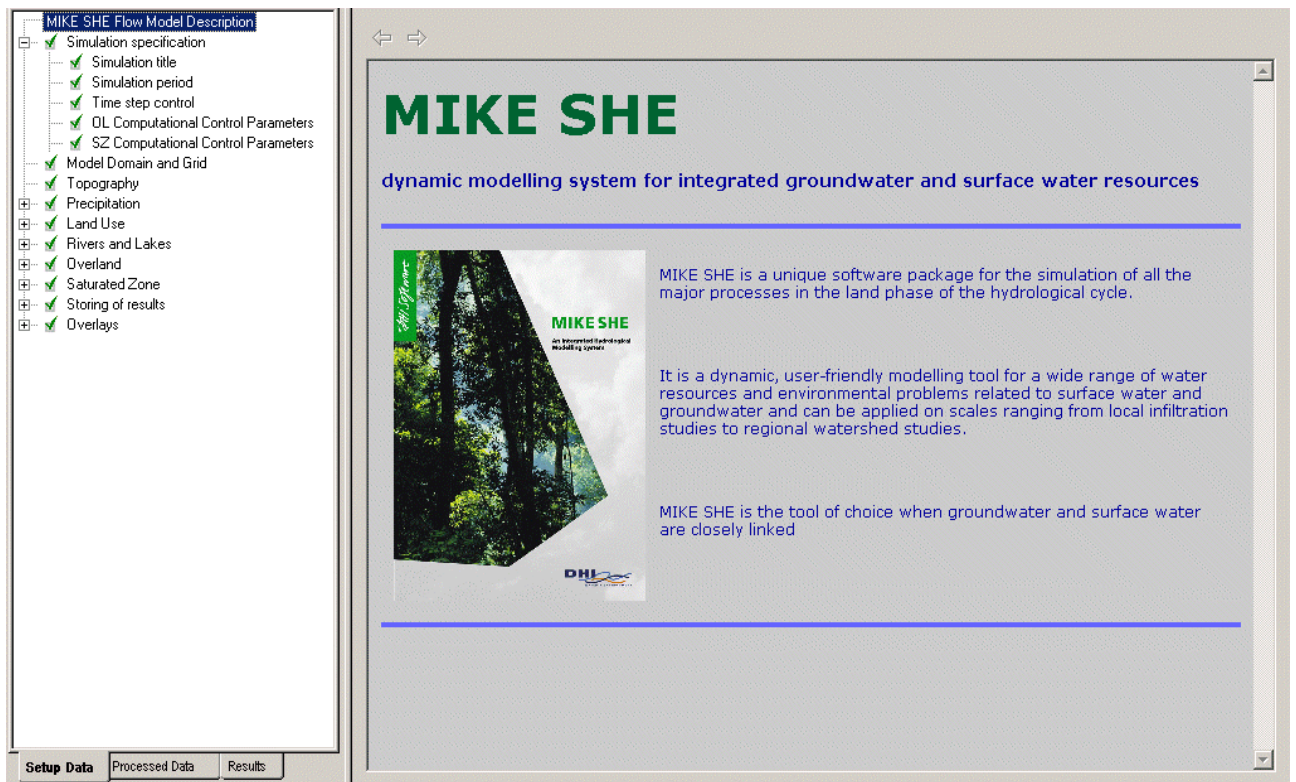


Fig.ura 1 – Schermata iniziale del modello MIKE SHE e relativo albero di gestione input / output

La gestione dei dati è strutturata ad albero seguendo la gerarchia dei dati necessari al modello. L'immagine dell'albero rimane sempre visibile al fine di collocare visivamente l'informazione attiva nell'ambito della struttura complessiva del sistema integrato

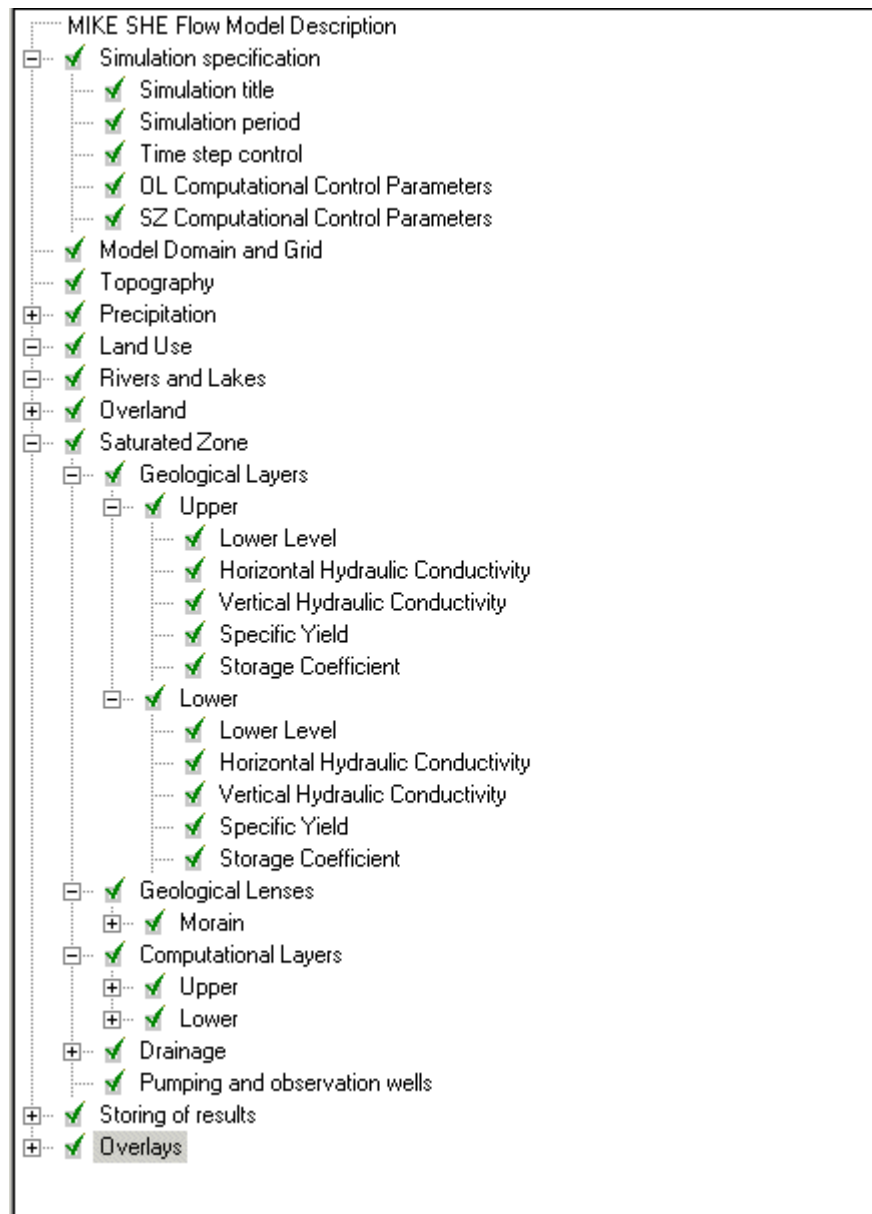


Figura 2 - Esploso dell'albero di gestione dei dati di input.

Il modello MIKE SHE è composto da vari moduli che possono essere attivati in base alle necessità dell'utente. Nel caso in esame si è fatto ricorso ai moduli di acque superficiali (OverLand), fiumi e laghi (Rivers e Lakes) e della zona satura (Saturated Zone), tralasciando invece la zona insatura in quanto già gestita e meglio rappresentata dal modello DAISY descritto a parte.

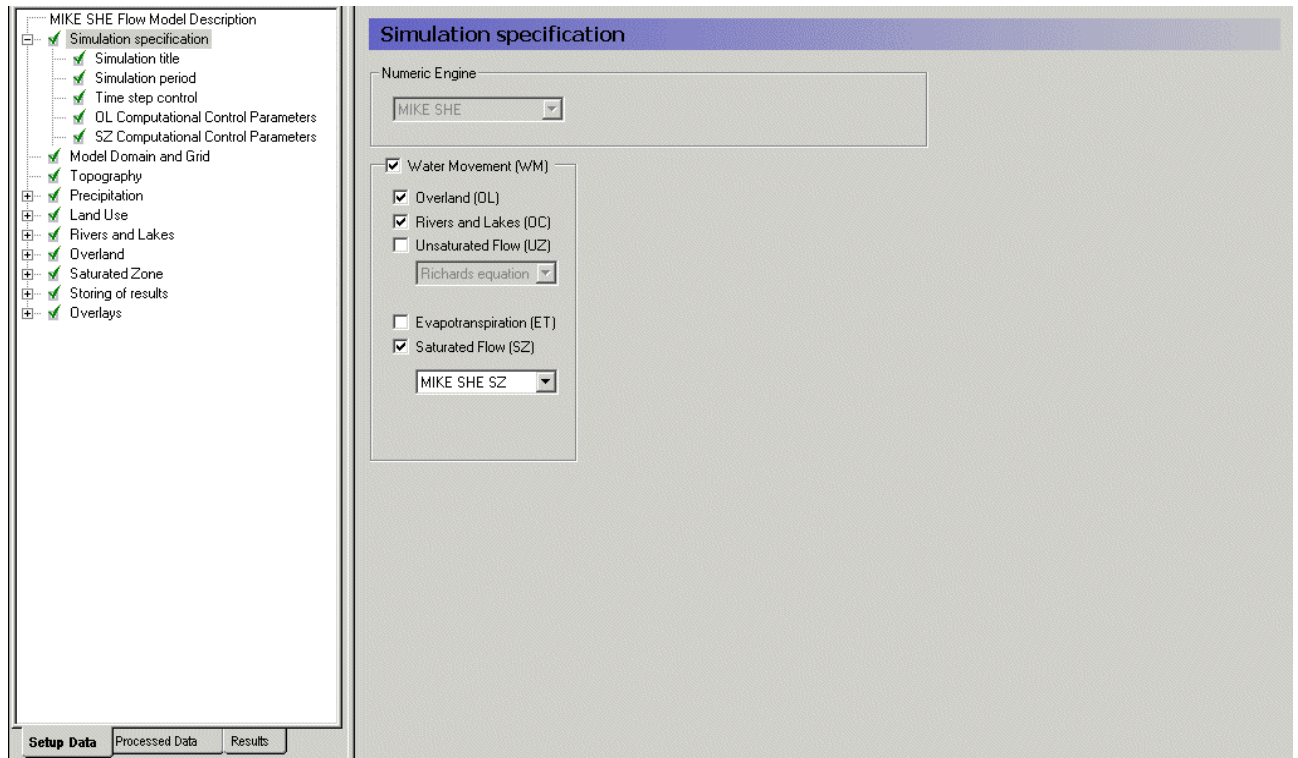


Figura 3 - Schermata di gestione dei moduli che compongono il sistema.



Per la soluzione delle equazioni che regolano il sistema è necessario fare ricorso ad uno schema numerico complesso per il quale è necessario fissare il passo di calcolo ed altri parametri specifici da utilizzare nella ricerca della soluzione. Il passo di calcolo risulta differente per quanto riguarda i corsi d'acqua (10 minuti) e la zona satura (2 giorni)

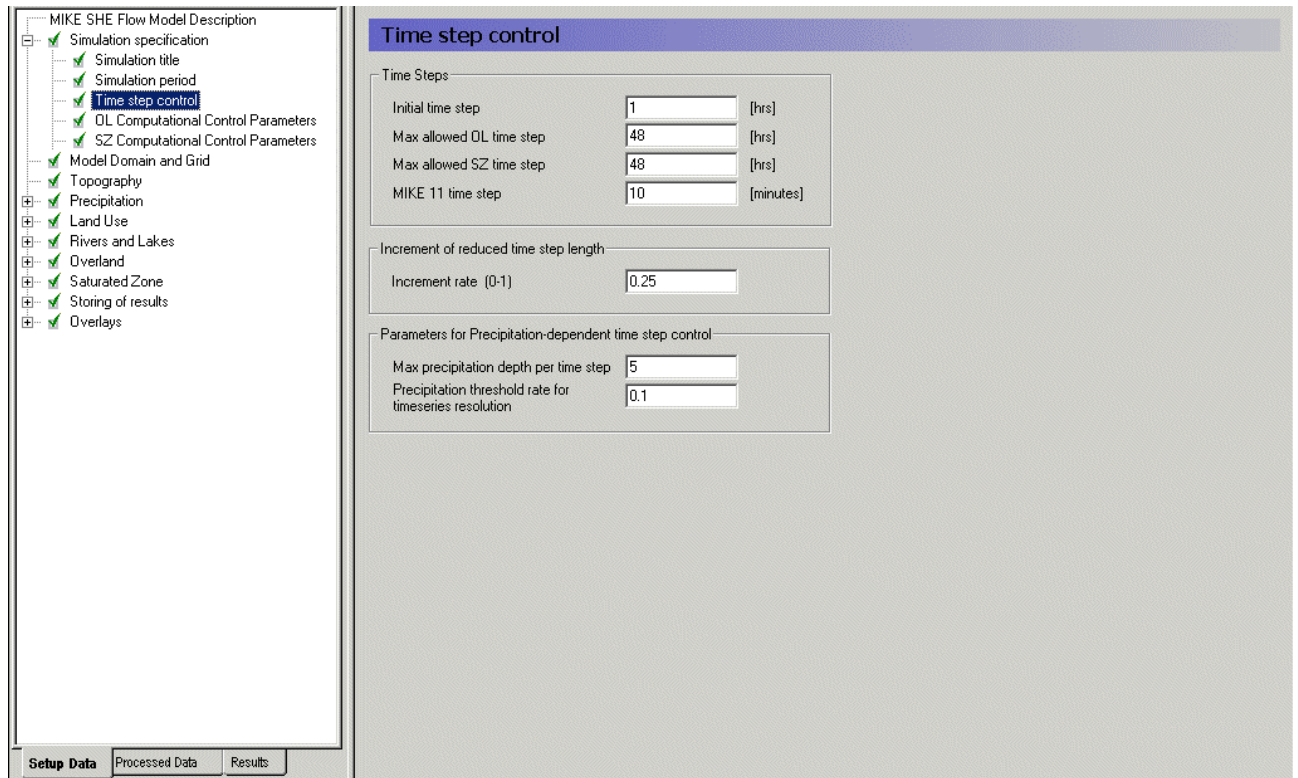


Figura 4 – Passo di calcolo per i vari moduli utilizzati nel modello

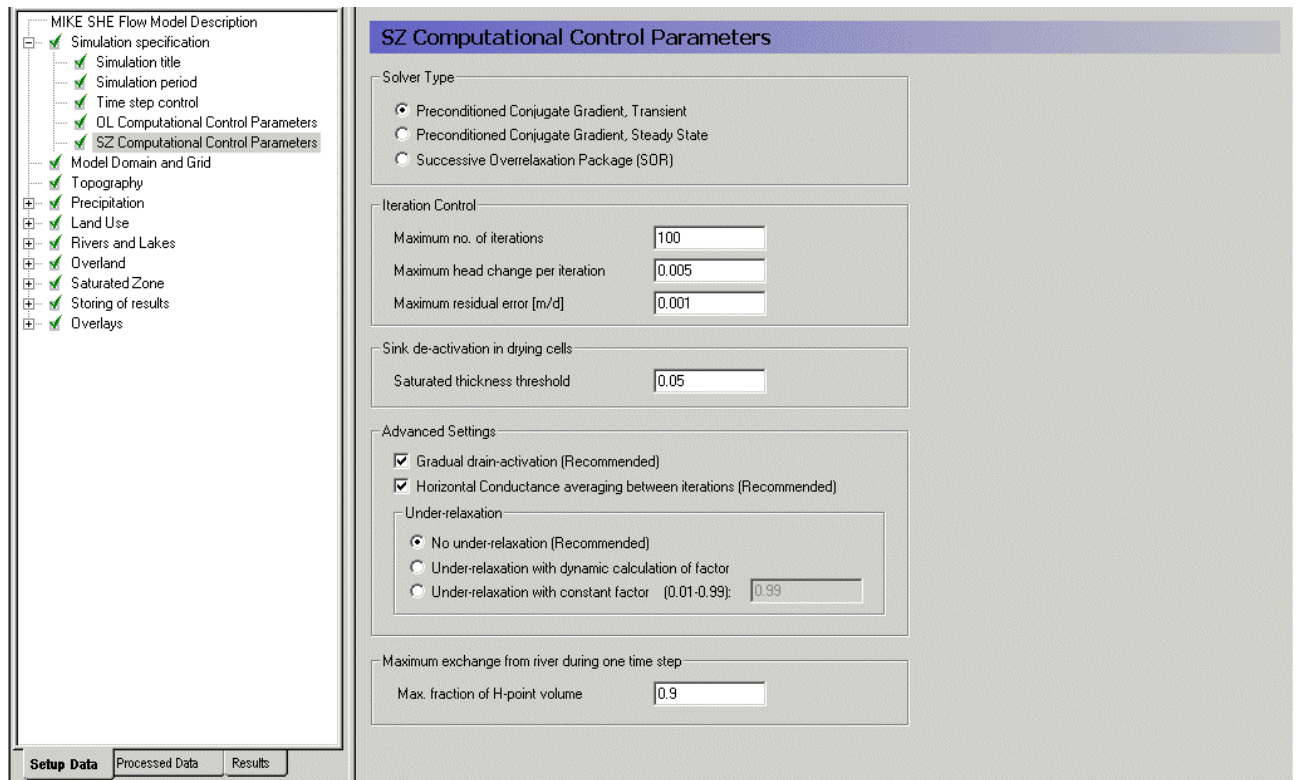


Fig.ura 5 – Parametri di calcolo dello schema numerico di soluzione per lo strato saturo

L'area di calcolo viene definita attraverso apposita polilinea definibile direttamente all'interno di un sistema GIS quale ArcView.

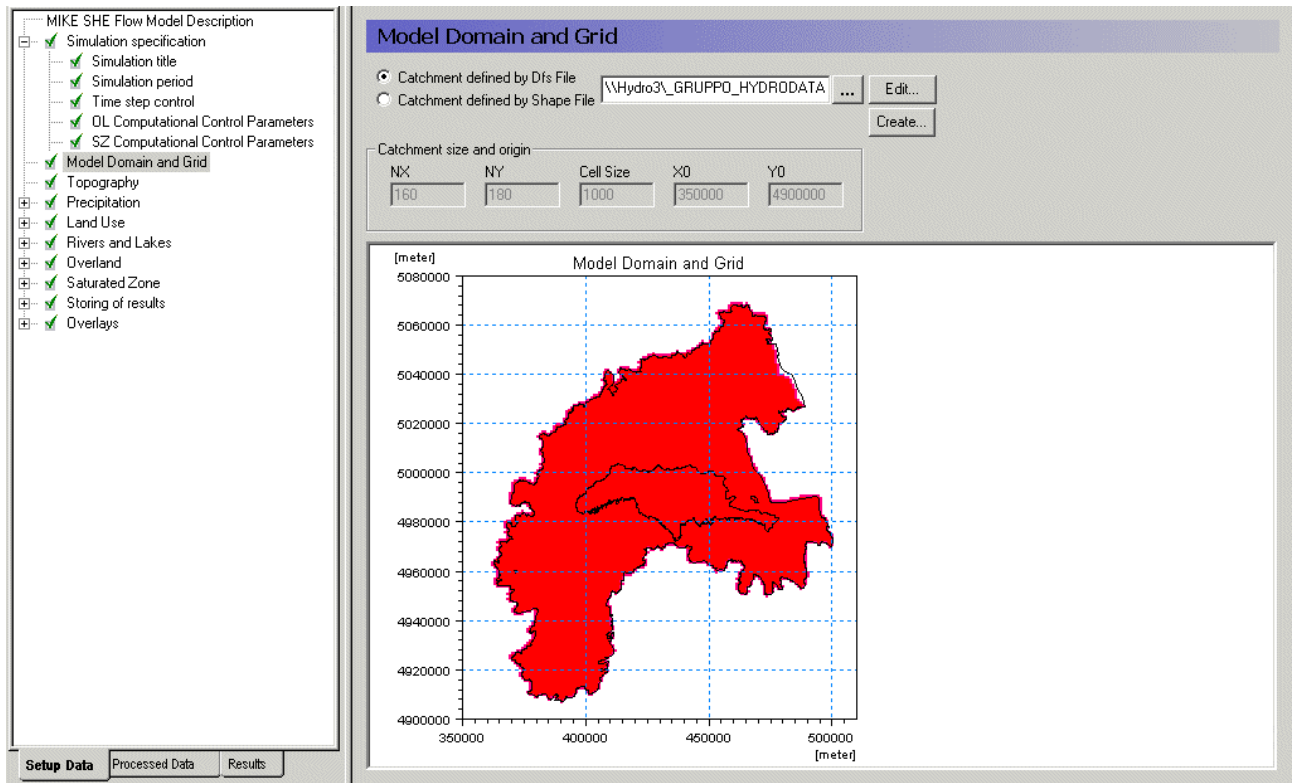


Figura 6 – Selezione dell'area interessata dalla simulazione

L'area di calcolo è caratterizzata principalmente dalle quote topografiche relative. Queste vengono inserite attraverso un file griglia il cui formato è comune a tutti i dati di input ed output al sistema. Questo permette una notevole semplicità nella generazione e nella visualizzazione degli stessi.

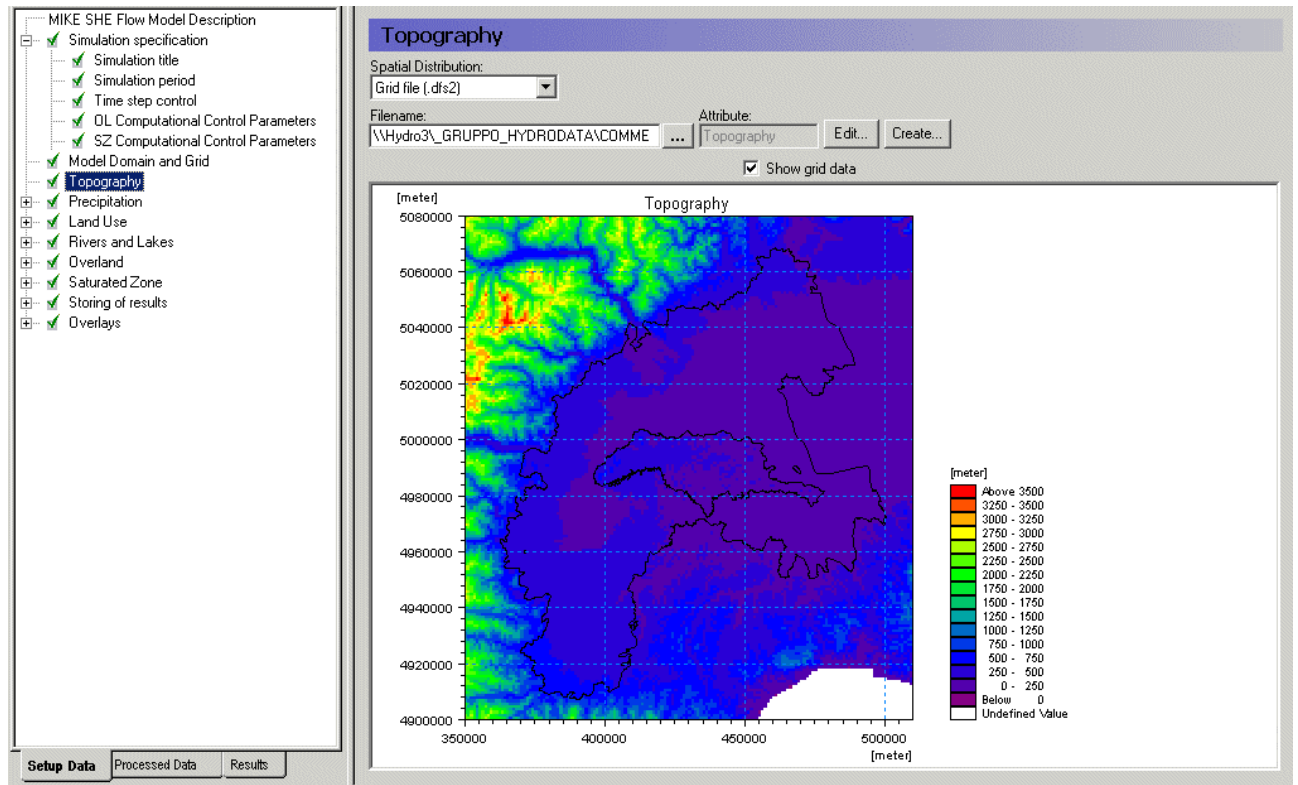


Fig.ura 7 – Finestra di gestione del file topografico

I files griglia sono strutturati in due parti. A sinistra un immagine sintetizza mediante opportuna palette le grandezze riportate nella parte destra.

Per ogni cella è riportato il valore relativo alla grandezza visualizzata. I file sono editabili direttamente dall'utente e visualizzabili in GIS.

In caso di grandezze tempovarianti un'apposita barra di scorrimento permette di "navigare nel tempo" producendo anche, in caso di necessità, filmati ed animazioni del tematismo analizzato.

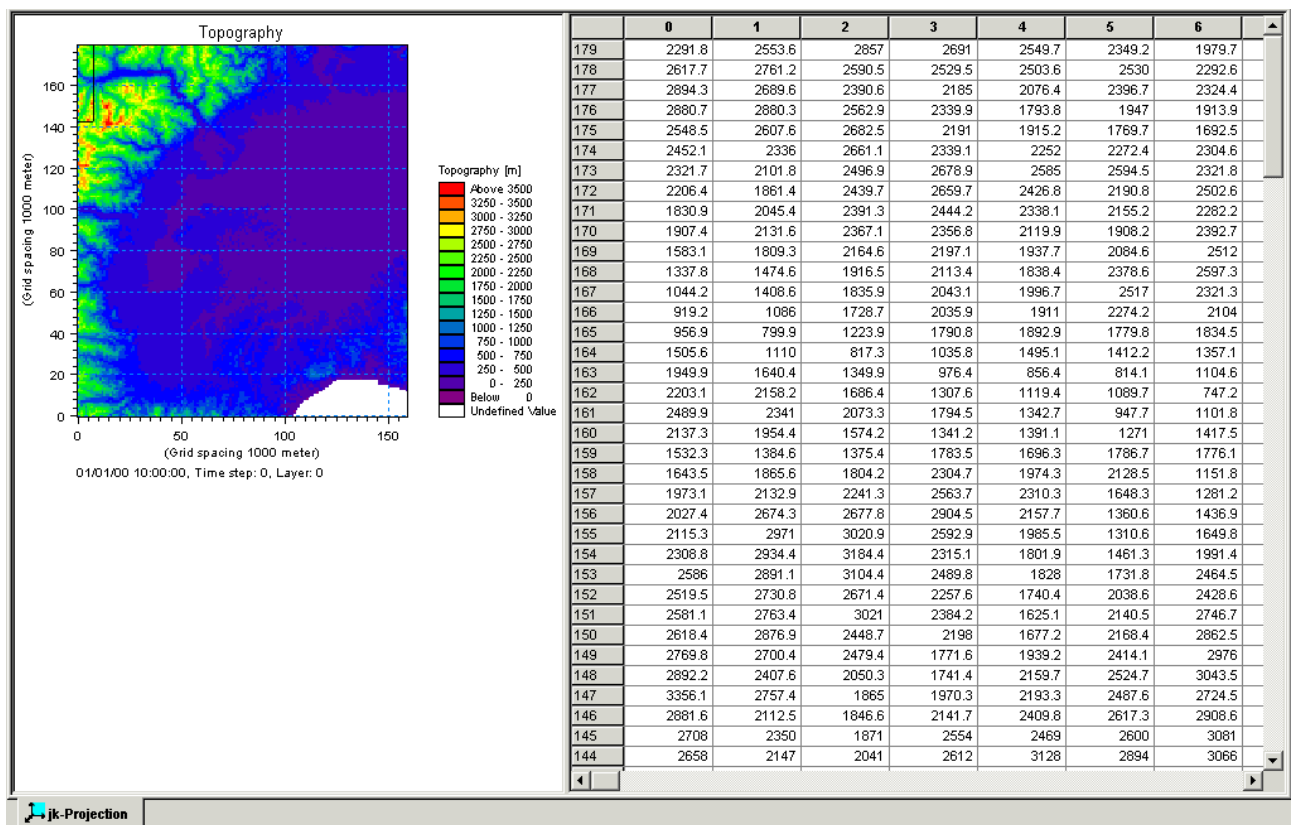


Figura 8 - Esempio di file 'griglia' per la gestione delle informazioni distribuite nello spazio. La parte sinistra riassume in un immagine le informazioni inserite nella parte destra.

I dati relativi alla ricarica verticale sono inseriti attraverso una file griglia che riporta l'infiltrazione su base giornaliera per ogni cella di calcolo.

I dati qui riportati consistono nell'output del modello DAISY descritto a parte.

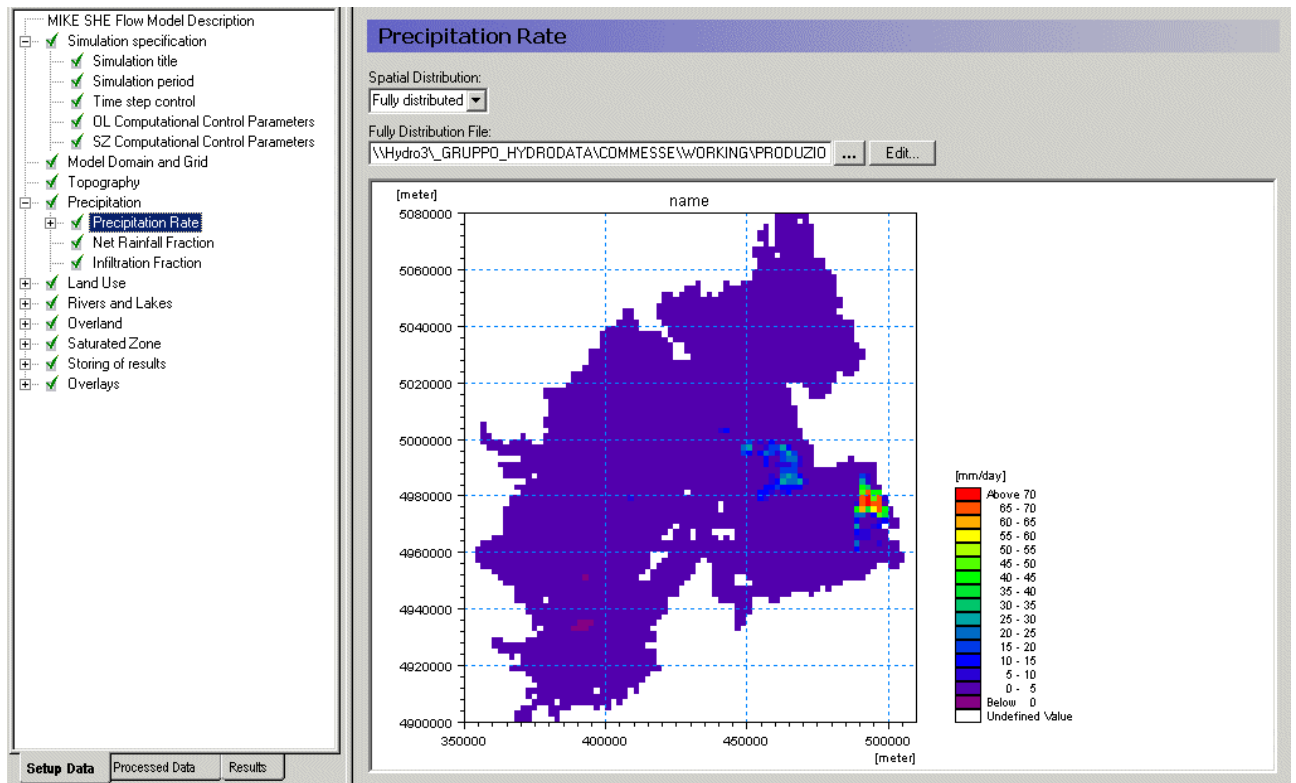


Fig.ura 9 - Finestra per la gestione del file di ricarica verticale. Il file, distribuito nello spazio racchiude l'informazione tempovarianti a scala giornaliera.



Attraverso un'altra interfaccia viene definito il collegamento con il modello MIKE 11 HD che simula il flusso nella rete idrografica superficiale.

Il reticolo viene schematizzato in automatico lungo la griglia di calcolo definendo le celle di scambio fiume falda ed i relativi parametri di permeabilità.

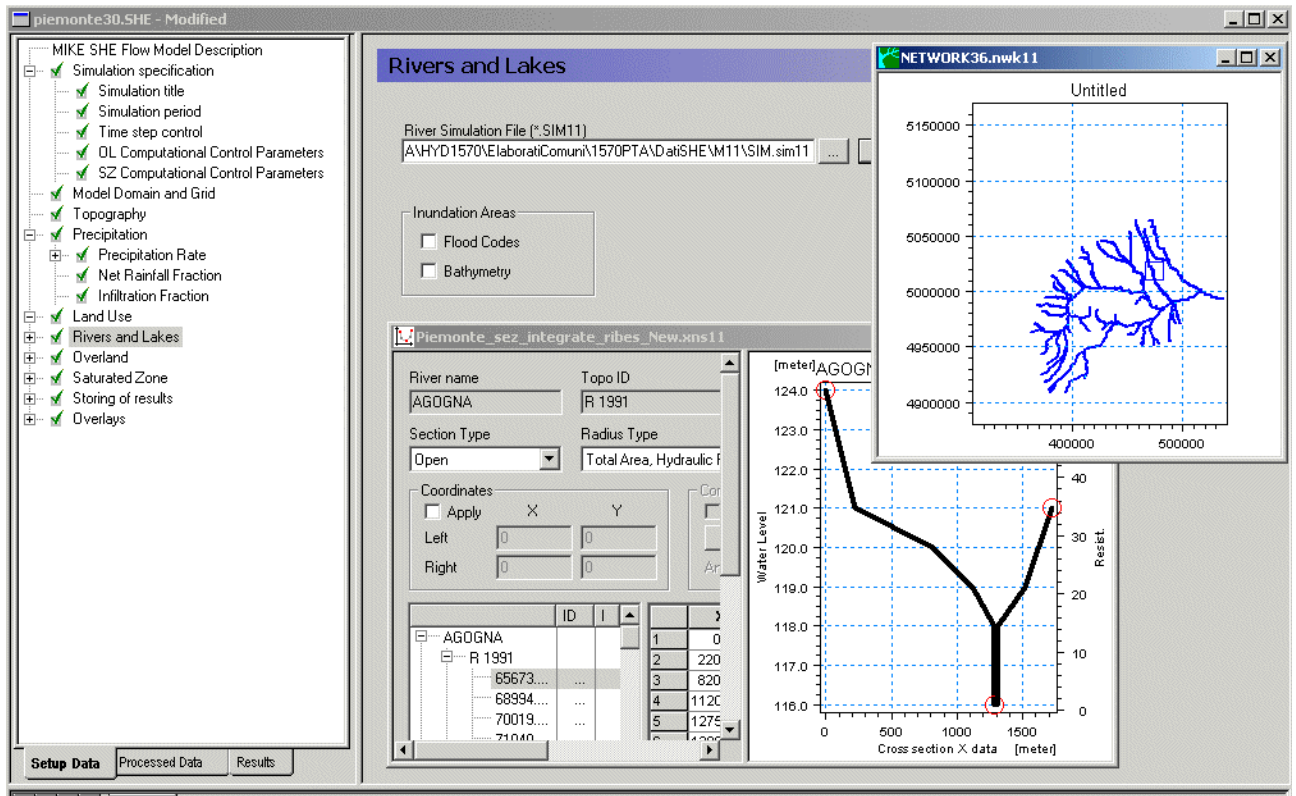


Figura 10 – Finestra di collegamento con il modello idrodinamico MIKE 11 HD

La zona satura è schematizzata attraverso layers geologi per i quali vengono specificati tutti i parametri in termini di spessore, conduttività orizzontale e verticale, porosità efficace e coefficiente di immagazzinamento.

Tutti i parametri sono distribuiti nello spazio sulla griglia di calcolo del modello, editabili direttamente e visualizzati attraverso l'interfaccia grafica.

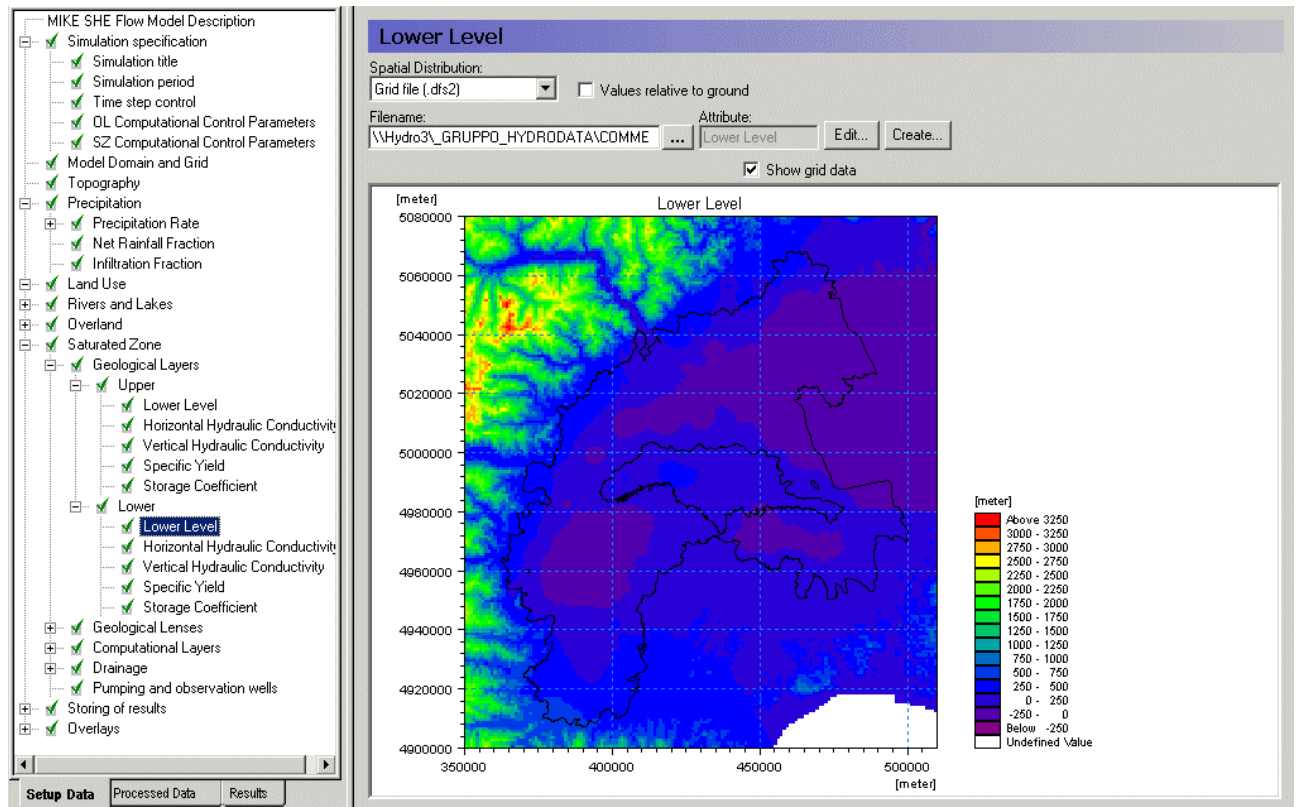


Figura 11 – Stratigrafia dei layer di calcolo per la zona satura



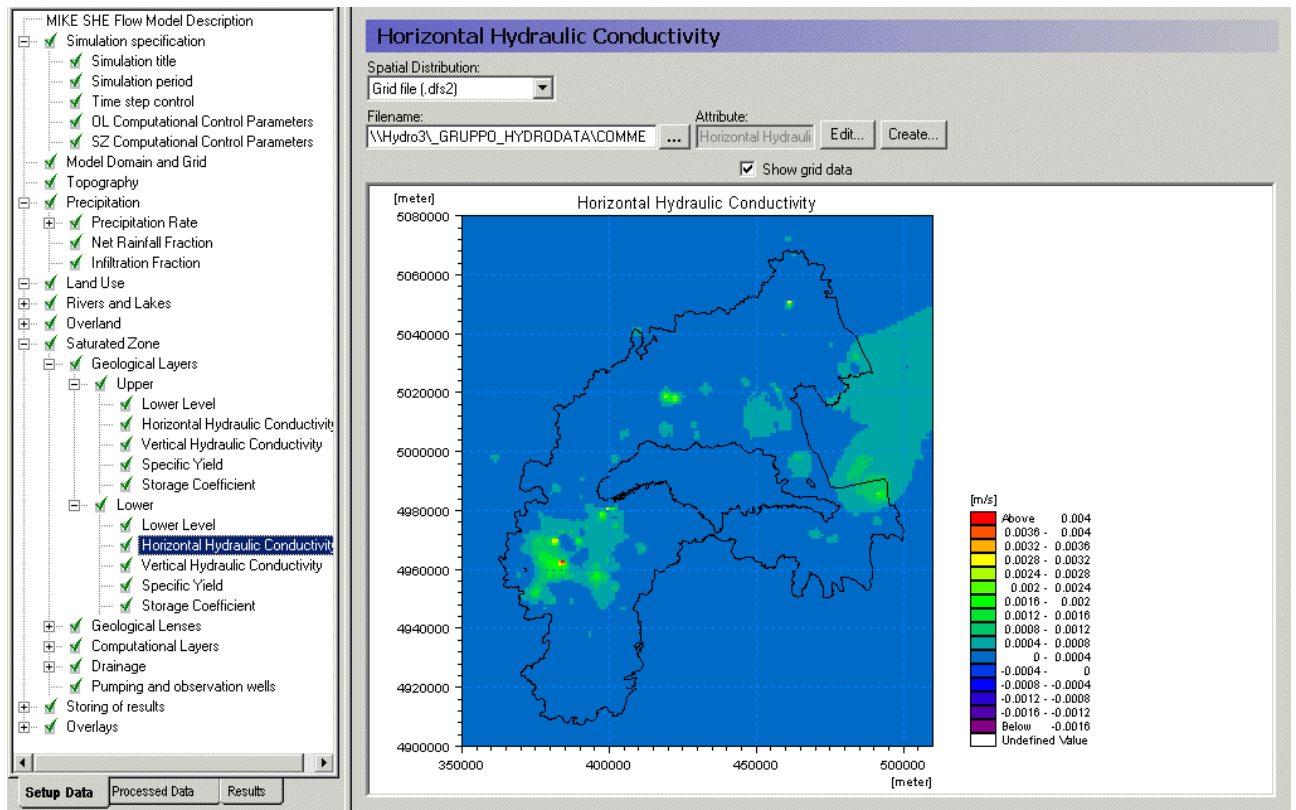


Figura 11 – Conduttività orizzontale, verticale, porosità efficace, coefficiente di immagazzinamento.

Nel caso di lenti geologiche distribuite localmente queste vengono gestite come ulteriori layer localizzati caratterizzati dagli stessi parametri precedentemente elencati

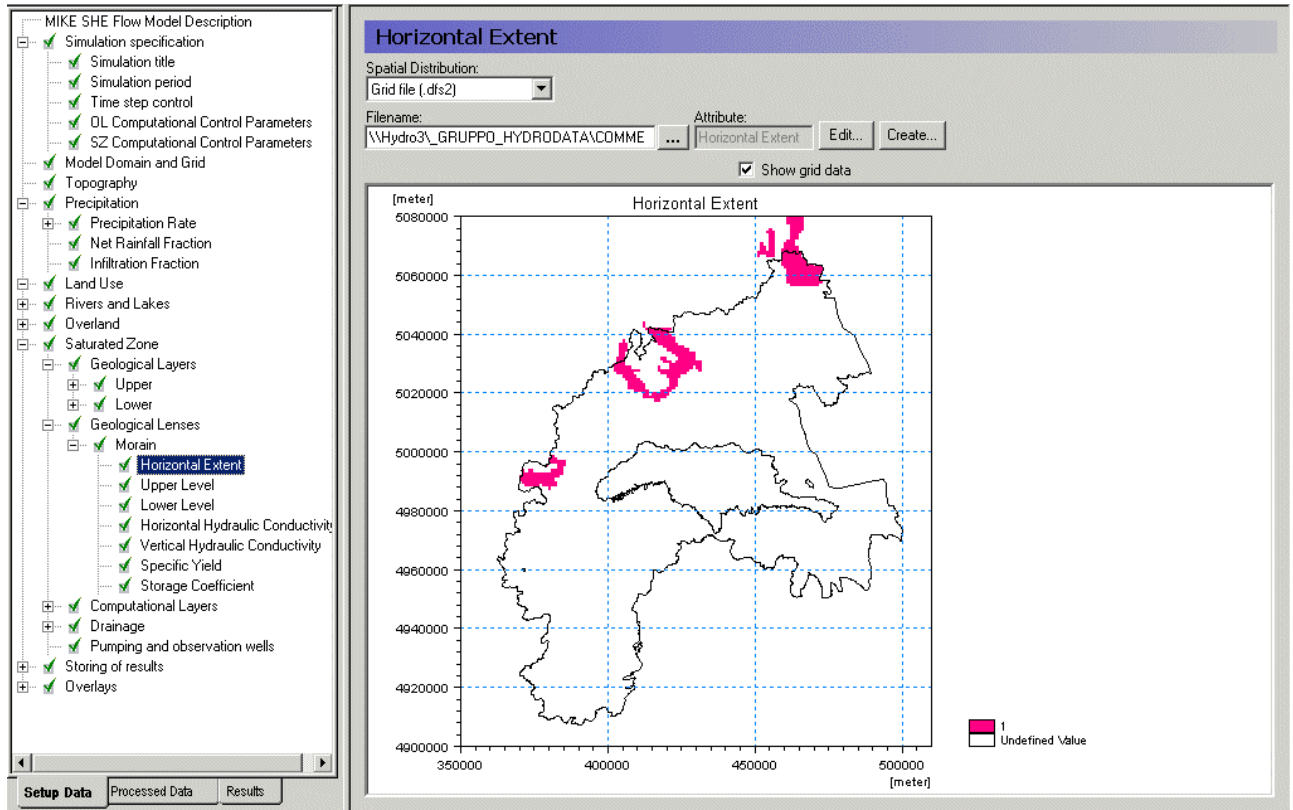


Figura 12 – Lenti geologiche non continue sul territorio

Sulla base della stratigrafia geologica inserita viene definita la discretizzazione computazionale lungo l'asse z.

Nel caso specifico si è scelto di utilizzare livelli computazionali coincidenti con la stratigrafia introdotta.

Per ogni strato di calcolo è necessario definire le condizioni iniziali in termini di carico piezometrico nonché le condizioni al contorno che possono essere sia sul perimetro esterno, sia, se esistente come nel caso in oggetto, sul perimetro interno.

Le condizioni al contorno descrivono situazioni particolari di carico o flusso costante, di gradiente o di assenza di scambi.

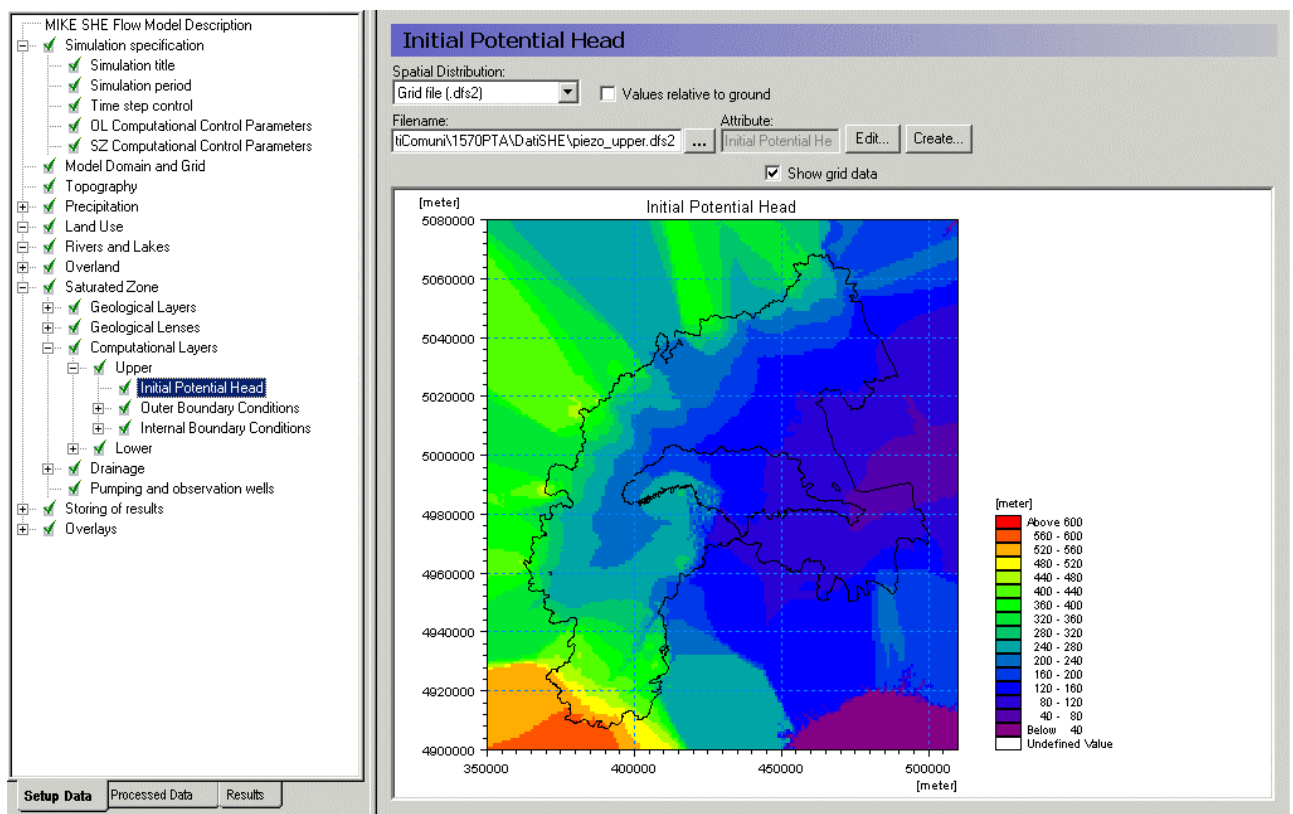


Figura 13 – Parametri relativi ai vari livelli computazionali, in particolare carico piezometrico iniziale

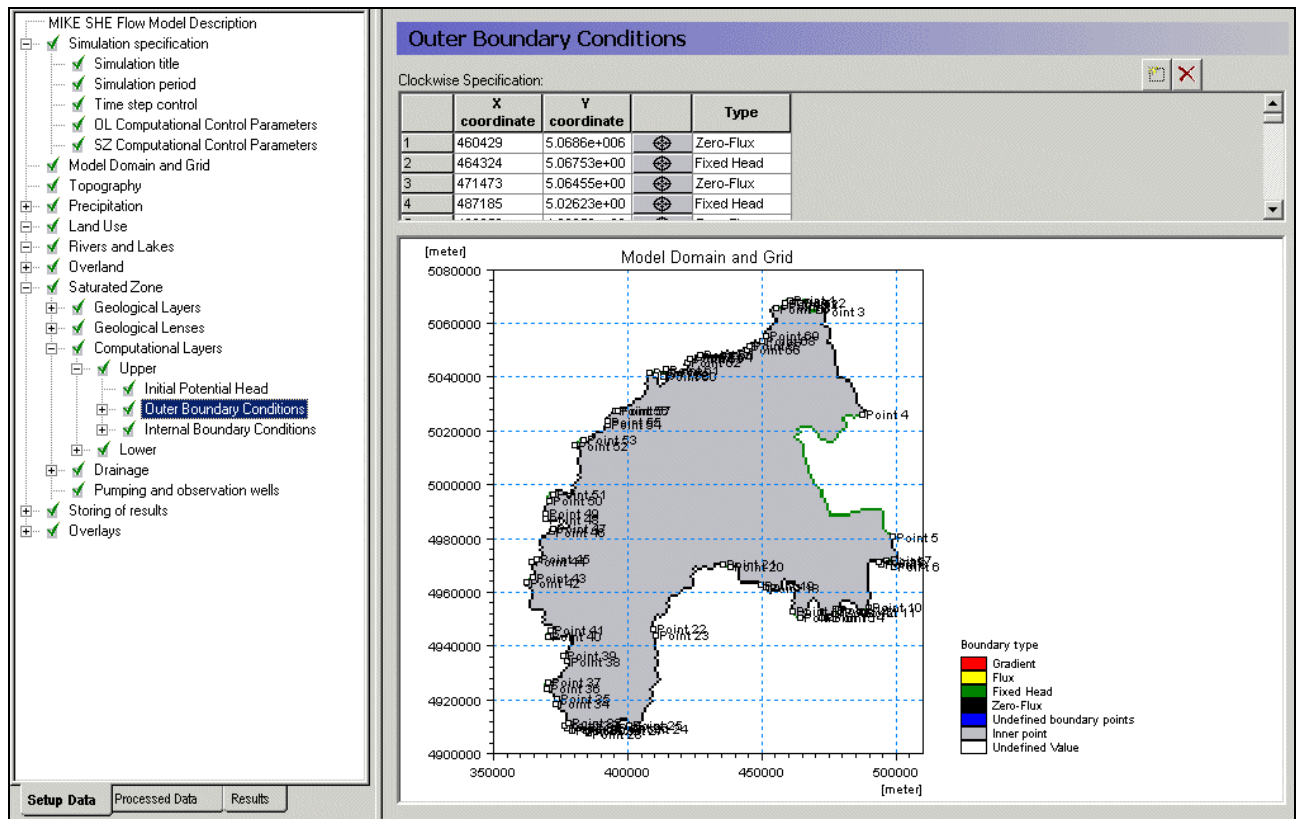


Figura 14 - Condizioni al contorno esterne all'area di calcolo

MIKE SHE Flow Model Description

- Simulation specification
  - Simulation title
  - Simulation period
  - Time step control
  - OL Computational Control Parameters
  - SZ Computational Control Parameters
- Model Domain and Grid
  - Topography
- Precipitation
- Land Use
- Rivers and Lakes
- Overland
- Saturated Zone
  - Geological Layers
  - Geological Lenses
  - Computational Layers
- Upper
  - Initial Potential Head
  - Outer Boundary Conditions
  - Internal Boundary Conditions
    - Grid code = 0
    - Grid code = 3
    - Grid code = 4
    - Grid code = 5**
- Lower
- Drainage
- Pumping and observation wells
- Storing of results
- Overlays

### Boundary Properties

Boundary Name:	Grid Code Value:	Boundary Type:	Data Type
Grid code = 5	5	Fixed Head	Fixed (Use initial val)

Internal Boundary Conditions

Setup Data
Processed Data
Results

Figura 15 – Condizioni al contorno interne all'area di calcolo

Per la rappresentazione del reticolo idrografico secondario o del deflusso subsuperficiale è possibile introdurre opportuni dreni. Posti a quota assegnata rispetto alla topografia locale, descrivono il deflusso attraverso un reticolo predefinito mediante una legge di serbatoio lineare.

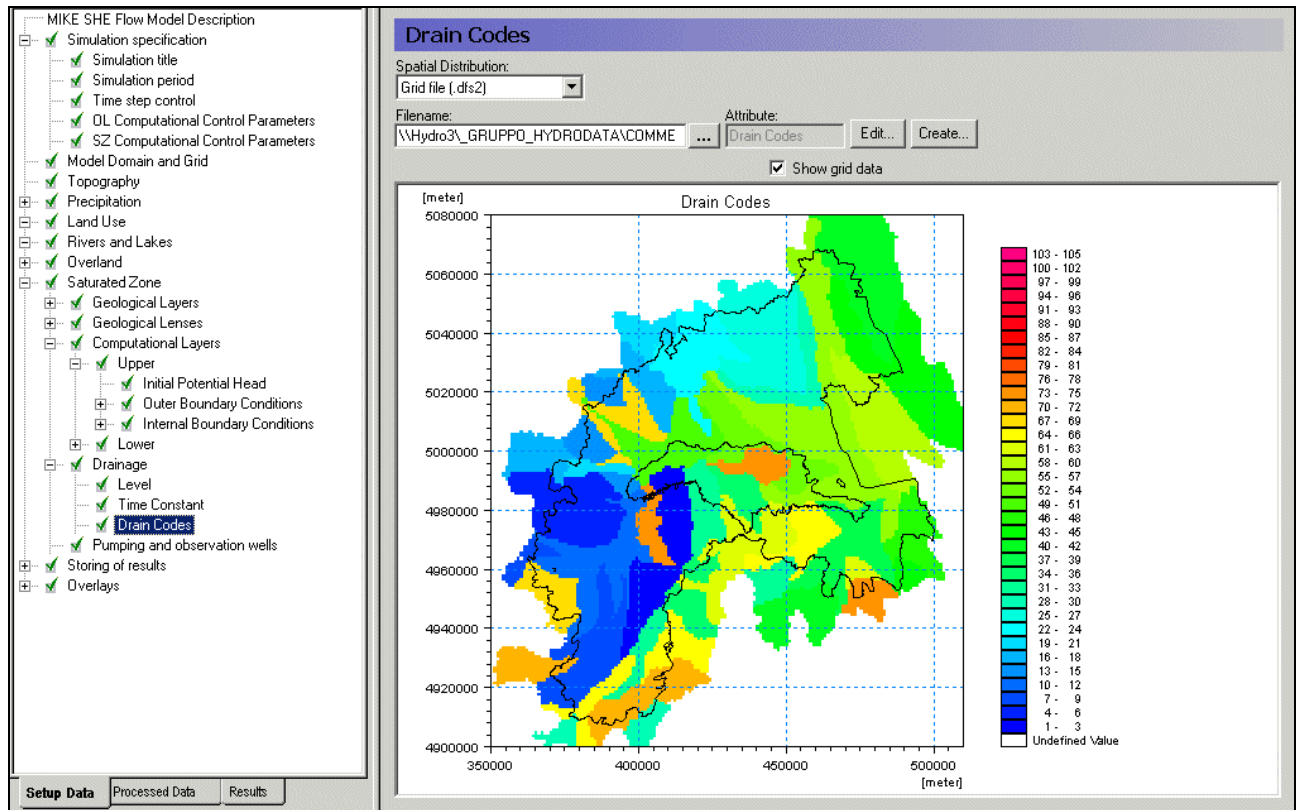


Figura 16 - Finestra per la gestione del reticolo di drenaggio subsuperficiale

L'inserimento dei dati relativi ai prelievi da falda avviene attraverso un apposita interfaccia collegata al modello integrato.

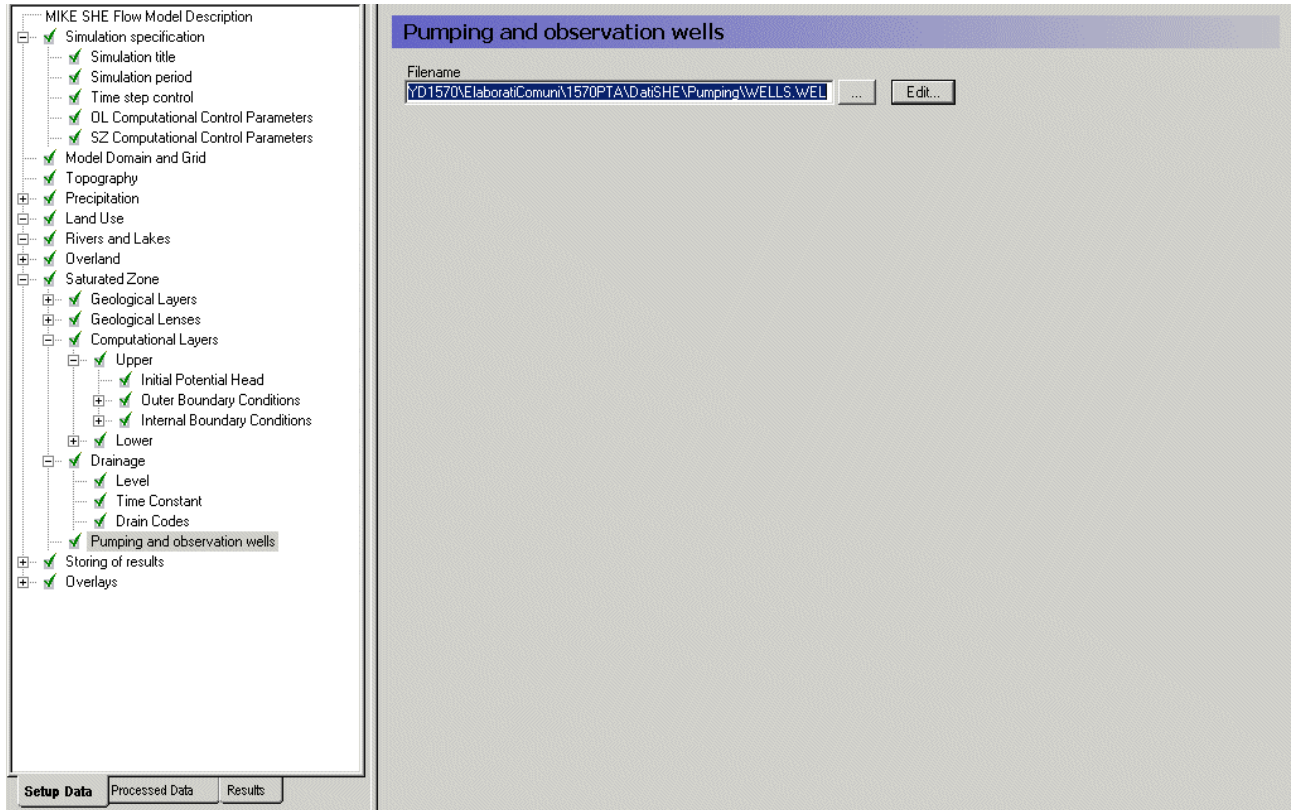


Figura 17 Finestra di collegamento al file per la gestione dei pozzi di estrazione



Per ogni pozzo viene inserita e visualizzata la localizzazione geografica, la posizione dei filtri di pompaggio rispetto alla stratigrafia locale e la serie temporale di emungimento in m<sup>3</sup>/s.

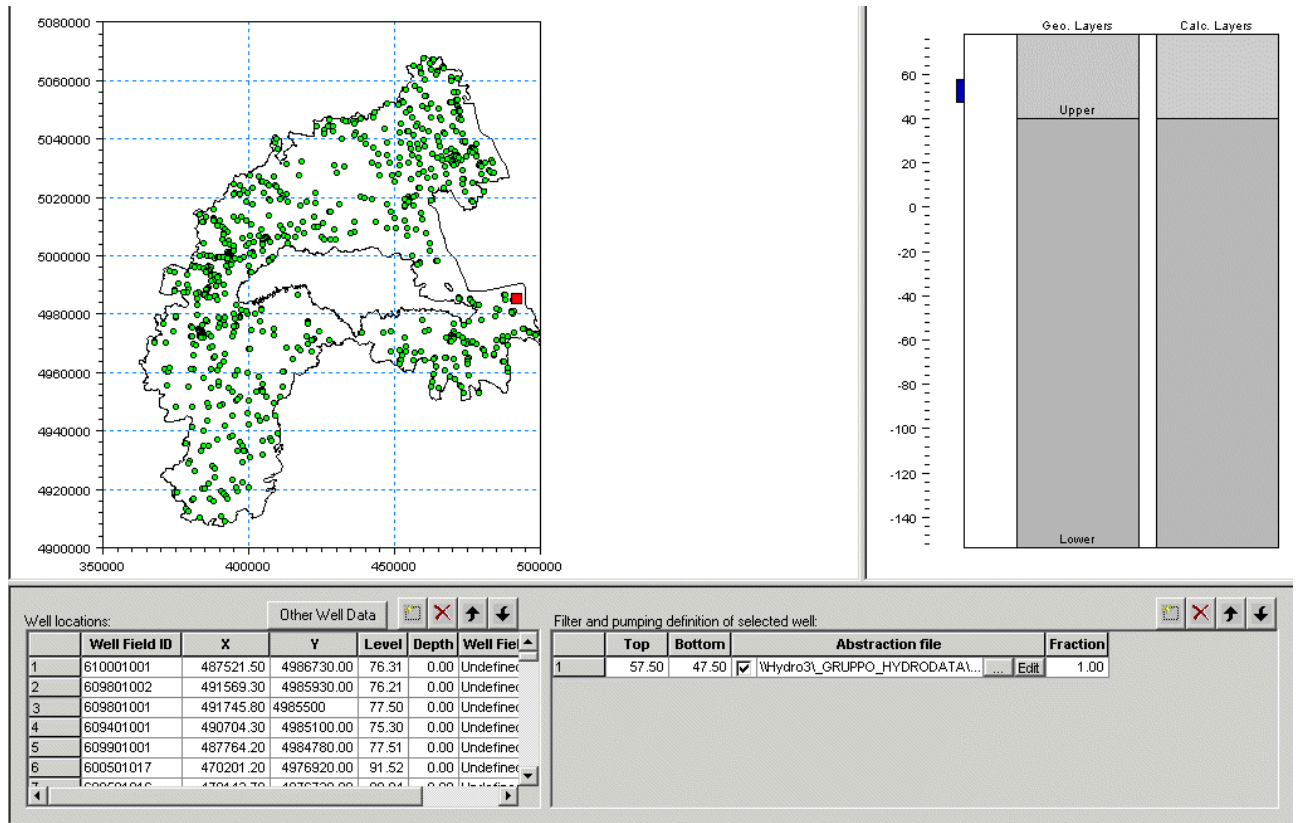


Figura 18 - Finestra per la gestione dei pozzi di estrazione.



Al fine di calibrazione del modello è possibile richiedere in automatico le serie piezometriche simulate in corrispondenza di stazioni di misura per le quali sia disponibile una serie di osservazione. In tutti i punti selezionati il modello produce un apposito grafico a doppia variabile che consente il confronto tra le due curve.

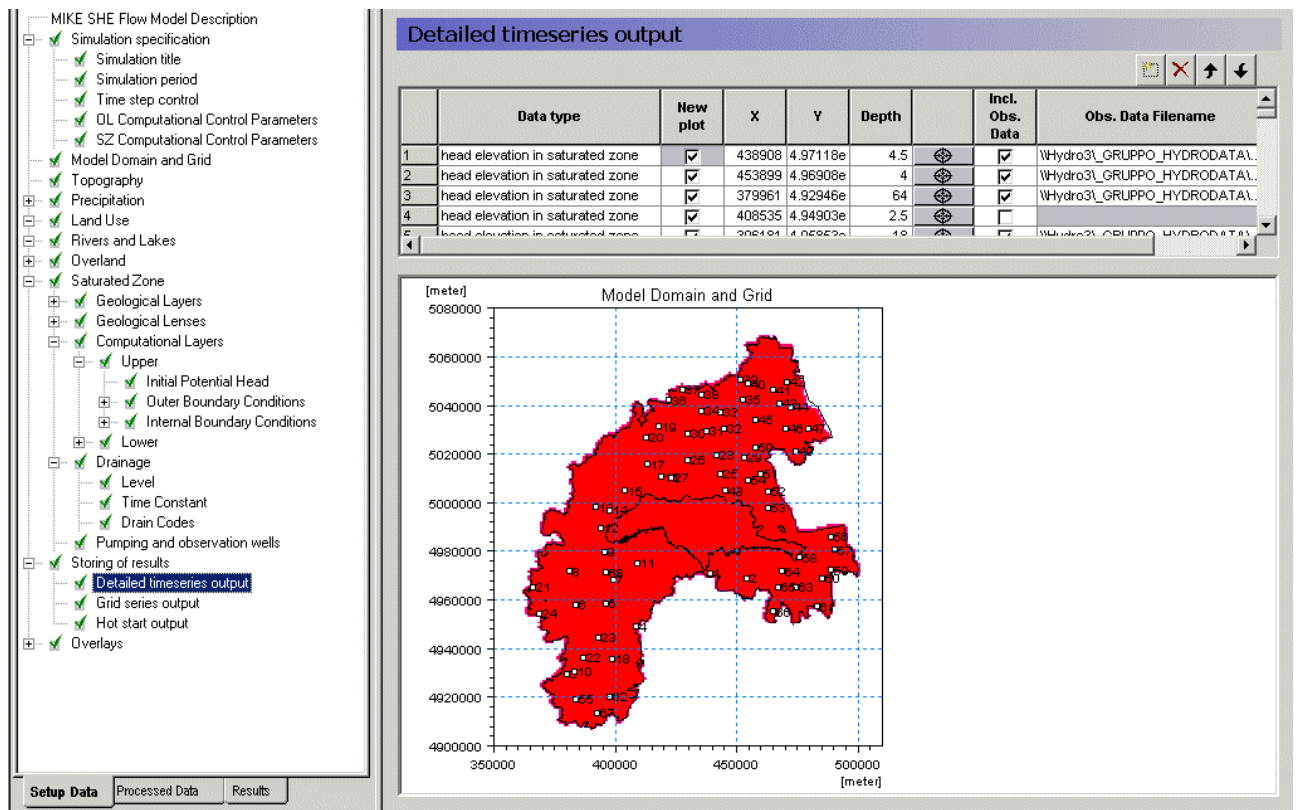


Figura 19 – Finestra per la gestione dei piezometri di calibrazione

Uguualmente è possibile selezionare le variabili di output di interesse in termini di flusso in falda nelle tre direzioni x, y, z, carico piezometrico, ricarica verticale, scambio fiumi – falda, ecc...

Tutte queste variabili sono rappresentate come griglie distribuite e tempovarianti.

	Enable	Item	Required for	Filename
1	<input checked="" type="checkbox"/>	precipitation rate	Water Balance	piemonte30\piemonte30_ET_AllCells.dfs2
2	<input checked="" type="checkbox"/>	depth of overland water	Water Balance	piemonte30\piemonte30_overland.dfs2
3	<input checked="" type="checkbox"/>	overland flow in x-direction	Water Balance	piemonte30\piemonte30_overland.dfs2
4	<input checked="" type="checkbox"/>	overland flow in y-direction	Water Balance	piemonte30\piemonte30_overland.dfs2
5	<input checked="" type="checkbox"/>	infiltration to UZ (negative)	Water Balance	piemonte30\piemonte30_2DUZ_AllCells.dfs2
6	<input checked="" type="checkbox"/>	recharge from UZ to SZ (negative)	Water Balance	piemonte30\piemonte30_2DUZ_AllCells.dfs2
7	<input type="checkbox"/>	depth to phreatic surface (negative)		piemonte30\piemonte30_2DSZ.dfs2
8	<input checked="" type="checkbox"/>	head elevation in saturated zone	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZ.dfs3
9	<input checked="" type="checkbox"/>	seepage flow SZ -overland	Water Balance	piemonte30\piemonte30_2DSZflow.dfs2
10	<input checked="" type="checkbox"/>	seepage flow overland - SZ (negative)	Water Balance	piemonte30\piemonte30_2DSZflow.dfs2
11	<input checked="" type="checkbox"/>	3D UZ recharge to SZ (negative)	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3
12	<input checked="" type="checkbox"/>	groundwater flow in x-direction	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3
13	<input checked="" type="checkbox"/>	groundwater flow in y-direction	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3
14	<input checked="" type="checkbox"/>	groundwater flow in z-direction	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3
15	<input checked="" type="checkbox"/>	groundwater extraction	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3
16	<input checked="" type="checkbox"/>	SZ exchange flow with river	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3
17	<input checked="" type="checkbox"/>	SZ drainage flow from point	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3
18	<input checked="" type="checkbox"/>	SZ flow to general head boundary	Water Balance	piemonte30\piemonte30_3DSZflow.dfs3

Figura 20 – Finestra per la gestione dei files di output distribuiti spazialmente e temporalmente.

Prima della fase di simulazione vera e propria il modello esegue una fase di preprocessing dei dati introdotti in cui vengono calcolate ulteriori grandezze derivate, quali ad esempio la trasmittività idraulica.

Tutte le informazioni sono sintetizzate in files griglia visualizzabili per verificare la corretta interpretazione da parte del modello delle informazioni inserite.

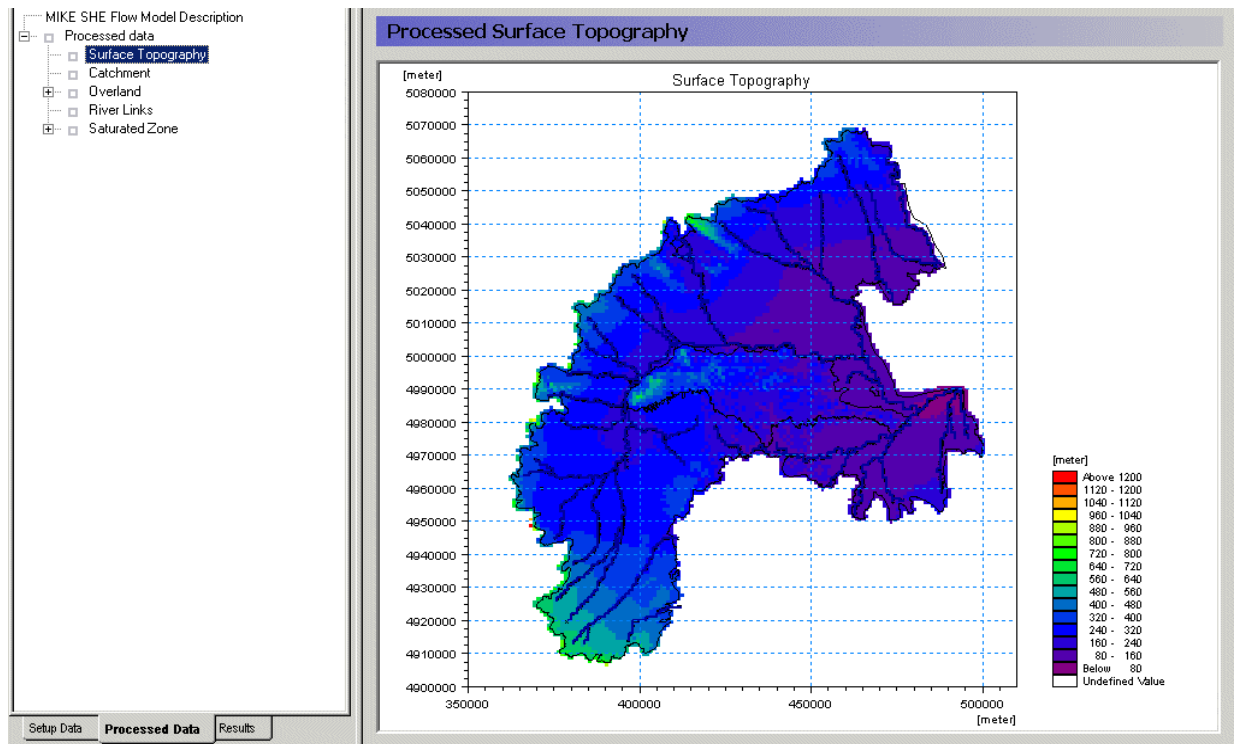


Figura 21 – Rappresentazione della topografia e del reticolo idrografico dopo il preprocessing dei dati

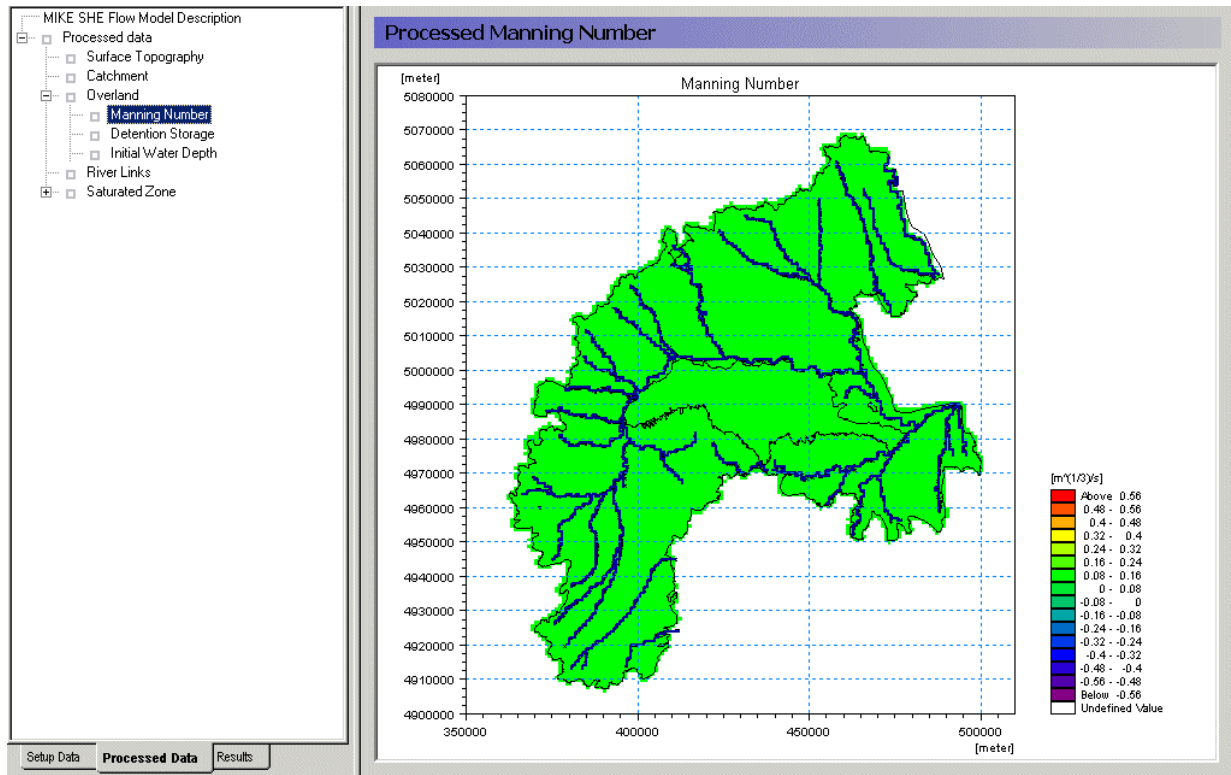


Figura 22 – Rappresentazione del reticolo idrografico collegato al modello di falda.

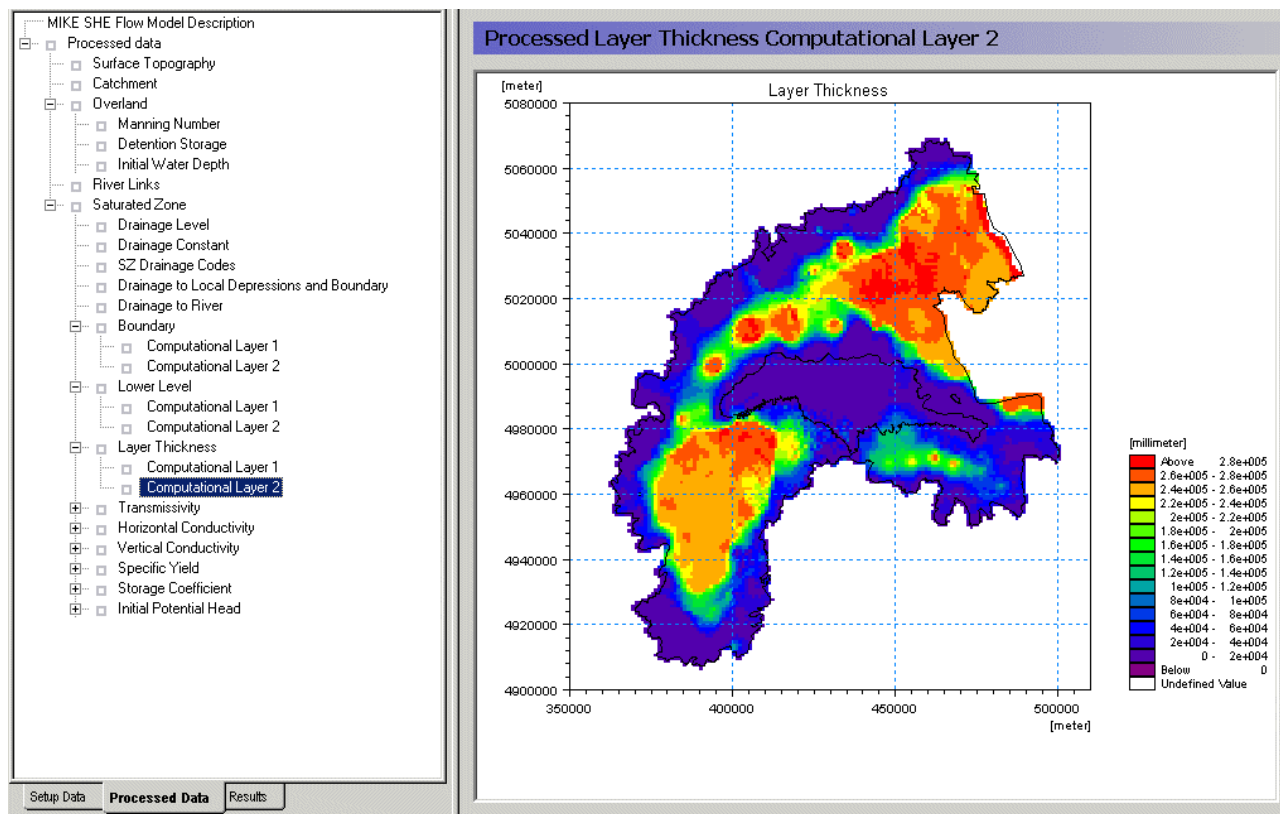


Figura 23 - Rappresentazione dei dati geologici e stratigrafici post preprocessing, spessore degli strati computazionali

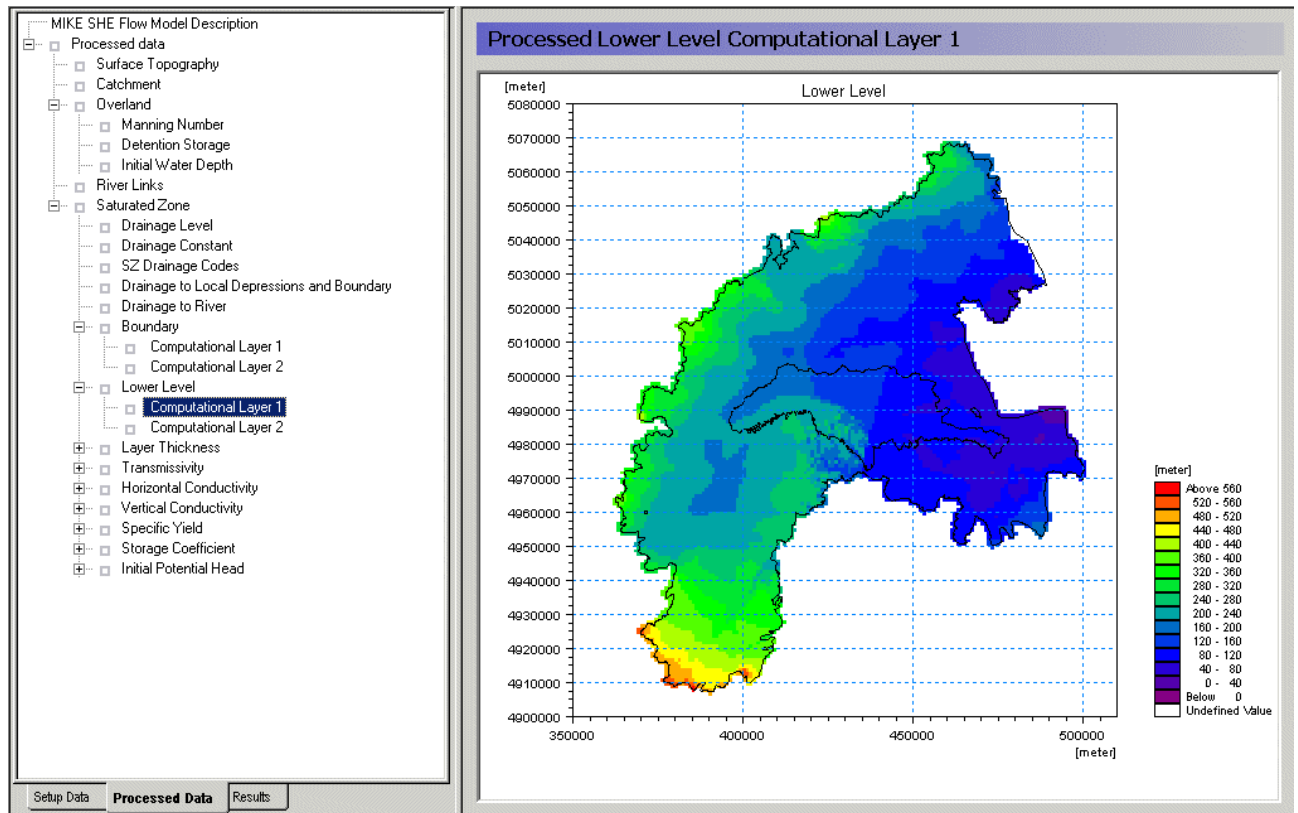


Figura 24 – Rappresentazione dei dati geologici e stratigrafici post preprocessing. Topografia layer.

Il modello produce in uscita dati di tipo puntuale e spazialmente distribuiti.

I dati puntuali consistono nelle serie piezometriche automaticamente confrontabili con quelle osservate per verificare la bontà della calibrazione.

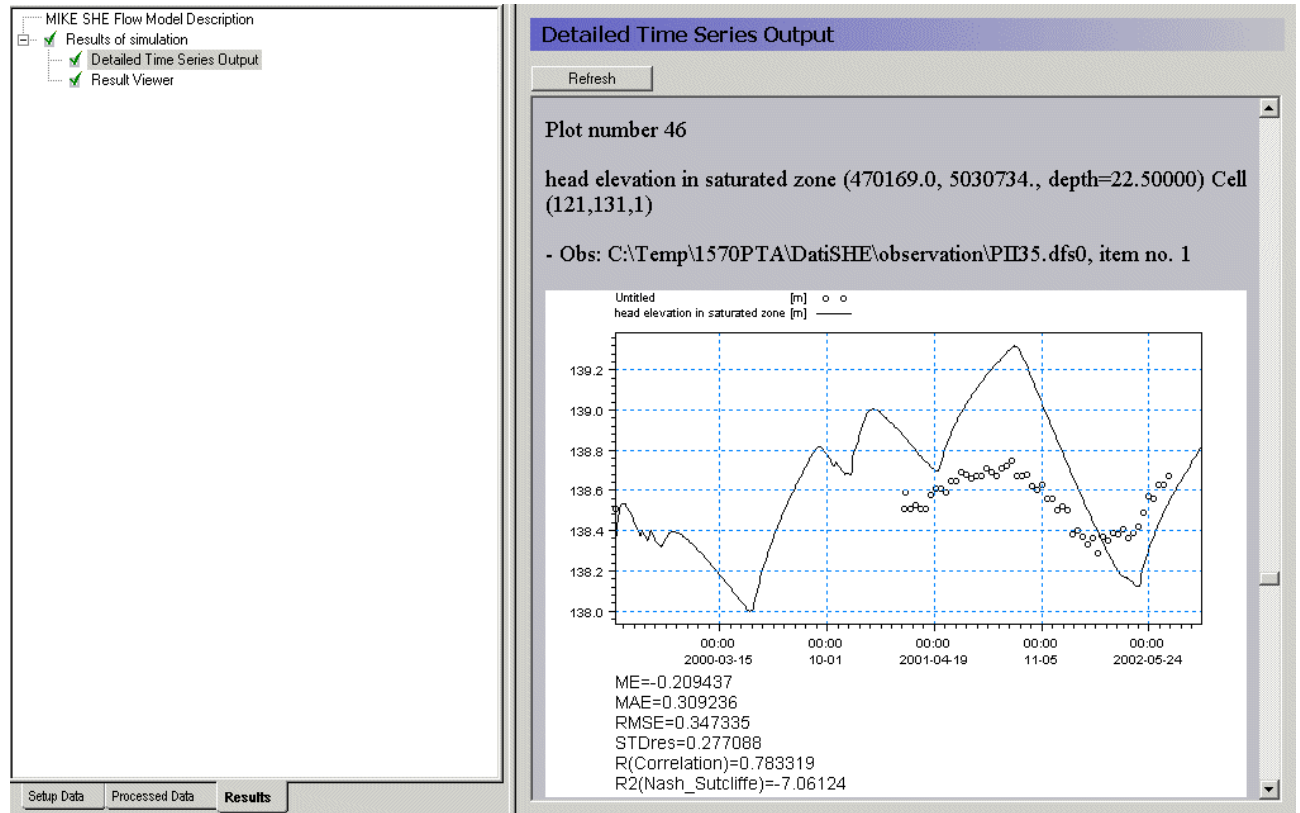


Figura 25 - Esempio di output dal modello relativo a serie piezometrica puntuale in prossimità di stazione di osservazione

Gli output veri e propri della simulazione sono in forma di griglia tempovarianti e rappresentano tutte le grandezze caratteristiche del flusso in falda e degli scambi con il reticolo idrografico.

Tutte le informazioni sono tempovarianti e restituibili anche in formato di animazione.

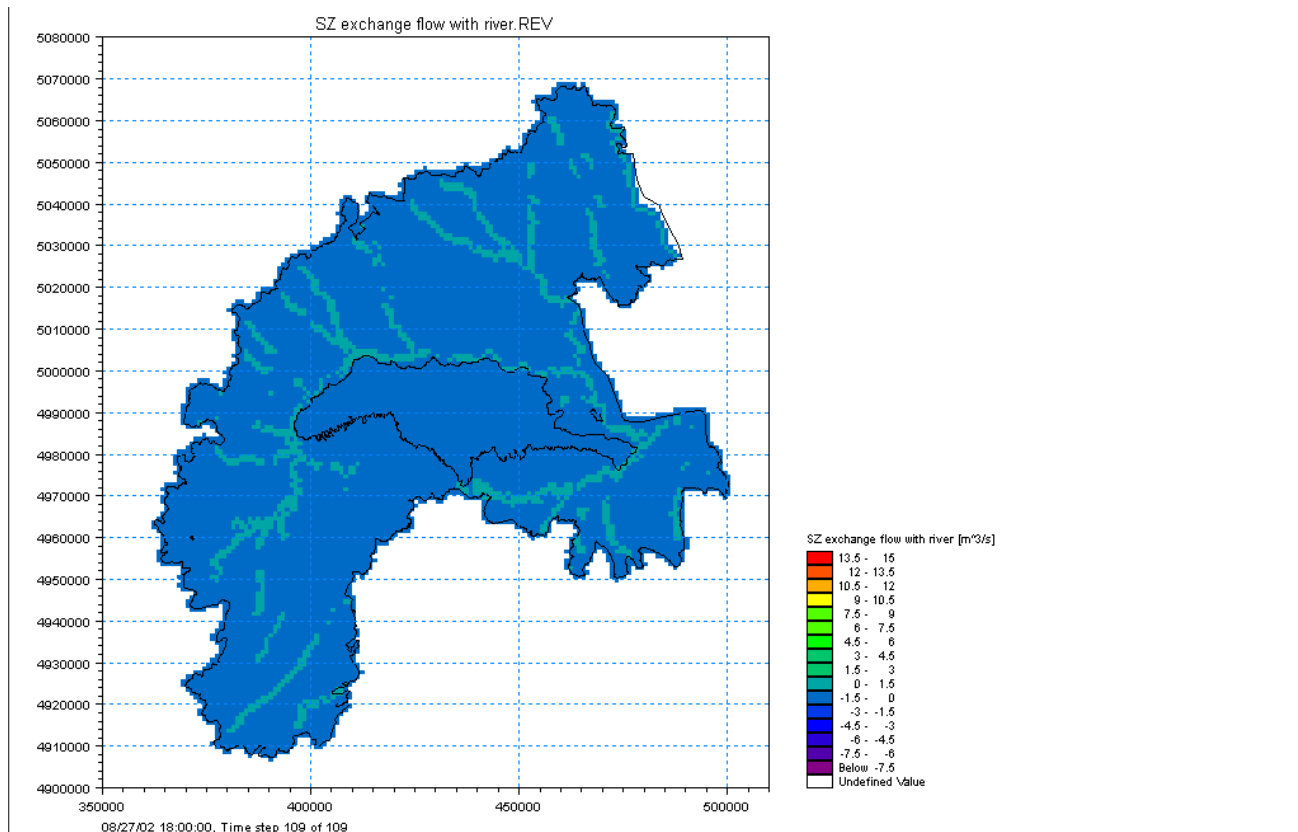


Figura 26 – Esempio di output distribuito e tempovarianti relativo allo scambio tra falda e fiumi



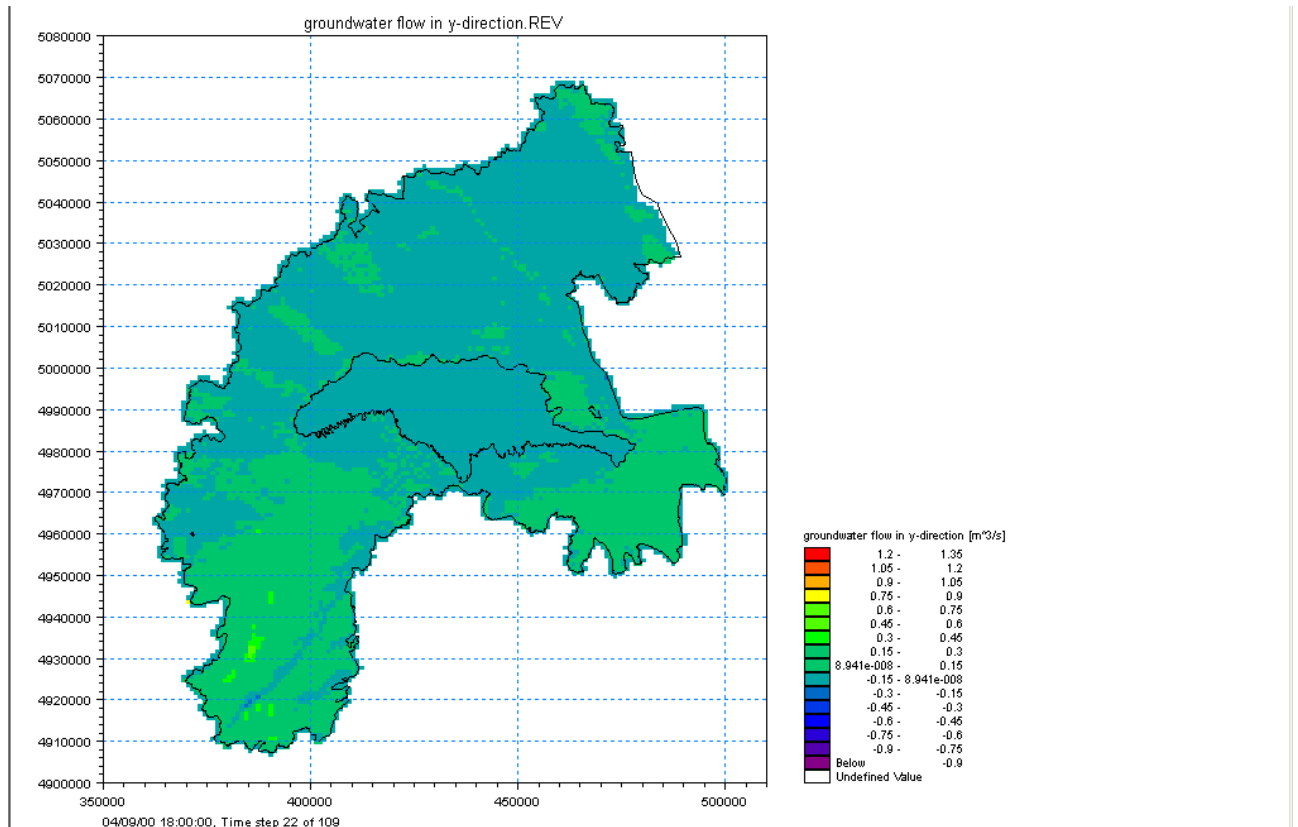


Figura 27 - Esempio di output distribuito e tempovariante relativo alla componente lungo l'asse y del flusso di falda.

Se necessario è poi possibile estrarre dai risultati opportune sezioni trasversali su cui sintetizzare l'informazione locale, mantenendo sempre la variabilità temporale dei fenomeni rappresentati.

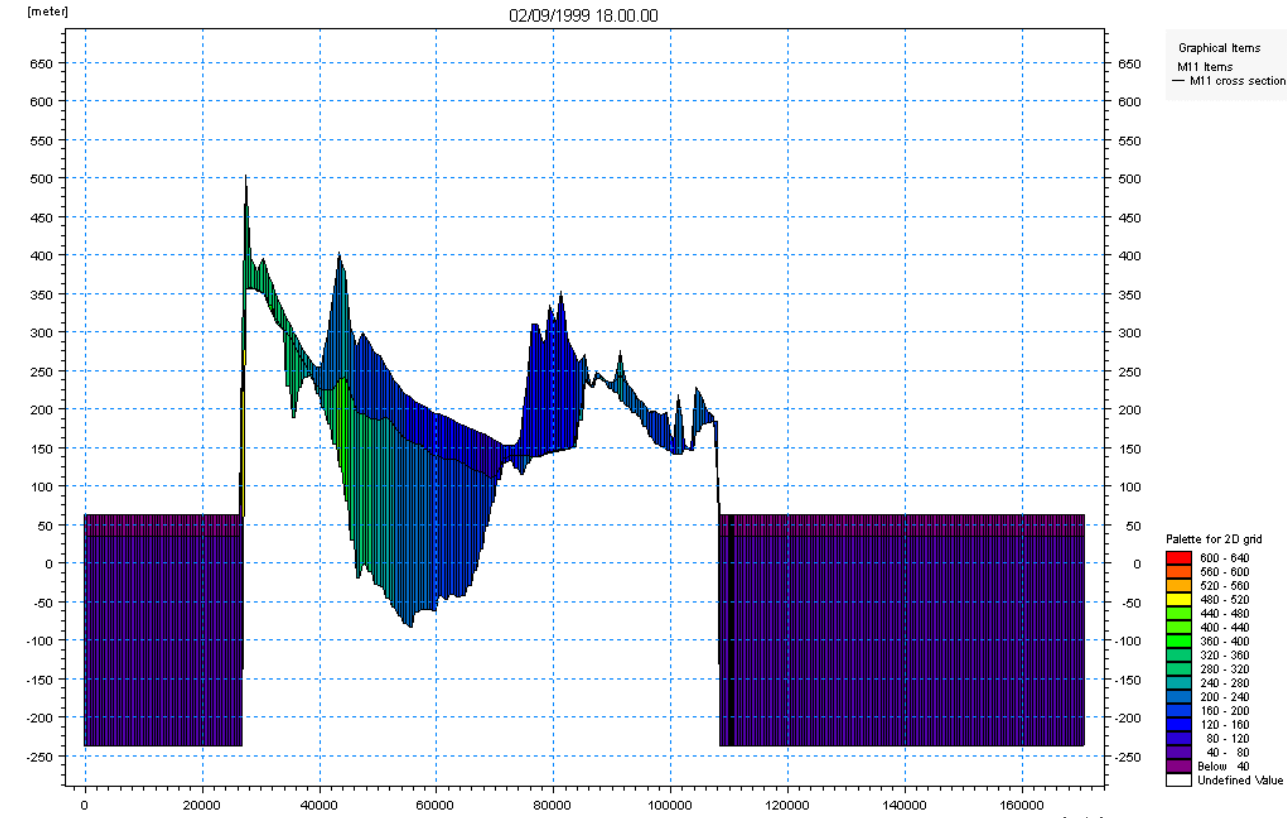


Figura 28 - Esempio di output distribuito lungo una sezione specifica

## **ANNESSO 5**

### **Il modello DAISY**

## DAISY GIS

Il modello è costituito da un'interfaccia grafica addizionale, concepita come un'estensione del software ARCVIEW, attraverso alla quale vengono gestiti i dati di ingresso relativi alla zonizzazione climatica, pedologica e di uso del suolo necessari per il calcolo del flusso di acqua e nutrienti nel terreno.

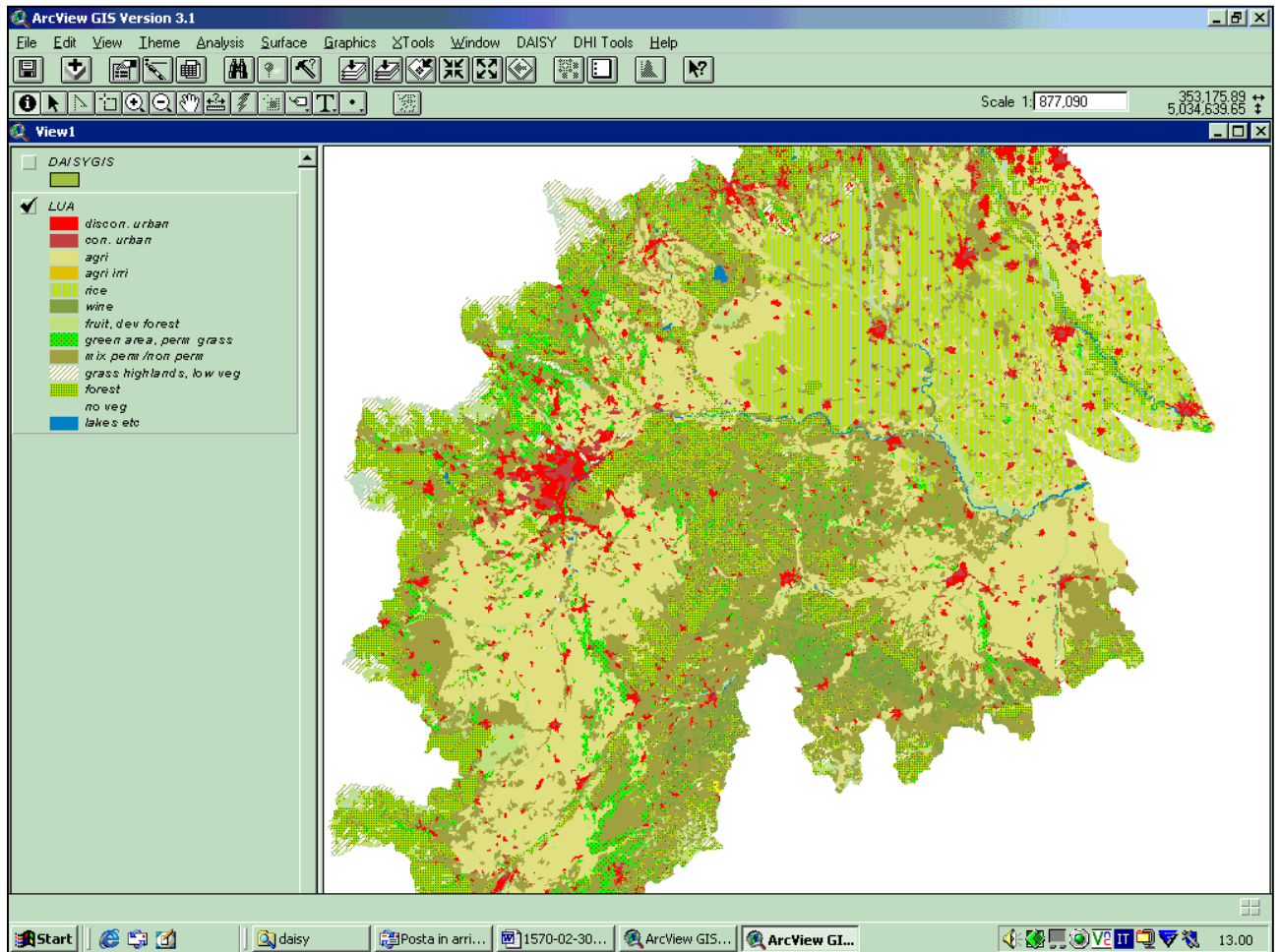


Fig. 1 – Esempio di videata iniziale di DAISYGis in ambiente ESRI - ArcView

Per la definizione delle unità di calcolo elementari dell'estensione DAISYGis occorre definire una discretizzazione del territorio riferita ai seguenti aspetti:

- uso del suolo
- unità meteorologiche omogenee
- unità pedologiche omogenee
- condizioni di soggiacenza della falda freatica

L'interfaccia grafica consente di selezionare tali dati di ingresso, opportunamente organizzati secondo shapefiles di ArcView, attraverso le opzioni "Specify Input Maps" e "Specify Parameters".

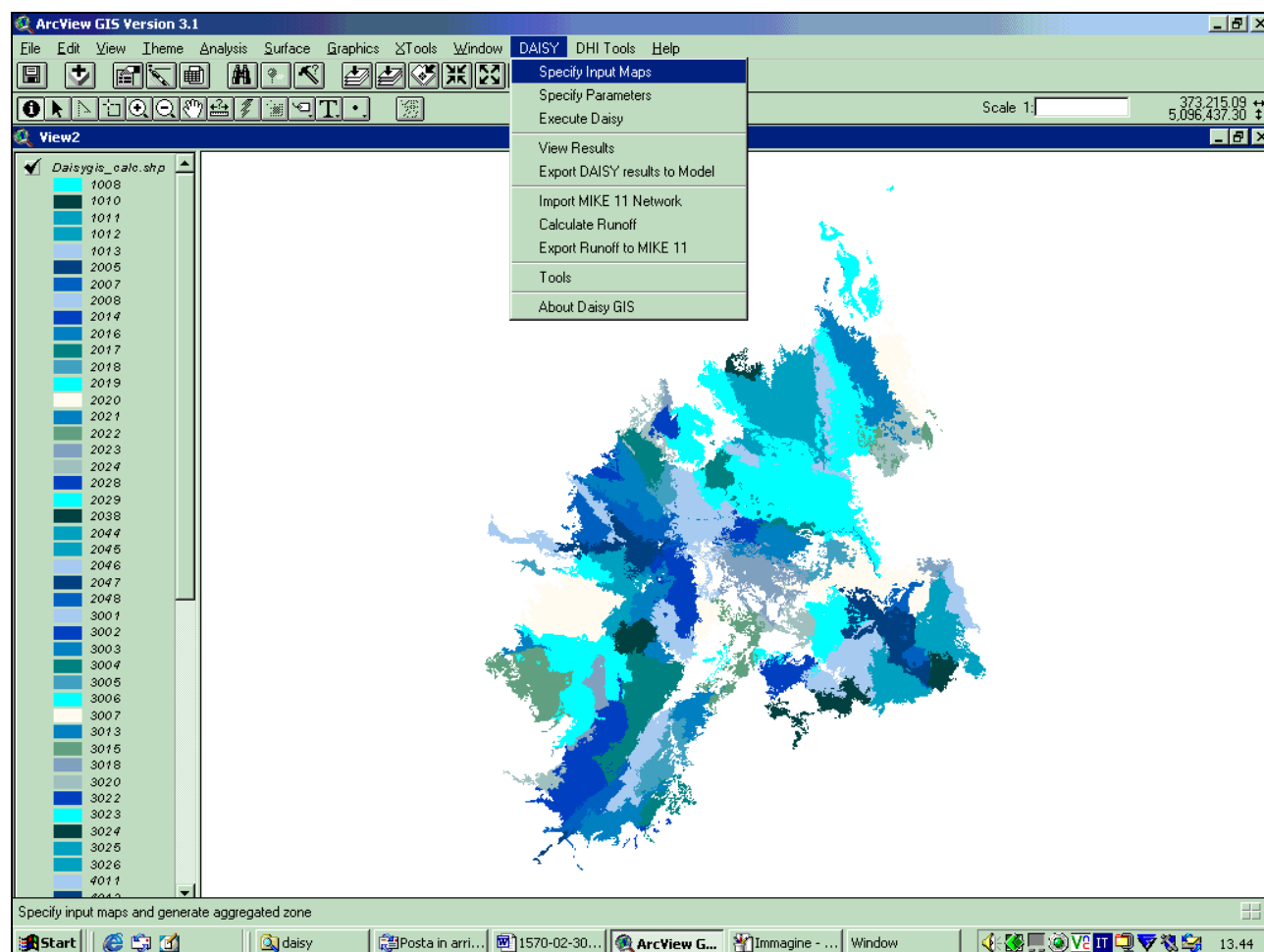


Figura 2 – Esempio di specificazione dei dati in ingresso al modello di calcolo: sottozone meteorologiche omogenee

Per quanto concerne la specificazione analitica delle opzioni di calcolo dei parametri meteorologici (ETP), la discretizzazione verticale delle colonne pedostratigrafiche con la scelta dei parametri idraulici dei suoli, le opzioni di gestione colturale, si rimanda allo specifico manuale d'uso, costituente elaborato a parte allegato alla presente relazione.

Una volta validati e sistematizzati i dati in ingresso, è possibile avviare le simulazioni con il comando "Execute Daisy", nel quale viene richiesto di definire il periodo di esecuzione del modello e la frequenza di archiviazione dei dati nel file di output.

La successiva fase di analisi dei risultati comprende la visualizzazione degli elementi esemplificati nella figura seguente.

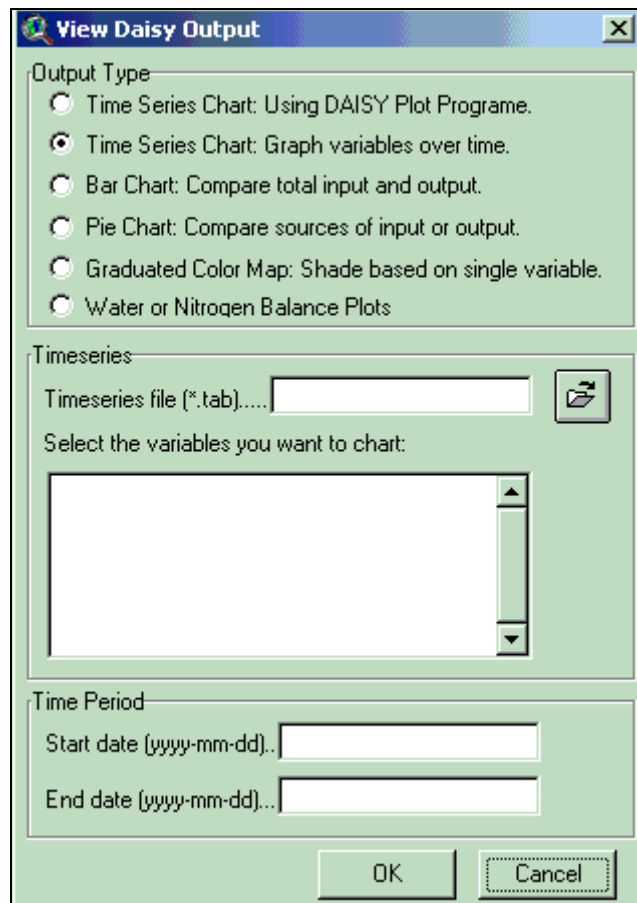


Figura 3 – Menu di estrazione dei risultati delle simulazioni

I risultati possono essere analizzati in formato testuale (bilancio idrico, bilancio dell'azoto, produzioni colturali, contenuto in nutrienti nel suolo, bilancio del carbonio, tec.), oppure tramite diagrammi tempo-varianti riferiti alle variabili di interesse calcolate.

In aggiunta, è possibile utilizzare le funzioni di ArcView per assegnare opportune gradazioni cromatiche ai poligoni elementari di calcolo, in rapporto a specifici parametri calcolati dalle simulazioni durante specificati intervalli di tempo.

Apposite procedure di esportazione dei dati consentono l'interfaccia tra i risultati del DAISY con altri modelli numerici di simulazione, ad esempio dedicati alla modellazione della zona satura (MIKE SHE), previa indicazione della griglia di riferimento per la discretizzazione territoriale dell'area di interesse.

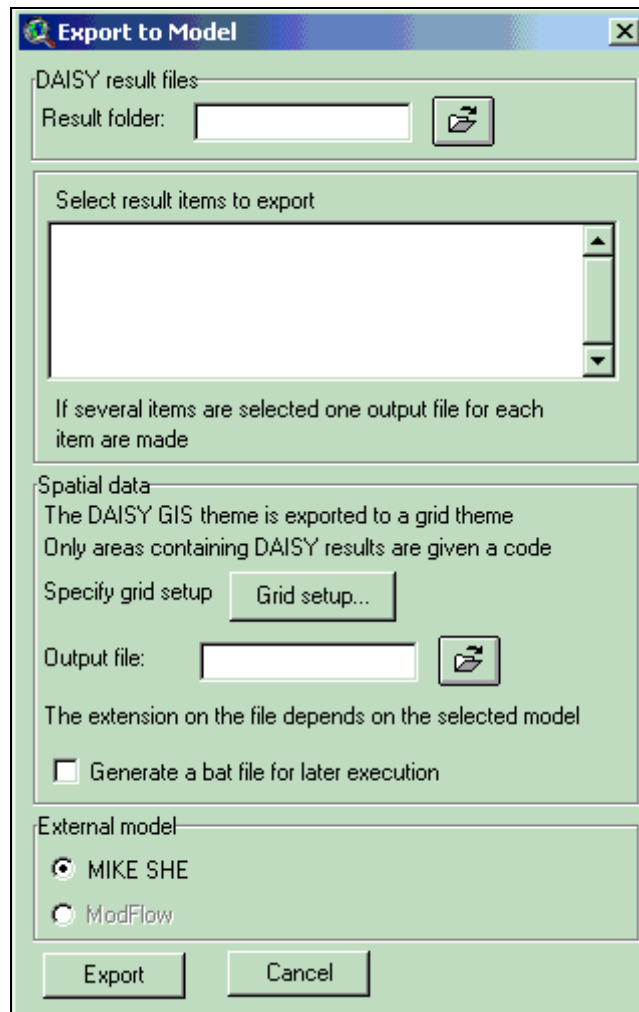


Figura 4 – Esportazione dei risultati delle simulazioni in ambiente MIKESHE

Analoghe procedure di interfaccia sono previste per importare il reticolo idrografico schematizzato con il modello di simulazione MIKE11 e trasferire ai segmenti fluviali i risultati del calcolo del ruscellamento superficiale diffuso (runoff) a partire dai rispettivi bacini imbriferi sottesi.

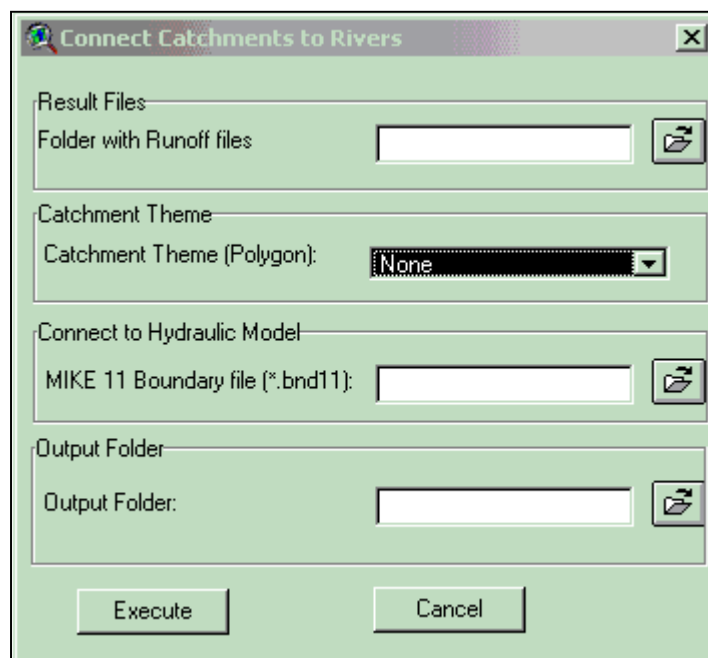
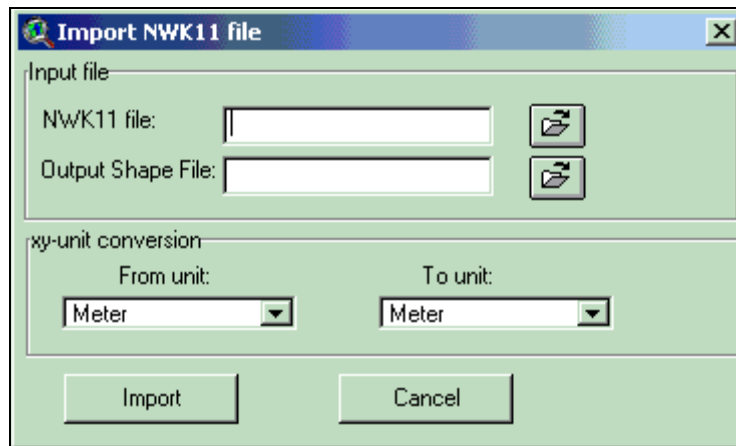


Figura 5 – Struttura dell'interfaccia tra DAISY e MIKE1