

# MOBIDIC

## Descrizione generale del modello

MOBIDIC è un modello di bilancio idrologico distribuito di tipo concettuale, con rappresentazione temporale continua. Il modello consente di simulare le dinamiche spaziali e temporali delle principali variabili idrologiche di interesse, quali il contenuto di acqua nei suoli, il ruscellamento superficiale, lo scambio con la falda, nonché valutare gli effetti sull'evoluzione dei processi considerati della variabilità della precipitazione, delle proprietà idrauliche dei suoli, della vegetazione e l'influenza di interventi antropici sul territorio.

## Modalità di bilancio effettuabili

Il sistema consente di effettuare il bilancio idrico superficiale e sub-superficiale secondo due modalità principali:

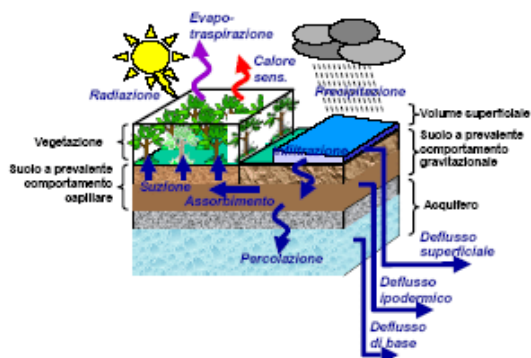
- **Bilancio su periodo predefinito:** il bilancio viene calcolato con scala temporale dipendente dalla frequenza dei dati in ingresso, da quella oraria a quella mensile. Opportune procedure di interpolazione a base fisica (ad esempio per la radiazione solare e la temperatura dell'aria) o probabilistica (ad esempio per la precipitazione) consentono di rappresentare le variabilità a scale temporali più fini nel caso di dati medi giornalieri o mensili.
- **Bilancio ai fini del monitoraggio in tempo reale:** il bilancio verrà calcolato alla scala temporale tipica dei flussi di dati da reti di monitoraggio idrometeorologico in tempo reale, ovvero tipicamente dell'ordine dell'ora o della frazioni d'ora. Le variabili di stato, ed i relativi termini di bilancio su predefinite sezioni superficiali e sub-superficiali, vengono aggiornate contestualmente all'arrivo di nuovi dati.

## Discretizzazione orizzontale e verticale utilizzata nel modello

Il modello si basa spazialmente su una discretizzazione orizzontale del bacino in forma di modello digitale a maglia rettangolare (raster) che ne costituisce il Modello Digitale del Terreno (DTM) e su una discretizzazione verticale del bacino in 5 strati:

- vegetazione;
- invaso superficiale;
- porzione di suolo a prevalente comportamento gravitazionale;
- porzione di suolo a prevalente comportamento capillare;
- acquiferi (artesiani, freatici).

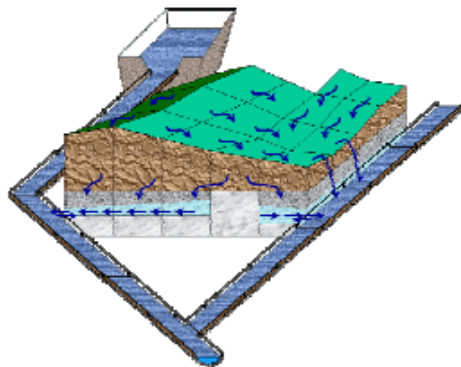
Viene effettuato il bilancio idrico degli strati b) c) d) e) (superficie, suolo e sottosuolo) accoppiato, tramite l'evapotraspirazione, al bilancio energetico degli strati a) c) d) (vegetazione e suolo), come si vede dalla figura.



## Rappresentazione dei corpi idrici superficiali

Per quanto riguarda la rappresentazione dei corpi idrici superficiali, il modello farà riferimento alle seguenti schematizzazioni:

- rappresentazione vettoriale del reticolo idrografico in forma di rete di canali cilindrici;
- rappresentazione concettuale dei grandi invasi (artificiali e laghi naturali) come serbatoi con leggi di invaso e svasso specificabili, connessi alla rete idrografica;
- stato del deflusso canalizzato in forma di volumi e portate nei tratti del reticolo;
- stato dei grandi invasi in forma di livelli e volumi.



## Rappresentazione dei corpi idrici sotterranei

Per quanto riguarda infine la rappresentazione dei corpi idrici sotterranei (falde), il modello farà riferimento alle seguenti schematizzazioni, consentendo la rappresentazione di bacini superficiali e idrogeologici anche non coincidenti planimetricamente:

- confinamento inferiore tramite definizione della quota del substrato roccioso impermeabile, assegnabile in maniera indipendente dalla quota della superficie;

- rappresentazione di falde artesiane tramite doppia variabile di stato (livello idrico e piezometrico) con la prima limitata superiormente;
- possibilità di scambio a doppio senso con i corpi idrici superficiali tramite confronto dei rispettivi livelli idrici.

### **Componenti di bilancio del modello**

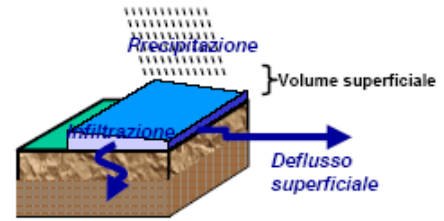
- **Invaso superficiale di versante**
- **Bilancio idrico del suolo**
- **Bilancio energetico superficiale**
- **Dinamica degli acquiferi**
- **Dinamica del reticolo idrografico**
- **Dinamica degli invasi**

## Componente: Invaso superficiale di versante

Rappresenta i processi di deflusso superficiale non canalizzato.

### Schema fisico concettuale di riferimento

Serbatoio lineare.



### Variabili di stato

$W_s$  Volume idrico superficiale sul versante per unità di area [m] (raster, t-var)

### Equazioni di bilancio

$$\frac{dW_s}{dt} = -\alpha_s W_s + F_{ch} q_{ups} + R_{hort} + R_{dun}$$

### Flussi

$q_{local} = \alpha_s W_s$  Deflusso superficiale di versante in uscita [m/s] (raster, t-var)  
(calcolato localmente)

$q_{ups}$  Deflusso superficiale di versante in ingresso da monte [m/s] (raster, t-var)  
(somma di  $q_{local}$  delle celle a monte, da *struttura direzioni versante*)

$R_{hort}$  Produzione locale di deflusso superficiale alla Horton [m/s] (raster, t-var)  
(calcolato nello schema di bilancio idrico del suolo)

$R_{dun}$  Produzione locale di deflusso superficiale alla Dunne [m/s] (raster, t-var)  
(calcolato nello schema di bilancio idrico del suolo)

### Parametri

$\alpha_s$  Costante d'invaso per il deflusso superficiale di versante [1/s] (raster, static)

$F_{ch}$  Frazione di deflusso canalizzato in reticolo non rappresentato [-] (raster, static)

### Parametrizzazioni

$$\alpha_s = \alpha_0 \sqrt{A_c i_s}$$

$\alpha_0$  Parametro empirico [1/ms] (global, static)  
(ricavato da calibrazione)

$A_c$  Area contribuyente cumulata [m<sup>2</sup>] (raster, static)  
(ricavata da analisi del DEM, tramite la matrice Flow Accumulation)

$i_s$  Pendenza locale del versante [-] (raster, static)  
(ricavata da analisi del DEM)

$$F_{ch} = \max \left[ 0, \frac{A_c - A_{min}}{A_{tot}} \right]$$

$A_{min}$  Area contribuyente minima per la formazione del reticolo [m<sup>2</sup>] (global, static)  
(ricavata da Teoria formazione reticolo, Tarboton)

$A_{tot}$  Area totale del bacino [m<sup>2</sup>] (global, static)  
(ricavata da analisi del DEM)

## Componente: Bilancio idrico del suolo

Rappresenta il bilancio di massa (idrico) del suolo su una porzione di versante.

### Schema fisico concettuale di riferimento

Suddivisione dello strato di suolo in parte a prevalente comportamento gravitazionale (dimensione dei pori  $>60 \mu\text{m}$ ) e in parte a prevalente comportamento capillare, schematizzati come serbatoi con flussi non-lineari a soglia.



### Variabili di stato

$W_g$  Volume idrico nel suolo gravitazionale per unità di area [m] (raster, t-var)

$W_c$  Volume idrico nel suolo capillare per unità di area [m] (raster, t-var)

### Equazioni di bilancio

$$\frac{dW_g}{dt} = I_{nf} - \beta W_g - \gamma W_g - S_{as} + S_{seep}$$

$$\frac{dW_c}{dt} = S_{as} - S_{su} - E_s / \rho_w$$

$$I_{nf} = P_p + Q_{dup} + (1 - F_{ch}) q_{ups} - R_{hort} - R_{dun}$$

$$R_{hort} = [P_p + (1 - F_{ch}) q_{ups}] \exp\left(\frac{-K_s}{P_p + (1 - F_{ch}) q_{ups}}\right)$$

$$R_{dun} = \begin{cases} \max[0, P_p + Q_{dup} + (1 - F_{ch}) q_{ups} - R_{hort} - (\beta + \gamma) W_g - S_{as} + S_{seep}] & \text{se } W_g = W_{g \max} \\ 0 & \text{se } W_g < W_{g \max} \end{cases}$$

$$S_{as} = \begin{cases} K \left(1 - \frac{W_c}{W_{c \max}}\right) & \text{se } W_g > 0 \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

$$S_{su} = E_v / \rho_w$$

### Flussi

$I_{nf}$  Infiltrazione potenziale [m/s] (raster, t-var)  
(calcolato localmente)

$Q_{dloc} = \beta W_g$  Deflusso ipodermico per unità di area in uscita [m/s] (raster, t-var)  
(calcolato localmente)

$Q_{dup}$  Deflusso ipodermico in ingresso da monte per unità di area [m/s] (raster, t-var)  
(somma di  $Q_{dloc}$  delle celle a monte, da struttura direzioni versante)

$S_{per} = \gamma W_g$  Percolazione per unità di area verso le falde [m/s] (raster, t-var)

	(calcolato localmente)	
$S_{as}$	Assorbimento idrico da gravitazionale a capillare [m/s] (calcolato localmente)	(raster, t-var)
$q_{ups}$	Deflusso superficiale di versante in ingresso da monte [m/s] (calcolato nel modulo di invaso superficiale di versante)	(raster, t-var)
$S_{su}$	Suzione dalle radici della vegetazione [m/s] (calcolato localmente)	(raster, t-var)
$E_s$	Evaporazione diretta dal suolo [m/s] (calcolato nel modulo di bilancio energetico)	(raster, t-var)
$E_v$	Evapotraspirazione dalla vegetazione [m/s] (calcolato nel modulo di bilancio energetico)	(raster, t-var)
$R_{hort}$	Produzione di deflusso superficiale per unità di area (Horton) [m/s] (calcolato localmente)	(raster, t-var)
$R_{dun}$	Produzione di deflusso superficiale per unità di area (Dunne) [m/s] (calcolato localmente)	(raster, t-var)
$P_p$	Precipitazioni al suolo [m/s] (forzante esterna)	(raster, t-var)

## Parametri

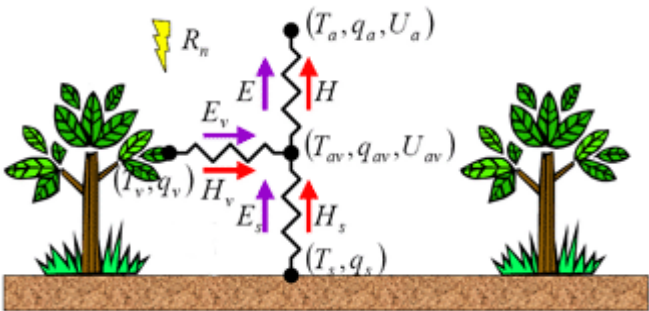
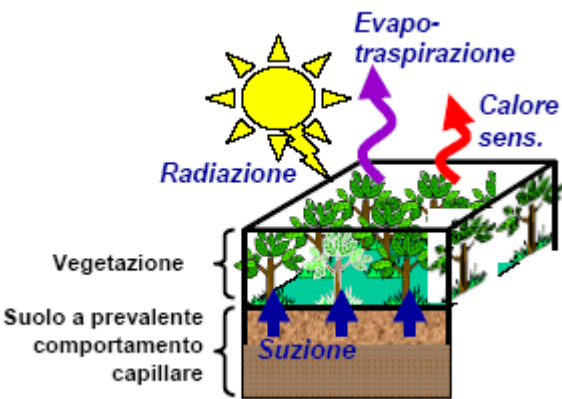
$W_{g\ max}$	Volume massimo nel suolo gravitazionale per unità di area [m]	(raster, static)
$W_{c\ max}$	Volume massimo nel suolo capillare per unità di area [m]	(raster, static)
$K_s$	Permeabilità idraulica a saturazione [m/s]	(raster, static)
$F_{ch}$	Frazione di deflusso canalizzato in reticolo non rappresentato [-]	(raster, static)
$\beta$	Parametro di ritardo per il deflusso ipodermico [1/s]	(global, static)
$\gamma$	Parametro di ritardo per la percolazione [1/s]	(global, static)
$K$	Parametro di ritardo per l'assorbimento capillare [1/s]	(global, static)
$\rho_w$	Densità dell'acqua [Kg/m <sup>3</sup> ]	(global, static)

# Componente: Bilancio energetico superficiale

Rappresenta il bilancio di energia all'interfaccia del sistema suolo-vegetazione con l'atmosfera su una cella elementare di versante.

## Schema fisico concettuale di riferimento

Modello di bilancio energetico superficiale a doppia sorgente suolo-vegetazione, basato sull'equazione di diffusione del calore, riformulato da Caparrini et al., 2004, a partire da quello proposto da Anderson et al., 1997, schematizzato nella figura sottostante. E' possibile anche utilizzare un modello semplificato a sorgente singola, che prevede solo le componenti suolo e aria.



## Variabili di stato prognostiche

$T$  Temperatura al suolo [°K] (raster, t-var)

## Variabili di stato diagnostiche

$T_v$  Temperatura della vegetazione[°K] (raster, t-var)

$T_{av}$  Temperatura dell'aria fra la vegetazione [°K] (raster, t-var)

$q_{av}$  Umidità specifica dell'aria nella vegetazione [-] (raster, t-var)

## Equazioni di bilancio

$$\rho_s C_s \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( K_s \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Equazione di diffusione del calore

## Condizioni al contorno

$$T(z = z_{deep}) = T_{deep}$$

$$K_s \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} = -R_n + H + L E$$

## Modello a doppia sorgente

$$H_s = \rho c_p C_{Hs} U_{av} (T_s - T_{av})$$

$$L E_s = \rho L C_{Hs} U_{av} (q_s - q_{av})$$

$$H_v = \rho c_p C_{Hv} U_{av} (T_v - T_{av})$$

$$L E_v = \rho L C_{Hv} U_{av} (q_v - q_{av})$$

$$H = f_v H_v + (1 - f_v) H_s$$

$$H = \rho c_p C_H (U_a - U_{av}) (T_{av} - T_a)$$

$$L E = \rho L C_H (U_a - U_{av}) (q_s - q_a)$$

## Modello a sorgente singola

$$H = \rho c_p C_H U_a (T_s - T_a)$$

$$L E = \rho L C_H U_a (q_s - q_a)$$

## Flussi

$H_s$	Flusso di calore sensibile dal suolo [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$H_v$	Flusso di calore sensibile dalla vegetazione [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$E_s$	Evapotraspirazione diretta dal suolo [Kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$E_v$	Evapotraspirazione diretta [Kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$H$	Flusso di calore sensibile dal sistema suolo-vegetazione [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$E$	Evapotraspirazione diretta dal sistema suolo-vegetazione [Kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$U_{av}$	Velocità del vento nella vegetazione [m/s]	(raster, t-var)
$q_s$	Umidità specifica dell'aria al suolo [-]	(raster, t-var)
$q_v$	Umidità specifica dell'aria alla superficie foliare [-]	(raster, t-var)

## Forzanti meteorologiche

$U_a$	Velocità del vento all'altezza di misura standard [m/s]	(raster, t-var)
$T_a$	Temperatura dell'aria all'altezza di misura standard [°K]	(raster, t-var)
$q_a$	Umidità specifica dell'aria all'altezza di misura standard [-]	(raster, t-var)
$R_s^\downarrow$	Radiazione solare incidente a onde corte [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$R_i^\downarrow$	Radiazione solare incidente a onde lunghe [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)

## Caso di Run giornaliero

In questo caso anzichè inserire i valori istantanei di temperatura dell'aria, occorre inserire i valori di temperature massime e minime giornaliere, a partire dalle quali il programma interpola le temperature in tutto il ciclo diurno.

$T_{a \max}$	Temperatura dell'aria massima giornaliera all'altezza di misura standard [°K]	(raster, t-var)
$T_{a \min}$	Temperatura dell'aria minima giornaliera all'altezza di misura standard [°K]	(raster, t-var)

## Costanti fisiche

$c_p$	Calore specifico dell'aria a pressione costante [J °K <sup>-1</sup> Kg <sup>-1</sup> ]	(raster, t-var)
$L$	Calore latente di vaporizzazione [J Kg <sup>-1</sup> ]	(raster, t-var)
$\omega$	Frequenza del ciclo diurno [s <sup>-1</sup> ]	(raster, t-var)
$\sigma$	Costante di Stefan Boltzmann [W m <sup>-2</sup> °K <sup>-4</sup> ]	(raster, t-var)

## Parametri

$C_H$	Coefficiente di scambio per il calore dal sistema suolo-vegetazione all'atmosfera [-]	(raster, t-var)
$C_{Hs}$	Coefficiente di scambio per il calore dal suolo all'atmosfera [-]	(raster, t-var)
$C_{Hv}$	Coefficiente di scambio per il calore dalla vegetazione all'atmosfera [-]	(raster, t-var)
$T_{deep}$	Temperatura profonda [°K]	(raster, t-var)
$\rho_s$	Densità del suolo [Kg m <sup>-3</sup> ]	(raster, t-var)
$\rho$	Densità dell'aria [Kg m <sup>-3</sup> ]	(raster, t-var)
$C_s$	Capacità termica del suolo [J °K <sup>-1</sup> Kg <sup>-1</sup> ]	(raster, t-var)
$K_s$	Coefficiente di conduttività del suolo [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	(raster, t-var)

## Parametrizzazioni

$$C_H = (C_H)_N \cdot f(Ric_B)$$

$(C_H)_N$	Coefficiente di scambio per il calore in condizioni neutre [-]	(raster, static)
$Ric_B$	Numero di Richardson 'bulk' [-]	(raster, static)

$$f_v = 1 - \exp(0.5 LAI)$$

$LAI$	Leaf Area Index [-]	(raster, seasonal)
-------	---------------------	--------------------

$$R_n = R_s^\downarrow - R_s^\uparrow + R_l^\downarrow - R_l^\uparrow$$

$R_n$	Radiazione solare netta [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$R_s^\downarrow$	Radiazione solare incidente a onde corte [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$R_s^\uparrow$	Radiazione solare uscente a onde corte [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$R_l^\downarrow$	Radiazione solare incidente a onde lunghe [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)
$R_l^\uparrow$	Radiazione solare uscente a onde lunghe [W m <sup>-2</sup> ]	(raster, t-var)

$$R_s^\uparrow = a \cdot R_s^\downarrow, \quad R_l^\uparrow = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_R^4$$

$a$	Albedo della superficie [-]	(raster, static)
-----	-----------------------------	------------------

$\varepsilon$	Emissività della superficie [ - ]	(raster, static)
$\sigma$	Costante di Stefan Boltzmann [W m <sup>-2</sup> °K <sup>-4</sup> ]	(global, static)
$T_R$	Temperatura radiometrica del sistema suolo- vegetazione [°K]	(raster, t-var)

$$q_s = q_{sat}(T_s)$$

$$q_v = q_{sat}(T_v)$$

$$U_{av} = U_{av}(LAI, \dots)$$

$$C_{Hs} = C_H \frac{U}{U_{av}} \exp\left(\frac{-\alpha LAI}{2}\right)$$

$$C_{Hv} = C_H \frac{U}{U_{av}} \exp(-\alpha LAI)$$

$\alpha$	Parametro che dipende dal tipo di vegetazione [ - ] (da letteratura)	(global, static)
----------	---	------------------

---

## Riferimenti Bibliografici

M. C. Anderson, J. M. Norman, G.R. Diak, W.P. Kustas, J.R. Mecikalski : "**A Two-Source Time-Integrated Model for Estimating Surface Fluxes Using Thermal Infrared Remote Sensing**". Remote Sensing of Environment, 60, pp. 195-216, 1997.

F. Caparrini, F. Castelli, D. Entekhabi: "**Variational Estimation of Soil and Vegetation Turbulent Transfer and Heat Flux Parameters from Sequences of Multisensor Imagery**". Water Resources Research, 40, W12515, 2004.

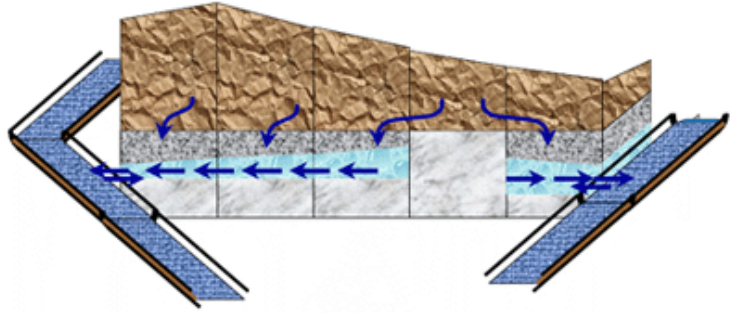


## Componente: Dinamica degli acquiferi

Rappresenta il bilancio di massa (idrico) delle falde.

### Schema fisico concettuale di riferimento

Equazioni del moto in acquifero confinato (artesiani) e/o non confinato superiormente (freatico), isotropo, eterogeneo, con confinamento inferiore dato dalla presenza di un bedrock (strato impermeabile), assunto a quota variabile (non orizzontale). L'equazione evolutiva del carico piezometrico è scritta nelle ipotesi di solo flusso orizzontale.



### Estensione dell'acquifero

L'estensione dell'acquifero ambito dello studio è definita tramite una maschera raster identificativa (con 1 nelle celle che appartengono all'acquifero e NaN-Not A Number- nelle celle dove l'acquifero non c'è) e può non coincidere con l'estensione del bacino idrografico superficiale.

### Variabili di stato

$h$	Carico piezometrico rispetto al livello del mare [m]	(raster, t-var)
$h_{riv}$	Livello piezometrico nei corpi idrici superficiali [m]	(vector, t-var)

### Equazioni di bilancio

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_f (h - Z_b) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_f (h - Z_b) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + S_{per} - Q_{well} = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Per acquiferi liberi}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_f (ss) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_f (ss) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + S_{per} - Q_{well} = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Per acquiferi confinati}$$

Le equazioni devono essere completate da opportune condizioni al contorno e condizioni iniziali.

### Condizioni al contorno

Il programma offre la possibilità di introdurre le condizioni al contorno nei seguenti modi:

Andamento temporale del valore di  $h$  sui corpi idrici superficiali

$$h = h_{riv}$$

Condizioni di flusso nullo

$$\left. \frac{\partial h}{\partial n} \right|_{x=x_c} = 0, \quad \left. \frac{\partial h}{\partial n} \right|_{y=y_c} = 0 \quad \text{su } B$$

$n(x_c, y_c)$  E' la normale locale al contorno

$(x_c, y_c)$  Coordinate dei punti del contorno

$B$  Contorno, identificato da una curva nel piano

Condizioni di flusso imposto

Il contorno  $B$  è diviso in tratti lungo i quali si devono imporre delle condizioni di flusso: si impone un flusso entrante (positivo) se l'acquifero viene ricaricato dalle formazioni geologiche con cui è a contatto; flusso nullo, se le formazioni geologiche con cui l'acquifero è a contatto in quel tratto sono acquicludi e quindi impediscono il passaggio dell'acqua.

### Condizioni iniziali

Il programma consente di introdurre delle condizioni iniziali note, se si hanno a disposizione delle piezometriche affidabili

<u>Imposte</u>	$h = h_{ini}$	Dove $h_{ini}$ è il raster che contiene le quote piezometriche note, che si vogliono assumere come condizioni iniziali della simulazione.
<u>Stazionarie</u>	Se non vengono introdotte condizioni iniziali esterne il programma introduce automaticamente delle condizioni iniziali stazionarie ricavate dalle equazioni di bilancio in caso di invarianza temporale.	

## Flussi

$S_{per}$	Percolazione per unità di area verso le falde [m/s] (calcolato nel modulo di bilancio idrico del suolo)	(raster, t-var)
$Q_{well}$	Emungimenti (o ricariche puntuali) ragguagliati all'area [m/s] (forzante esterna)	(raster, t-var)

## Parametri

$K_f$	Coefficiente di permeabilità a saturazione dell'acquifero [m/s]	(raster, static)
$S$	Coefficiente di immagazzinamento dell'acquifero [-]	(raster, static)
$Z_b$	Andamento altimetrico del bed-rock [m]	(raster, static)
$ss$	Spessore dell'acquifero, per falde artesiane [m]	(raster, static)

## Isotropo

Un mezzo poroso è isotropo se le sue proprietà rimangono inalterate al variare della direzione. Un acquifero isotropo non presenta una direzione preferenziale per il flusso dell'acqua, per cui il coefficiente di conducibilità idraulica a saturazione non dipende dalla direzione, cioè:

$$K_f = K_{fx} = K_{fy}$$

$K_{fx}$	Coefficiente di conducibilità idraulica a saturazione in direzione x [m/s]
$K_{fy}$	Coefficiente di conducibilità idraulica a saturazione in direzione y [m/s]

## Eterogeneo

Un mezzo poroso è eterogeneo se le sue proprietà o le sue condizioni di isotropia o anisotropia variano da punto a punto dell'acquifero.

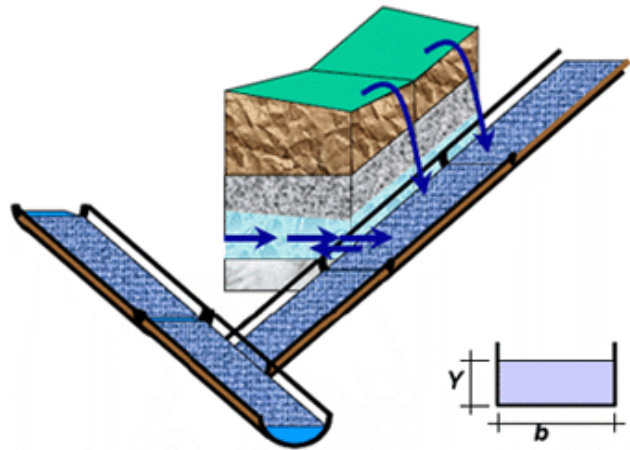


## Componente: Dinamica del reticolo idrografico

Rappresenta i deflussi superficiali nei rami della rete idrografica.

### Schema fisico concettuale di riferimento

Il programma consente di risolvere le equazioni del moto vario monodimensionale in alveo cilindrico a tratti con vari metodi: lag, serbatoio lineare, Muskingum o Muskingum-Cunge. Il reticolo è rappresentato tramite una struttura vettoriale ad albero, con ciascun ramo che rappresenta un tratto cilindrico di sezione rettangolare larga.



### Variabili di stato

$Q$	Portata liquida nel canale [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	(vector, t-var)
$Y$	Profondità della corrente nel canale [m]	(vector, t-var)

### Equazioni di bilancio

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + c(q_L + q_F + q_A)$$

$$Q = kY^m$$

### Flussi

$q_L$	Afflusso superiore e ipodermico dai versanti per unità di lunghezza [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] (calcolato nel modulo di interfaccia versanti-canali)	(vector, t-var)
$q_F$	Afflusso profondo dalle falde per unità di lunghezza [ $\text{m}^2/\text{s}$ ] (calcolato nel modulo di interfaccia acquiferi-canali)	(vector, t-var)
$q_A$	Portata artificiale (prelevata o reimpressa) per unità di lunghezza [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	(vector, t-var)

### Parametri

$c$	Celerità delle onde di piena [m/s]	(vector, t-var)
$\mu$	Diffusività delle onde di piena [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]	(vector, t-var)
$k$	Costante della scala di deflusso [ $\text{m}^{3-m}/\text{s}$ ]	(vector, static)
$m$	Esponente della scala di deflusso [ $\text{m}^{3-m}/\text{s}$ ]	(vector, static)

### Parametrizzazioni

$k = \frac{b \sqrt{i_f}}{n}$	Costante della scala di deflusso [ $\text{m}^{3-m}/\text{s}$ ]
$i_f = \frac{Z_{c \max} - Z_{c \min}}{L_{ch}}$	Pendenza dell'alveo [-]
$b = B_0 \Omega^{B_n}$	Larghezza dell'alveo [m]

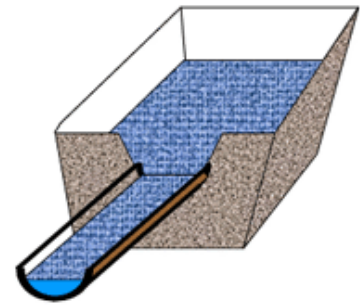
$\Omega$	Ordine di Strahler del ramo [-]	(vector-static)
$Z_{c\ max}$	Quota del fondo della sezione di monte [m] (ricavata da analisi congiunta del reticolo e del DEM)	(vector-static)
$Z_{c\ min}$	Quota del fondo della sezione di valle [m] (ricavata da analisi congiunta del reticolo e del DEM)	(vector-static)
$L_{ch}$	Lunghezza del canale [m] (ricavata da analisi del reticolo)	(vector-static)
$B_0$	Parametro empirico [m]	(global-static)
$B_n$	Parametro empirico [-]	(global-static)
$n$	Scabrezza dell'alveo alla Manning [s/m <sup>1/3</sup> ] (ricavata da analisi morfologica del reticolo)	(global-static)

## Componente: Dinamica degli invasi

Rappresenta il bilancio idrico nei serbatoi naturali e artificiali.

### Schema fisico concettuale di riferimento

Bilancio di massa di un serbatoio di geometria nota con legge di scarico assegnata, eventualmente dipendente secondo legge univoca dal livello nel serbatoio.



### Variabili di stato

$V_s$	Volume presente nel serbatoio [m <sup>3</sup> ]	(scalar, t-var)
$H_s$	Livello idrico nel serbatoio [m]	(scalar, t-var)

### Equazioni di bilancio

$$dV_s/dt = Q_L + Q_F + Q_C - Q_{sout}$$

$$V_s = V_s(H_s)$$

$$Q_{sout} = Q_{sout}(H_s)$$

### Flussi

$Q_L$	Afflusso superficiale e ipodermico dai versanti [m <sup>3</sup> /s] (calcolato nel modulo di interfaccia versanti-invasi)	(scalar, t-var)
$Q_F$	Afflusso profondo dalle falde [m <sup>3</sup> /s] (calcolato nel modulo di interfaccia versanti-invasi)	(scalar, t-var)
$Q_C$	Afflusso superficiale dai canali [m <sup>3</sup> /s] (calcolato nel modulo di interfaccia canali-invasi)	(scalar, t-var)
$Q_{sout}$	Portata in uscita dall'invaso [m <sup>3</sup> /s] (calcolato localmente)	(scalar, t-var)

### Parametrizzazioni

$$V_s = a_s (H_s - H_{s0})^{b_s}$$

$a_s$	Costante della legge di invaso [m <sup>3-b<sub>s</sub></sup> ] (ricavata da analisi di DEM ad alta risoluzione)	(scalar, static)
$b_s$	Esponente della legge di invaso [-] (ricavata da analisi del DEM ad alta risoluzione)	(scalar, static)
$H_{s0}$	Quota del fondo di invaso [m] (ricavata da analisi del DEM ad alta risoluzione e/o dati progettuali)	(scalar, static)

$$Q_{sout} = 0.6\sqrt{2g} \sum \Omega_{Fi}(H_s - z_{Fi})^{1/2} + 0.38\sqrt{2g} \sum L_{Si}(H_s - z_{Si})^{3/2}$$

$\Omega_{Fi}$	Sezione dell'i-esimo scarico di fondo [m <sup>2</sup> ] (da dati progettuali invaso)	(scalar, static)
$z_{Fi}$	Quota baricentrica dell'i-esimo scarico di fondo [m]	(scalar, static)

	(da dati progettuali invaso)	
$L_{Si}$	Sviluppo lineare dell'i-esimo sfioratore [m] (da dati progettuali invaso)	(scalar, static)
$z_{Si}$	Quota della soglia dell'i-esimo sfioratore [m] (da dati progettuali invaso)	(scalar, static)