

TOPKAPI

TOPographic KINematic
APproximation and INtegration



PROtezione e GESTione Ambientale

Sede Operativa – Via Don Bedetti 20 – 40129 Bologna - Italy

Tel. 0039 051 6389099 – Fax. 0039 051 6389100

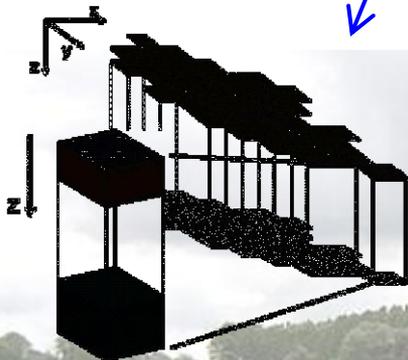
Email segreteria@progea.net

Ing. Cinzia Mazzetti
cinzia.mazzetti@progea.net

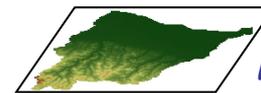
INTRODUZIONE

Modello idrologico di tipo distribuito e fisicamente basato

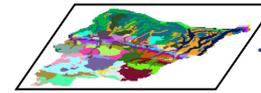
Rappresenta gli idrogrammi di piena a partire dall'input meteorologico e dalle caratteristiche fisiche e morfologiche del bacino idrografico. Non è necessario descrivere in maniera accurata la geometria della sezione dell'alveo, ma è sufficiente darne una rappresentazione schematica.



Cartografia Tematica:



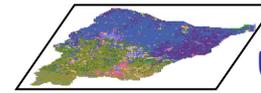
Modello Digitale del Terreno



Tipi di suolo



Coefficienti di drenaggio del suolo



Uso del suolo e copertura vegetale



Temperature medie mensili (ETP)

LE ORIGINI DEL MODELLO

Il modello TOPKAPI è stato sviluppato sulla base dell'**analisi critica** di due modelli idrologici molto diffusi ed utilizzati: il modello **ARNO** ed il modello **TOPMODEL**.

Scopi:

Rispondere alla domanda di un **modello idrologico fisicamente basato** con una solida impostazione fisica, basata su numero limitato di parametri interpretabili fisicamente in maniera immediata.

Essere applicabile a scale spaziali crescenti, conservando all'aumentare della scala valori fisicamente significativi dei parametri.

Superare i tradizionali limiti dei modelli distribuiti fisicamente basati: possibilità di applicazione solo a piccole scale, grande quantità di dati richiesti e lunghi tempi di calcolo.

Essere semplice e parsimonioso nella parametrizzazione.

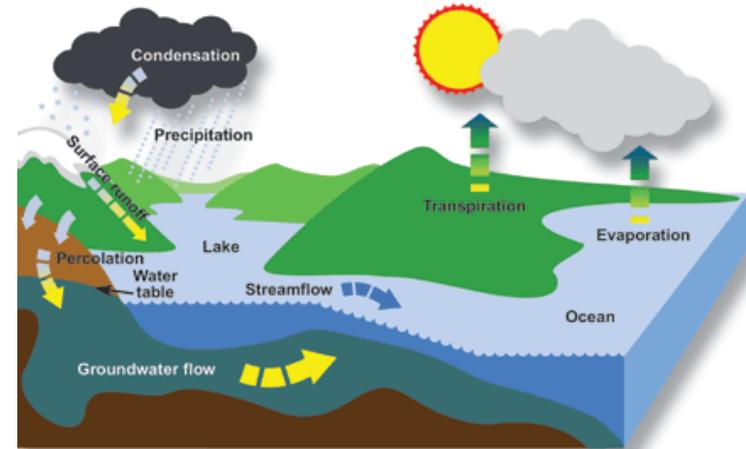
PERCHE' UN MODELLO DISTRIBUITO?

Pro

Non solo previsioni di portata

Riprodurre la dinamica dei diversi componenti del ciclo idrologico

Previsioni e applicazioni: frane, incendi, gestione delle risorse idriche



Informazioni distribuite: caratteristiche e comportamento dei diversi tipi di suolo, copertura e uso del suolo, accumulo e fusione della neve, evapotraspirazione, ecc.

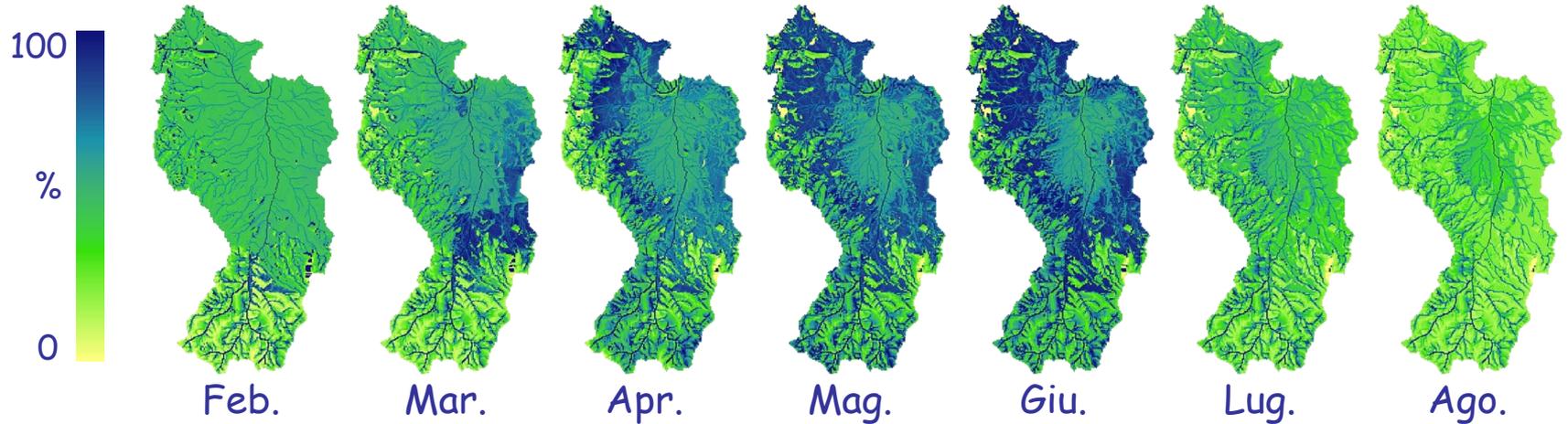
Contro

Difficoltà nella parametrizzazione

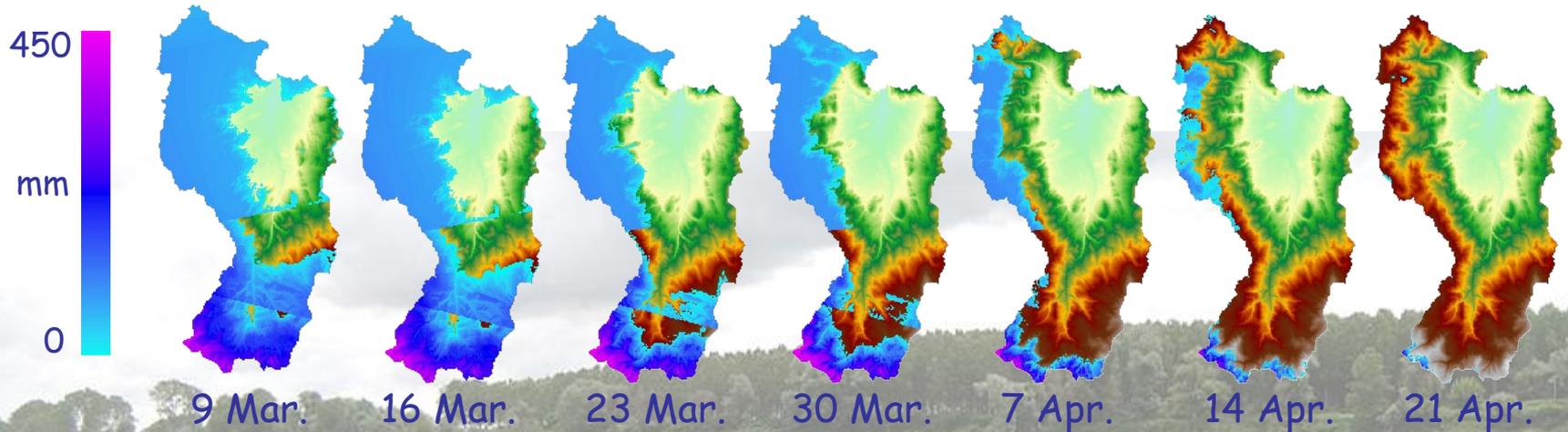
Tempi di calcolo



Percentuale di saturazione del suolo:



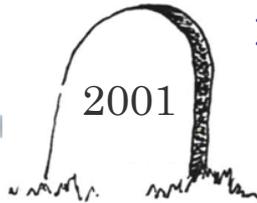
Neve:



MILESTONES

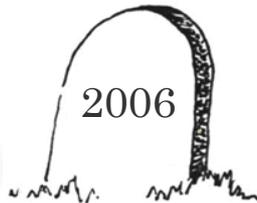


1995 Nascita del modello



1° revisione del modello:

- Risoluzione delle eq. differenziali



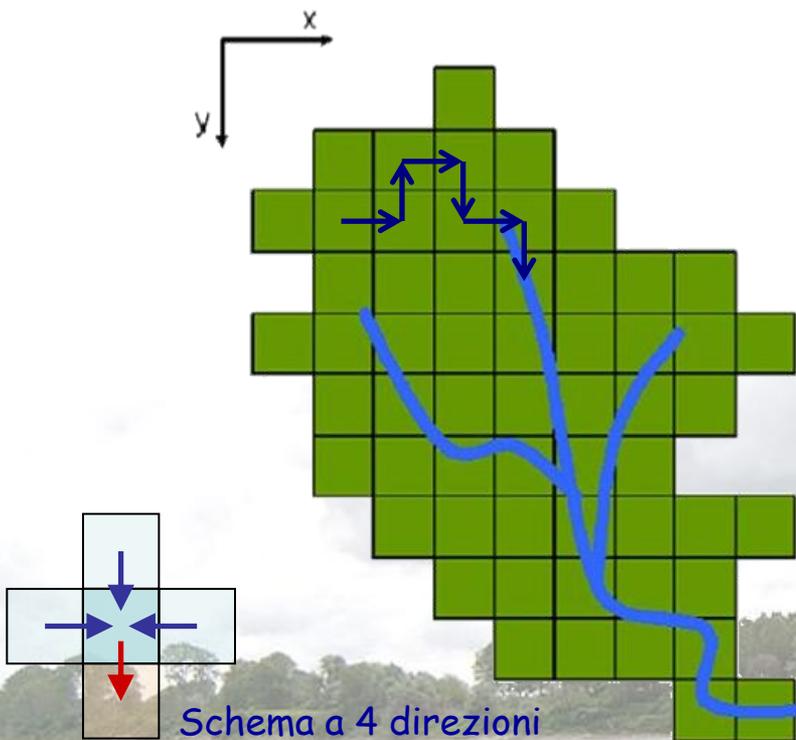
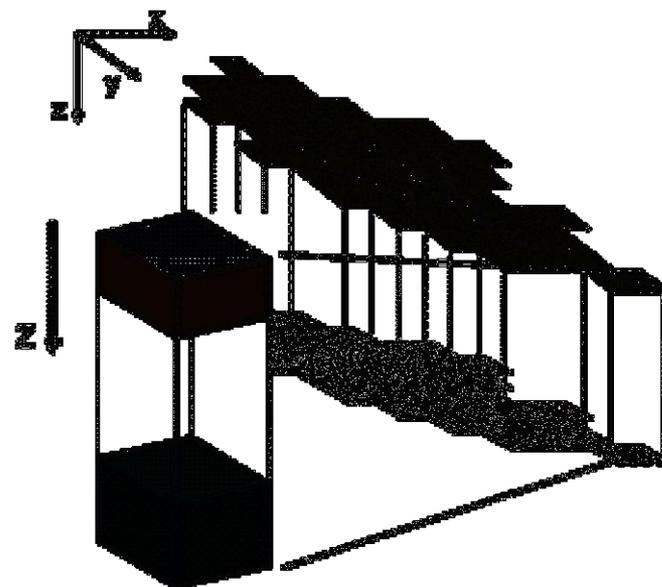
2° revisione del modello

- Riorganizzazione modulare del codice
- Pre-processing
- Drenaggio del suolo
- Risoluzione eqz. Differenziali
- Propagazione parabolica (Muskingum-Cunge)
- Neve
- Serbatoio / Lago
- Interfaccia grafica



Il TOPKAPI accoppia l'approccio cinematico alla topografia del bacino.

Sulla base del DEM il modello suddivide il dominio di applicazione in celle quadrate la cui dimensione solitamente varia in funzione delle dimensioni complessive del bacino. Ciascuna cella rappresenta per il modello un nodo di calcolo per il bilancio della massa e del momento.



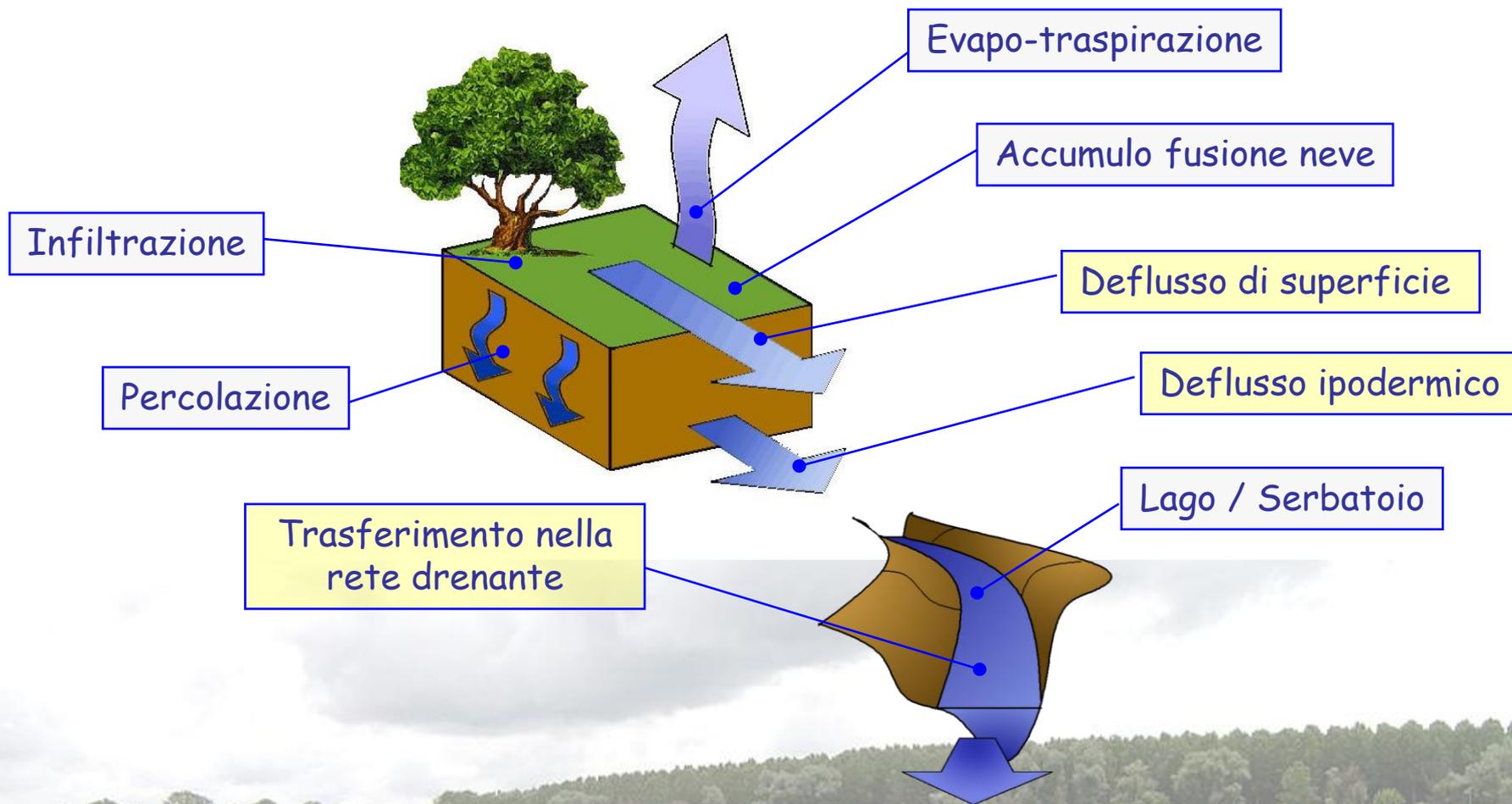
Le pendenze e i percorsi della rete drenante vengono valutati dal DEM in modo che ciascuna cella del bacino sia connessa alle quattro più vicine in direzione N-S e E-W, delle quali solo una può essere la cella di uscita.

Il TOPKAPI deriva dall'ipotesi che in un punto il deflusso nella zona insatura del suolo, sulla superficie e nella rete drenante possa essere approssimato con il modello di un'onda cinematica.



Le componenti principali del modello vengono schematizzate con le equazioni di tre serbatoi non lineari zero dimensionali strutturalmente simili che derivano dalla integrazione nello spazio del modello di onda cinematica.

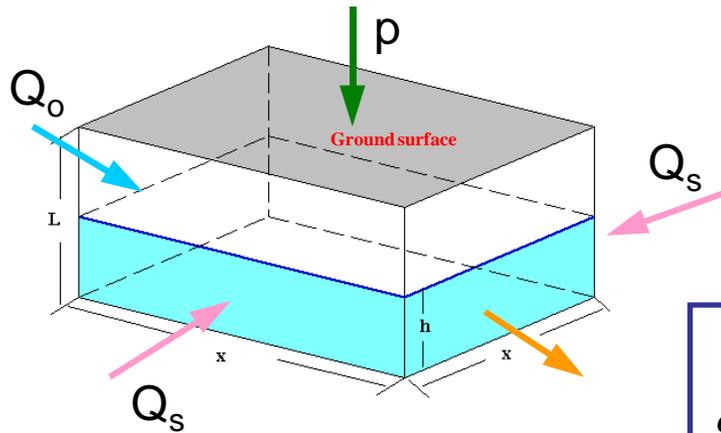
I COMPONENTI DEL MODELLO



LE IPOTESI DEL MODELLO

1. L'intensità di precipitazione è costante sul dominio di integrazione (singola cella).
2. L'intera quantità di precipitazione che cade al suolo su una cella si infiltra, a meno che il suolo della cella non sia già saturo (Dunne Mechanism, **saturation dal basso**).
3. L'inclinazione della superficie piezometrica è assunta coincidente alla pendenza del piano di campagna (ipotesi fondamentale per l'**approssimazione cinematica** delle equazioni di De Saint Venant).
4. La conduttività idraulica a saturazione è costante con la profondità in uno strato superficiale di terreno ed ha valori molto maggiori di quelli presenti negli strati più profondi del suolo.
5. La trasmissività idraulica è espressa in funzione del contenuto medio d'acqua nel suolo vale a dire dall'integrale del profilo del contenuto d'acqua lungo la direzione verticale.

DEFLUSSO IPODERMICO



$$\left\{ \begin{array}{l} (\vartheta_s - \vartheta_r)L \frac{\partial \tilde{\Theta}}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = p \quad \text{Eq. di continuità} \\ q = \tan(\beta)k_s L \tilde{\Theta}^\alpha \quad \text{Eq. dinamica} \end{array} \right.$$

Eq. del serbatoio non-lineare per il SUOLO

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} = (pX^2 + Q_o^u + Q_s^u) - \frac{C_s X}{X^{2\alpha_s}} V_s^{\alpha_s} \quad C_s = \frac{Lk_s \tan(\beta)}{(\vartheta_s - \vartheta_r)^\alpha L^\alpha}$$

Parametri del suolo:

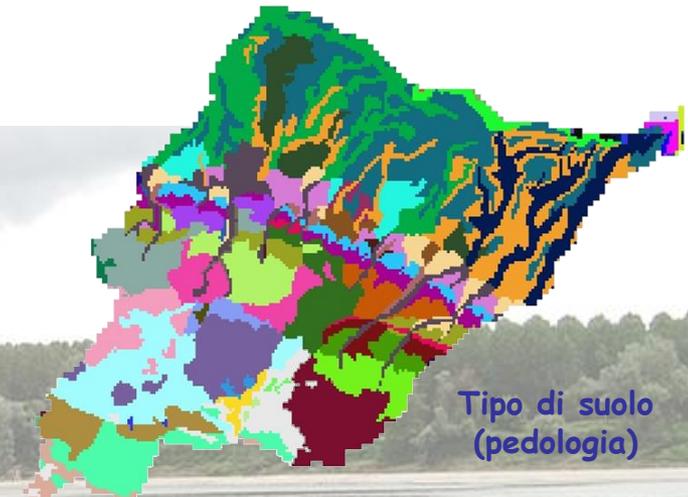
ϑ_r = contenuto di umidità residua

ϑ_s = contenuto di umidità a saturazione

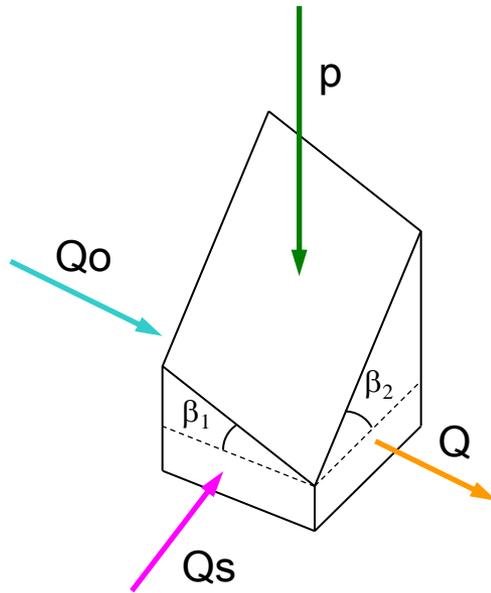
L = spessore dello strato superficiale di suolo [m]

k_{sh} = conduttività idraulica a saturazione (orizzontale) [ms⁻¹]

α_s = parametro dipendente dalle caratteristiche pedologiche del suolo (2,5)



Tipo di suolo (pedologia)



$$q = \tan(\beta_1)k_s L\tilde{\Theta}^\alpha + \tan(\beta_2)k_s L\tilde{\Theta}^\alpha$$

Eq. dinamica

$$q = \tan(\beta_1) \left(1 + \frac{\tan(\beta_2)}{\tan(\beta_1)} \right) k_s L\tilde{\Theta}^\alpha$$

Eq. del serbatoio non-lineare per il SUOLO

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} = (pX^2 + Q_o^u + Q_s^u) - \frac{C_s X}{X^{2\alpha_s}} V_s^{\alpha_s}$$

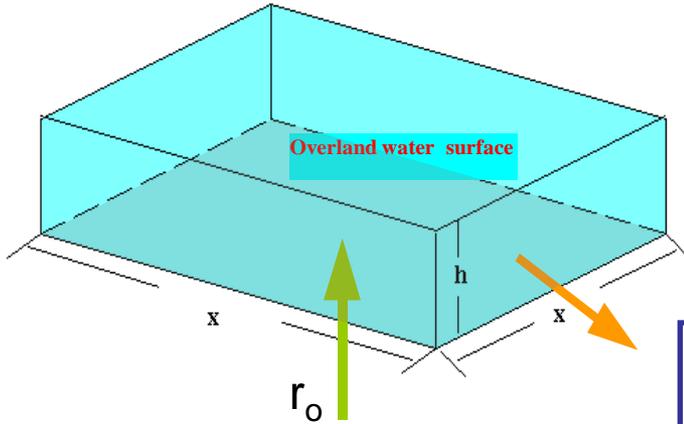
$$C_s = \tan(\beta_1) \left(1 + \frac{\tan(\beta_2)}{\tan(\beta_1)} \right) \frac{Lk_s}{(g_s - g_r)^\alpha L^\alpha}$$

$$\sigma_s = 1 + \frac{\tan(\beta_2)}{\tan(\beta_1)}$$

Coeff. di drenaggio del suolo



DEFUSSO SUPERFICIALE



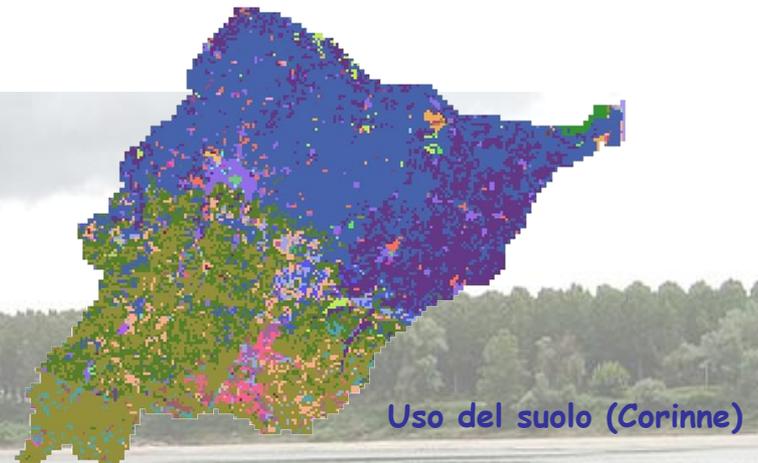
$$\begin{cases} \frac{\partial h_o}{\partial t} = r_o - \frac{\partial q_o}{\partial x} & \text{Eq. di continuit\`a} \\ q_o = \frac{1}{n_o} (\tan \beta)^{\frac{1}{2}} h_o^{\frac{5}{3}} = C_o h_o^{\alpha_o} & \text{Eq. dinamica} \end{cases}$$

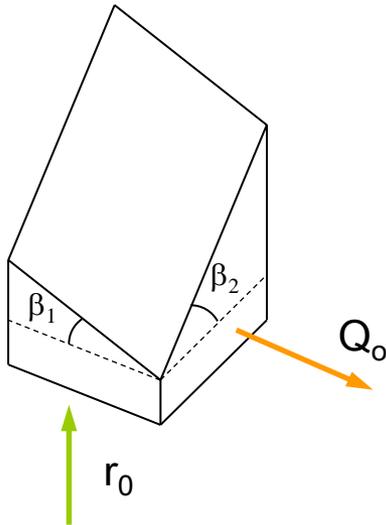
Eq. del serbatoio non-lineare per la SUPERFICIE

$$\frac{\partial (XW_o h_o)}{\partial t} = r_o XW_o - \frac{C_o W_o}{(XW_o)^{\alpha_o}} (XW_o h_o)^{\alpha_o} \quad C_o = \frac{\tan(\beta)^{\frac{1}{2}}}{n_o}$$

Parametri della superficie:

n_o = coefficiente di Manning per la scabrezza della superficie
[$m^{-1/3}s$]





$$q_o = \frac{1}{n_o} (\tan \beta_1)^{\frac{1}{2}} h_o^{\frac{5}{3}} + \frac{1}{n_o} (\tan \beta_2)^{\frac{1}{2}} h_o^{\frac{5}{3}} \quad \text{Eq. dinamica}$$

$$q_o = \frac{1}{n_o} (\tan \beta_1)^{\frac{1}{2}} \left[1 + \left(\frac{\tan \beta_2}{\tan \beta_1} \right)^{\frac{1}{2}} \right] h_o^{\frac{5}{3}}$$

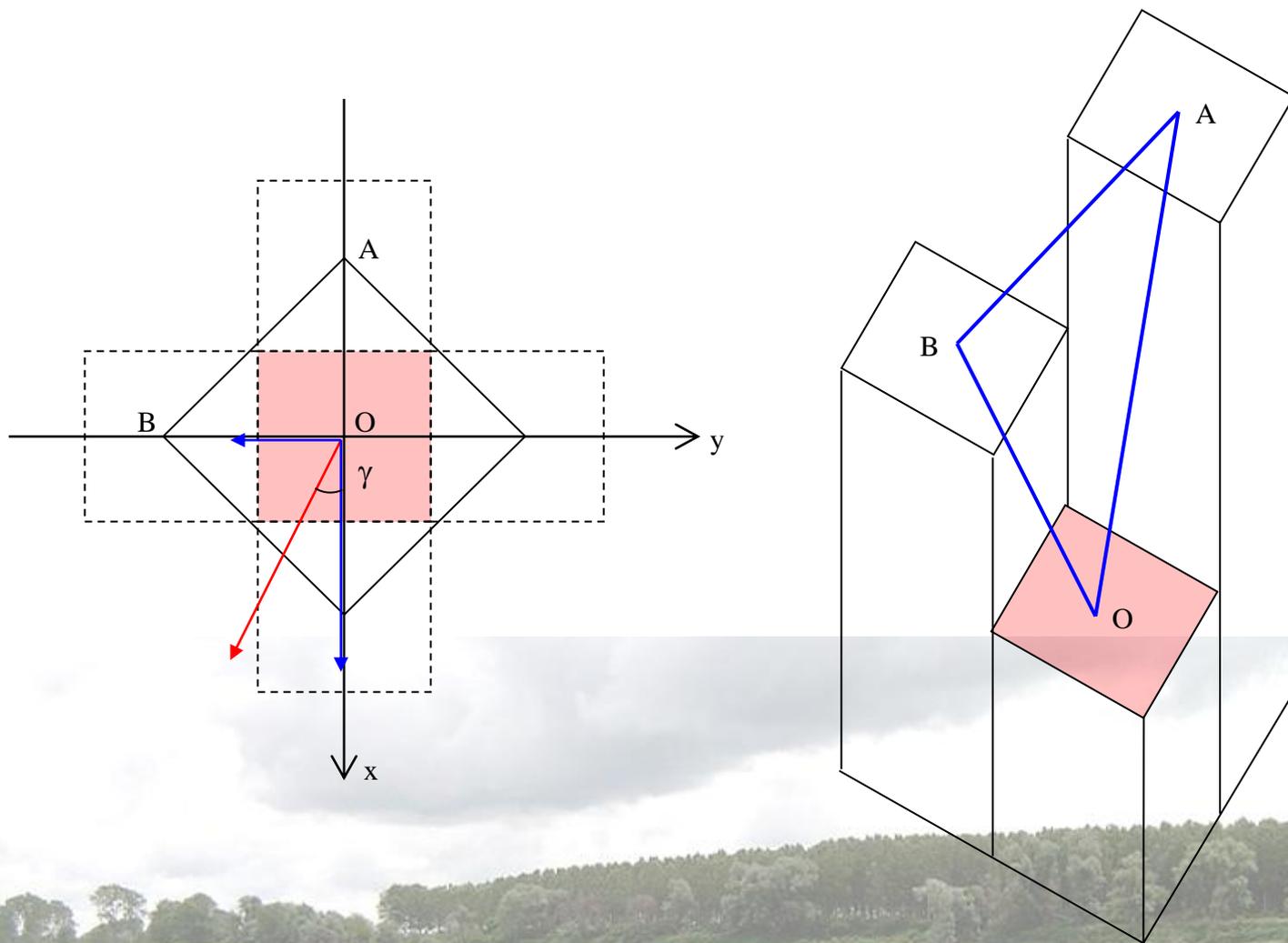
Eq. del serbatoio non-lineare per la SUPERFICIE

$$\frac{\partial(XW_o h_o)}{\partial t} = r_o XW_o - \frac{C_o W_o}{(XW_o)^{\alpha_o}} (XW_o h_o)^{\alpha_o}$$

$$C_o = \frac{1}{n_o} (\tan \beta_1)^{\frac{1}{2}} \left[1 + \left(\frac{\tan \beta_2}{\tan \beta_1} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

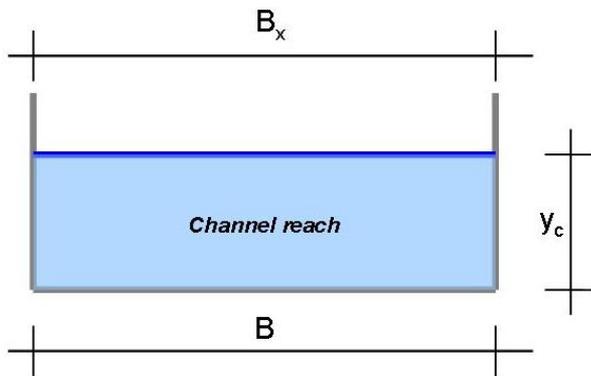
$$\sigma_o = 1 + \left(\frac{\tan(\beta_2)}{\tan(\beta_1)} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Coeff. di drenaggio della superficie}$$

RIPARTIZIONE DEL DEFLUSSO



DEFLUSSO NELLA RETE DRENANTE: ONDA CINEMATICA

Sezione RETTANGOLARE



$$\begin{cases} \frac{\partial V_c}{\partial t} = (r_c + Q_c^u) - q_c & \text{Eq. di continuit\`a} \\ q_c = \frac{1}{n_c} \sqrt{s_0} \left(\frac{A_x}{C_x} \right)^{2/3} B_x y_c^{5/3} & \text{Eq. dinamica} \end{cases}$$

Eq. del serbatoio non-lineare per il CANALE

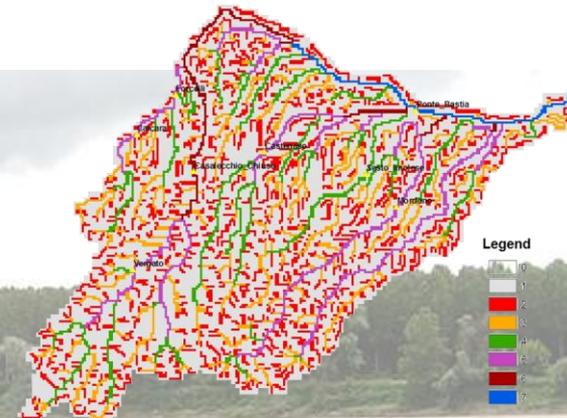
$$\frac{\partial V_c}{\partial t} = (r_c + Q_c^u) - \frac{\sqrt{s_0}}{n} \left(\frac{A_x}{C_x} \right)^{2/3} \frac{B^{3/5}}{X^{5/3}} V_c^{5/3}$$

$$\begin{aligned} A_x' &= B \cdot y_{c0} \\ C_x' &= 2y_{c0} + B \end{aligned}$$

Parametri del canale rettangolare:

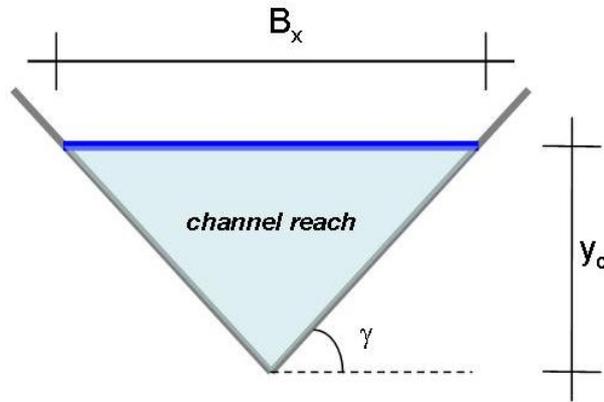
n_c = coefficiente di Manning per la scabrezza del canale [$m^{-1/3}s$]

B = larghezza del canale rettangolare [m]



Ordine di Strahler

Sezione TRIANGOLARE



$$\begin{cases} \frac{\partial V_c}{\partial t} = (r_c + Q_c^u) - q_c & \text{Eq. di continuit\`a} \\ q_c = \frac{\sqrt{s_0}}{2^{2/3} n_c} \frac{\text{sen } \gamma^{2/3}}{\tan \gamma^{5/3}} y_c^{8/3} & \text{Eq. dinamica} \end{cases}$$

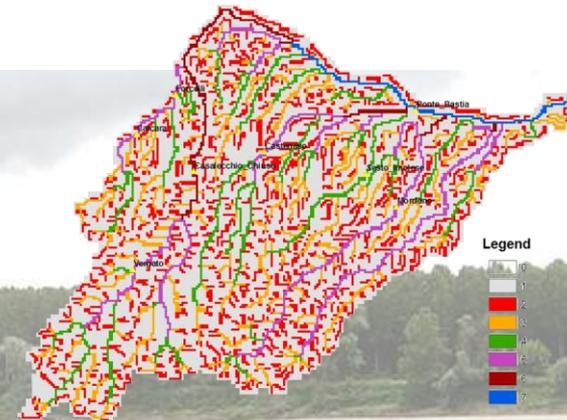
Eq. del serbatoio non-lineare per il CANALE

$$\frac{\partial V_c}{\partial t} = (r_c + Q_c^u) - \frac{\sqrt{s_0} (\text{sen } \gamma)^{2/3}}{2^{2/3} n (\tan \gamma)^{1/3} X^{4/3}} V_c^{4/3}$$

Parametri del canale triangolare:

n_c = coefficiente di Manning per la scabrezza del canale [$m^{-1/3}s$]

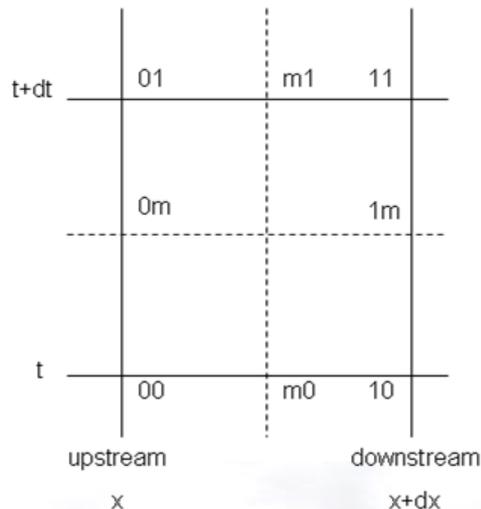
γ = pendenza delle pareti del canale triangolare [m]



Ordine di Strahler

DEFLUSSO NELLA RETE DRENANTE: MUSKINGUM-CUNGE

All'interno del modello TOPKAPI è possibile utilizzare il metodo di propagazione Muskingum-Cunge (modificato) come alternativa al serbatoio non-lineare per i canali con pendenza minore di 0,001.



$$q_{11} = c_1 \cdot q_{01} + c_2 \cdot q_{00} + c_3 \cdot q_{10}$$

$$c_1 = (-1 + C_{m1} + D_{m1}) / den$$

$$c_2 = \frac{C_{m1}}{C_{m0}} (1 + C_{m0} - D_{m0}) / den$$

$$c_3 = \frac{C_{m1}}{C_{m0}} (1 - C_{m0} + D_{m0}) / den$$

$$c_4 = 2C_{m0} / den$$

$$den = 1 + C_{m1} + D_{m1}$$

$$C_m = \frac{ck \cdot dt}{dx \cdot \beta}$$

$$D_m = \frac{qm}{slp \cdot ck \cdot B_x \cdot dx \cdot \beta}$$

$$\beta = \frac{ck}{qm \cdot A_x}$$

EVAPO-TRASPIRAZIONE

Nel modello TOPKAPI si tiene conto del fenomeno dell'evapo-traspirazione come *perdita d'acqua*, sottratta al bilancio idrico del suolo.

L'evapo-traspirazione potenziale viene calcolata sulla base di un'equazione semplificata nota con il nome di **metodo della radiazione**. Essa trae origine dall'equazione di Penman-Monteith con l'introduzione di alcune semplificazioni che consistono essenzialmente nel trascurare gli effetti della tensione di vapore e della velocità del vento.

$$ET_{0m} = \alpha + \beta NW_{ta} T_m \quad (\text{Doorembos et al., 1984})$$

Evapo-traspirato medio mensile (per esempio utilizzando Thornthwaite):

$$ET_{0m}(i) = 16a(i) \left[10 \frac{T(i)}{b} \right]^c$$

$$a(i) = \frac{n(i)}{30} \frac{N(i)}{12} \quad b = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{T(i)}{5} \right]^{1.514} \quad c = 0.49239 + 1792 \times 10^{-5} b - 771 \times 10^{-7} b^2 + 675 \times 10^{-9} b^3$$

Calcolata l'evapo-traspirazione potenziale media mensile e ricavati i coefficienti α e β della regressione lineare (sulla base di dati medi mensili), è possibile utilizzarli per ottenere la stima dell'evapo-traspirazione potenziale per una specifica coltura in un periodo di tempo Δt secondo la formula seguente:

$$ET_0 = K_c (\alpha + \beta NW_{ta} T_{\Delta t}) \frac{\Delta t}{30 \cdot 24 \cdot 3600} \quad \text{Evapo-traspirazione potenziale}$$

$$ETa = ET_0 \frac{V}{\beta V_{sat}} \quad V \leq \beta V_{sat}$$

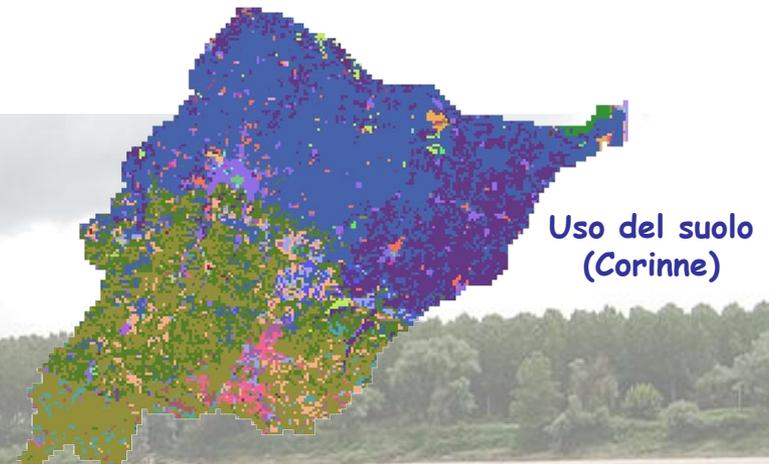
Evapo-traspirazione effettiva

$$ETa = ET_0 \quad V > \beta V_{sat}$$

Parametri dell'evapo-traspirazione:

K_c = fattore colturale (*crop factor*)

β = percentuale del volume di saturazione



FORMAZIONE E SCIoglIMENTO DELLA NEVE

Il modello TOPKAPI stima per ogni cella di calcolo la formazione e lo scioglimento della neve utilizzando un algoritmo che si basa sul bilancio energetico in termini di calorie a livello del manto nevoso e sul bilancio di massa del manto nevoso stesso.

1. Stima della radiazione netta al suolo sulla cella del DEM;

$$Rad = \lambda ET + H$$

Radiazione solare netta
Flusso di calore latente
Calore sensibile

Il flusso di calore latente può essere ottenuto riconvertendo in radiazione il valore di evapo-traspirazione potenziale:

$$C_{er} = 606.5 - 0.695(T - T_0)$$

$$\lambda ET = C_{er} \cdot ET_0$$

Calore sensibile:

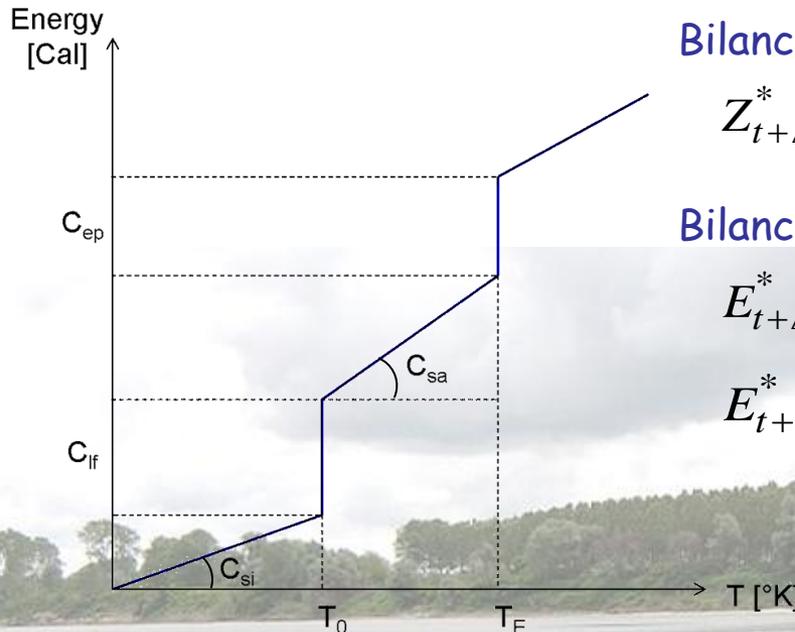
$$H = \lambda ET$$

$$Rad = 2 \cdot [606.5 - 0.695(T - T_0)] \cdot ET_0$$

2. Decisione se la precipitazione è solida o liquida;

Temperatura di soglia	T_s
$T_{aria} > T_s$	Pioggia
$T_{aria} \leq T_s$	Neve

3. Stima del budget della massa di acqua e dell'energia nell'ipotesi che lo scioglimento della neve sia nullo;



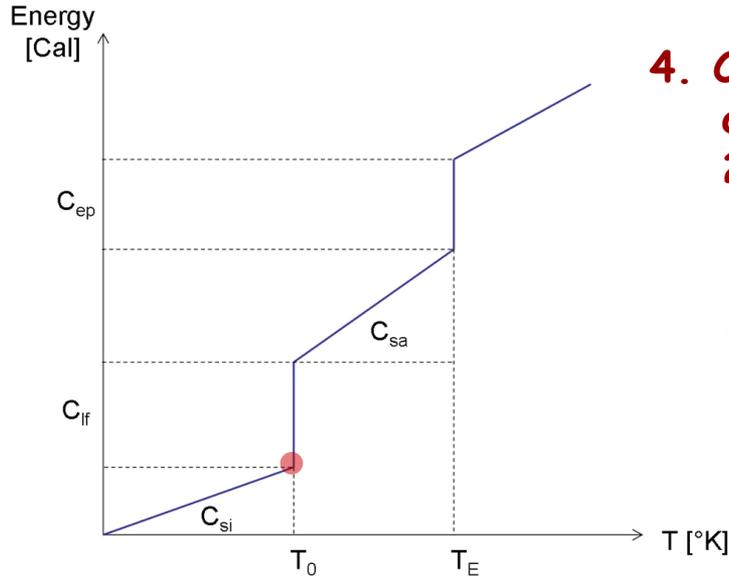
Bilancio della massa d'acqua

$$Z_{t+\Delta t}^* = Z_t + P$$

Bilancio dell'energia:

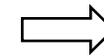
$$E_{t+\Delta t}^* = E_t + Rad + C_{si}TP$$

$$E_{t+\Delta t}^* = E_t + Rad + [C_{si}T_0 + C_{lf} + C_{sa}(T - T_0)]P$$



4. Confronto tra l'energia totale disponibile e quella dell'equivalente massa di ghiaccio a 273°K;

$$C_{si}Z_{t+\Delta t}^*T_0 \geq E_{t+\Delta t}^*$$



$$\begin{cases} R_{sm} = 0 \\ Z_{t+\Delta t} = Z_{t+\Delta t}^* \\ E_{t+\Delta t} = E_{t+\Delta t}^* \end{cases}$$

5. Calcolo dello scioglimento della neve prodotto dall'eccesso di energia e aggiornamento del bilancio della massa d'acqua e del contenuto energetico.

$$C_{si}Z_{t+\Delta t}^*T_0 < E_{t+\Delta t}^*$$

$$C_{si}(Z_{t+\Delta t}^* - R_{sm})T_0 = E_{t+\Delta t}^* - (C_{si}T_0 + C_{lf})R_{sm}$$



$$\begin{cases} R_{sm} = \frac{E_{t+\Delta t}^* - C_{si}T_0Z_{t+\Delta t}^*}{C_{lf}} \\ Z_{t+\Delta t} = Z_{t+\Delta t}^* - R_{sm} \\ E_{t+\Delta t} = E_{t+\Delta t}^* - (C_{si}T_0 + C_{lf})R_{sm} \end{cases}$$

Parametri del modulo neve:

Ts = temperatura di soglia per lo scioglimento della neve

PERCOLAZIONE

Il tasso di percolazione dallo strato superficiale di suolo aumenta in funzione del contenuto d'acqua nel suolo secondo una legge determinata sperimentalmente (*Clapp and Hornberger, 1978; Liu et al., 2005*).

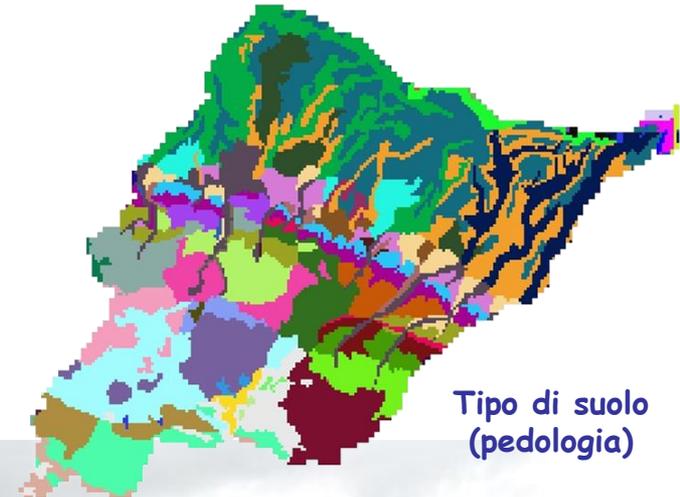
$$P_r = k_{sv} \left(\frac{v}{v_{sat}} \right)^{\alpha_p} \quad \text{Percolazione}$$

$$v_{sat} = (\mathcal{G}_s - \mathcal{G}_r) LX$$

Parametri della percolazione:

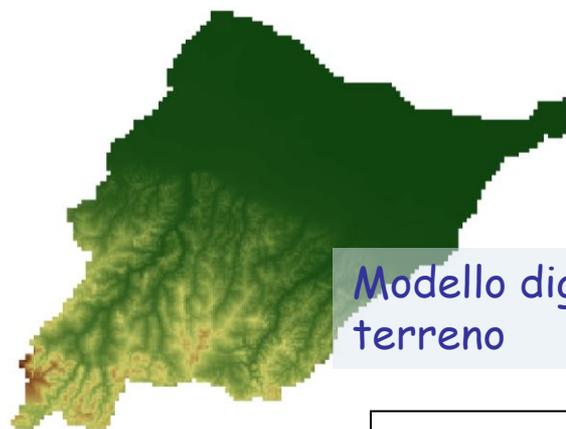
k_{sv} = conduttività idraulica a saturazione (verticale) [ms⁻¹]

α_p = parametro che dipende dalle caratteristiche pedologiche del suolo

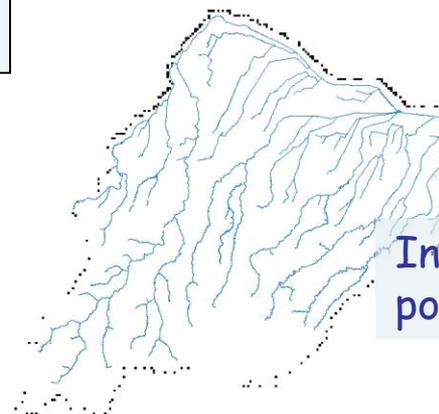
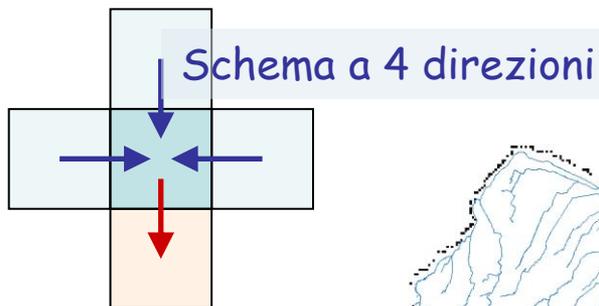


TOPKAPI in pratica...

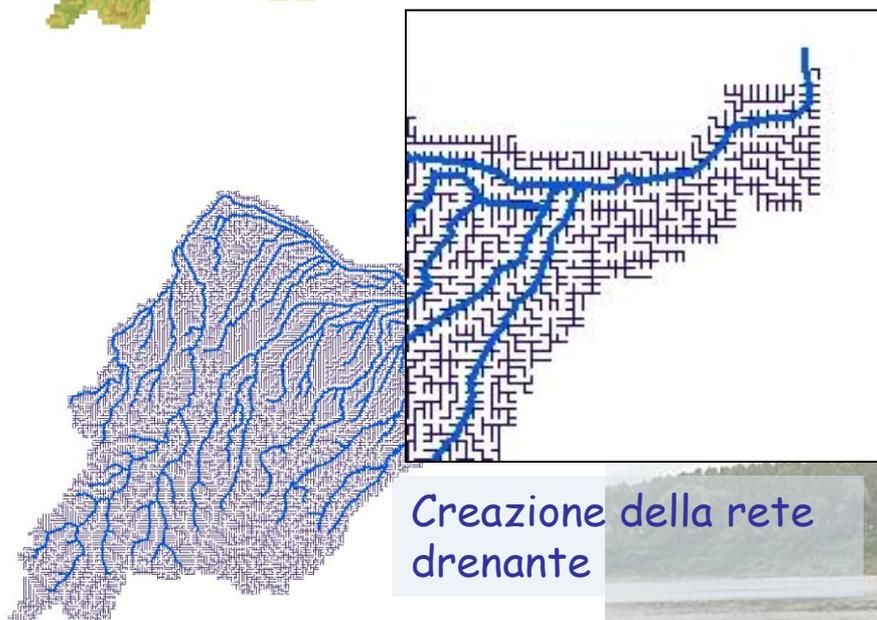
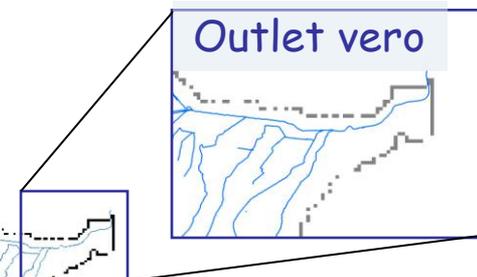
Il trattamento del DEM:



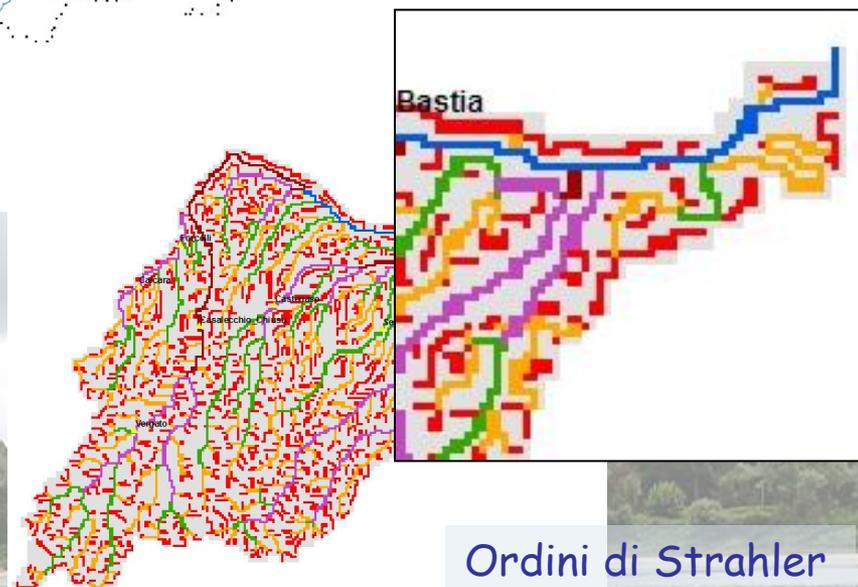
Modello digitale del terreno



Individuazione possibili outlets

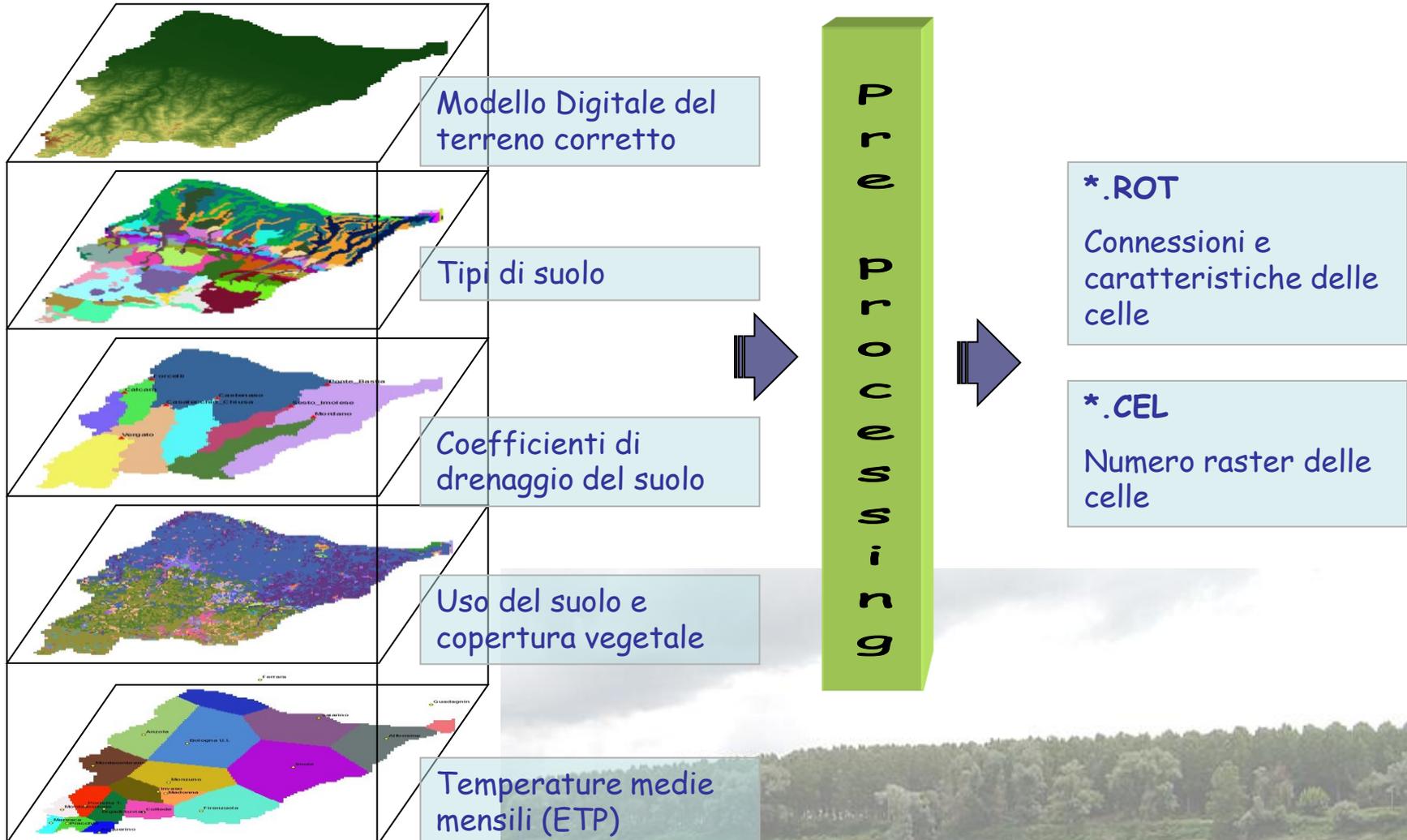


Creazione della rete drenante

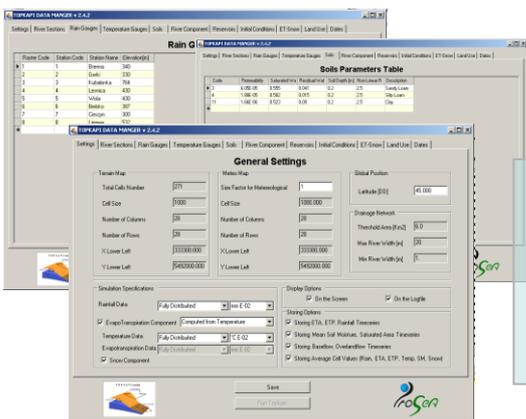


Ordini di Strahler

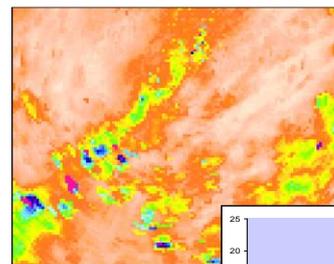
Le mappe di Input:



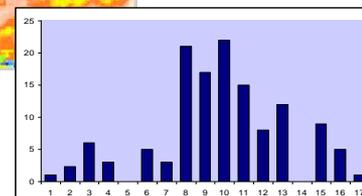
L'interfaccia grafica:



Gestione dei parametri attraverso l'interfaccia grafica (*.TPK)

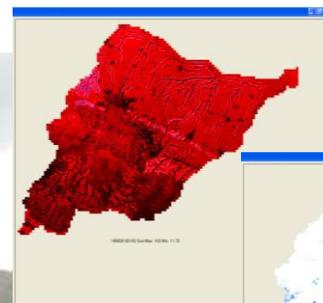
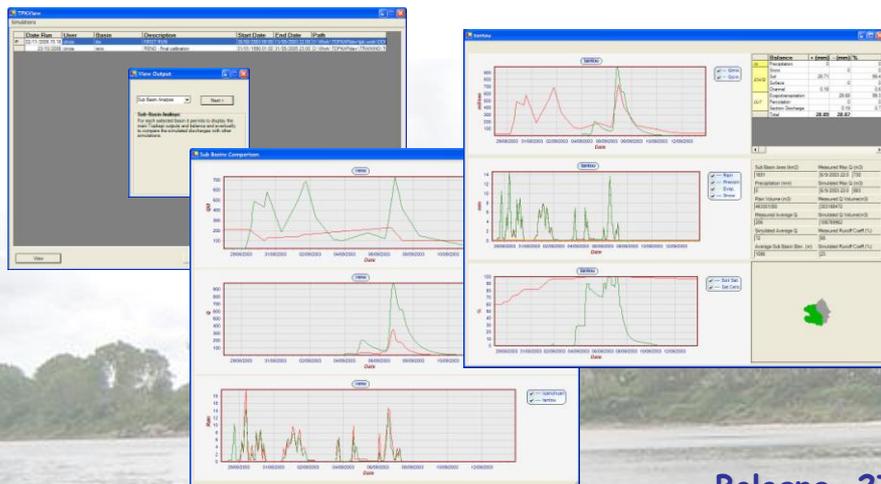


Dati di input (dati puntuali o mappe)

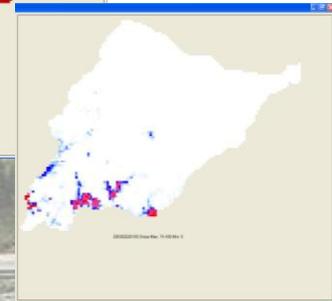


Gestione e visualizzazione dei risultati

TOPKAPI
Distributed Rainfall Runoff model



Mappe output





Dr. Ing. Cinzia Mazzetti

ProGeA Srl

Via Don Bedetti, 20

40129 Bologna

Tel. 051 6389099

E-mail: cinzia.mazzetti@progea.net



Bologna, 27 Aprile 2007