

La simulazione degli afflussi ai laghi alpini ad uso plurimo per la gestione della politica di regolazione

C. Corbari, G. Ravazzani & M. Mancini



**Approvvigionamento e Distribuzione Idrica: Esperienza,
Ricerca ed Innovazione**
Ferrara, 28-29 giugno 2007



OBIETTIVI

Sviluppare un modello idrologico distribuito fisicamente basato per la simulazione in continuo degli afflussi in ingresso al Lago Maggiore

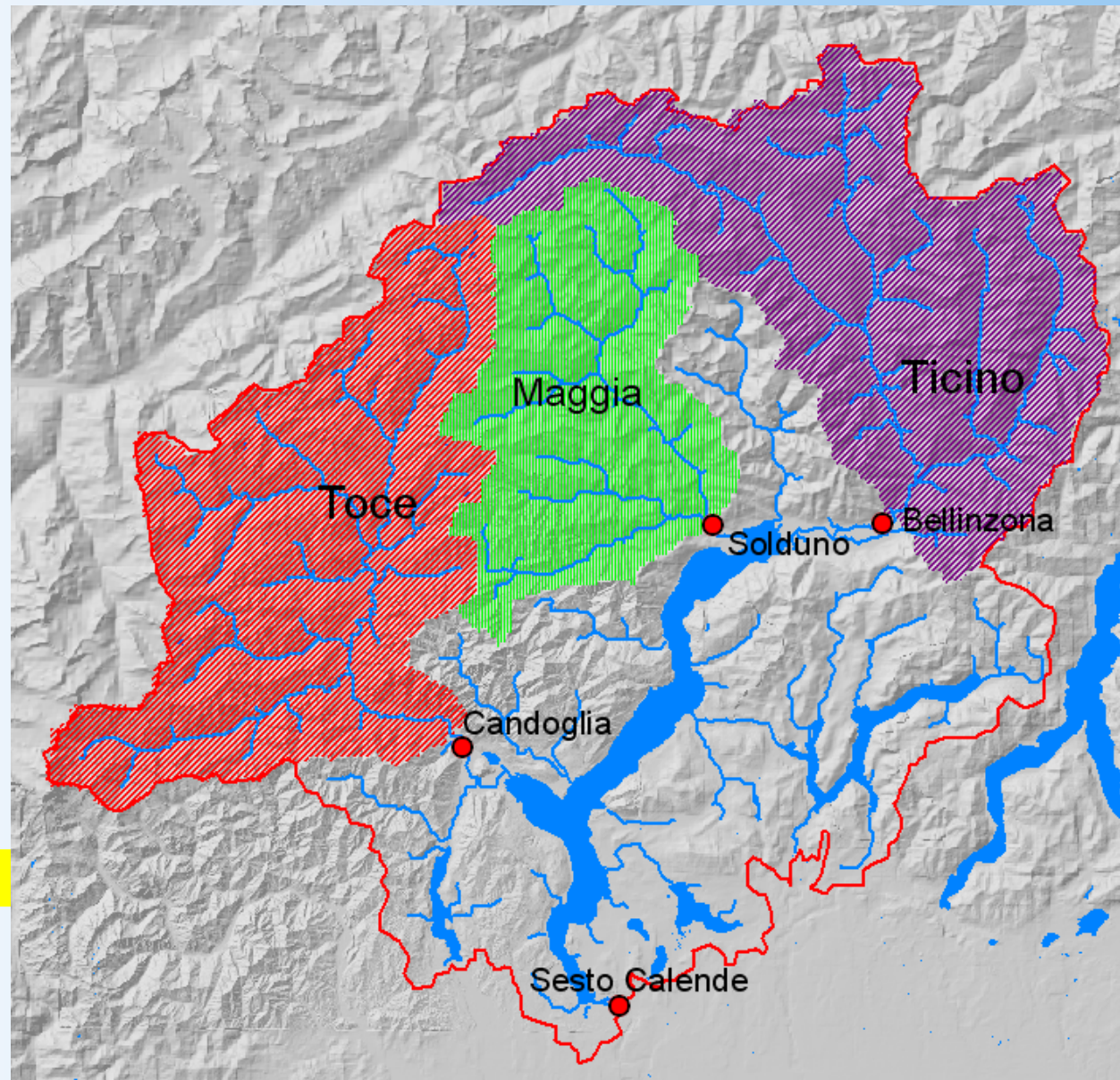
Il modello si inserisce in un progetto più ampio che mira alla costruzione di un sistema di supporto alle decisioni per la scelta della politica di regolazione del lago in tempo reale

Nella fase operativa il modello idrologico riceve in ingresso delle previsioni di precipitazione dall'ARPA Piemonte con un orizzonte temporale di circa 2 giorni.

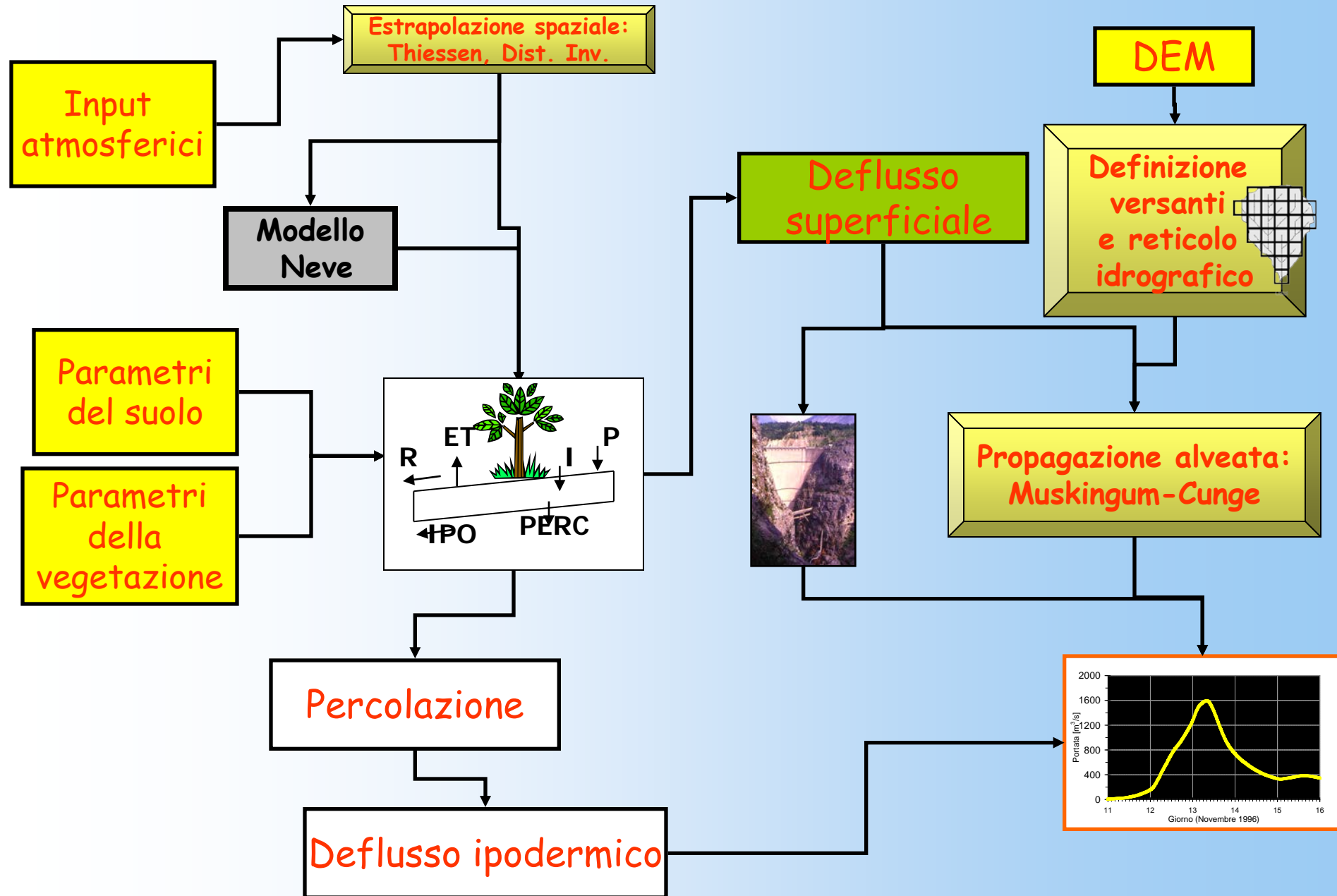
CASO DI STUDIO

AREA BACINI	Km ²
TICINO	1537
TOCE	1544
MAGGIA	902
SOMMA	3983
TOTALE BACINO LAGO MAGGIORE	6598

BACINI PRINCIPALI = 60.4 %



SCHEMA DEL MODELLO DISTRIBUITO



MODELLISTICA DI BILANCIO DEL SUOLO

$$P_{tot} = R + ET_{eff} + PERC + (\theta_{t+1} - \theta_t) * Z$$

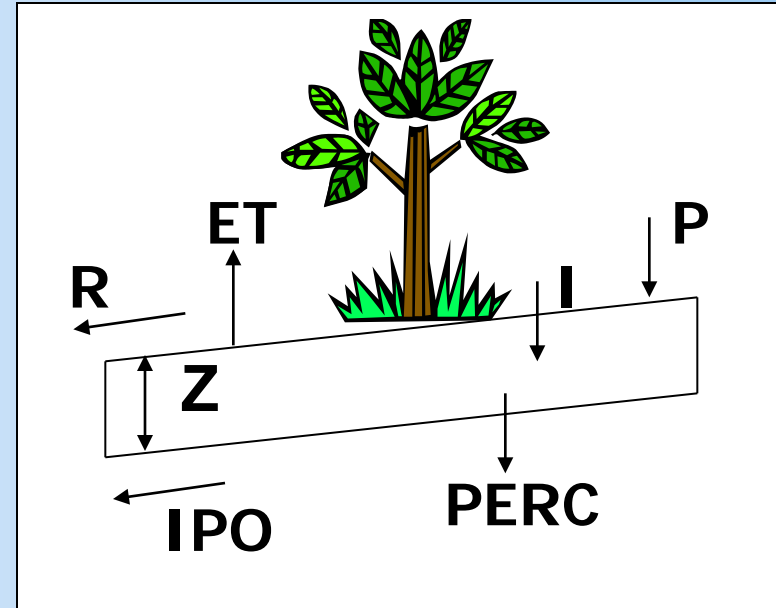
$$\theta_{t+1} = \theta_t + \frac{(I - PERC - ET)}{Z}$$

→ θ aggiornata ogni t

RELAZIONE

$$PERC = K_{sat} \cdot \left(\frac{\theta - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}} \right)^{\left(\frac{2+3 \cdot B}{B} \right)}$$

(Famiglietti e Wood 96)



EVAPOTRASPIRAZIONE →

$$ET_{eff} = ETP \cdot \frac{\theta_{t-1} - WP}{FC - WP}$$

Calcolo l'evapotraspirazione potenziale con
FORMULA EMPIRICA PRIESTLEY TAYLOR

$$ETP = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r$$

Er (Rn)

MODELLISTICA DELL'INFILTRAZIONE

SCS-CN METHOD (1956) CON AGGIORNAMENTO IN CONTINUO DELL'UMIDITA' DEL SUOLO

$$I = P_{TOT} - R$$

$$Ia = 0,2 S$$

$$R = \frac{(P_{TOT} - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

P_{TOT} = precipitazione piovosa

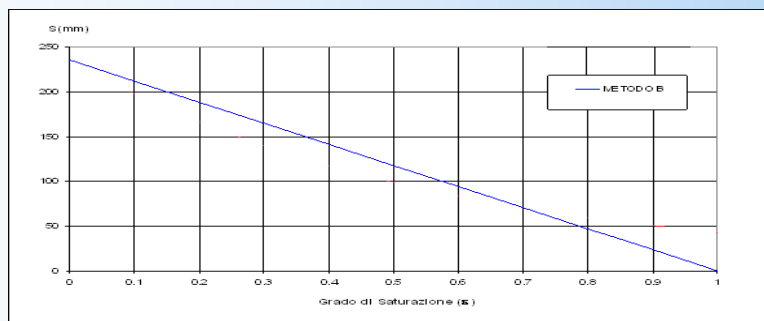
R = deflusso superficiale

Ia = perdite iniziali

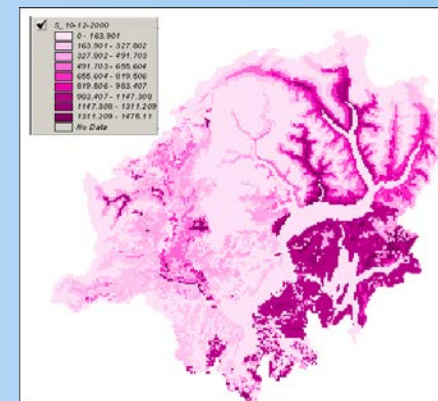
S è una funzione lineare del grado di saturazione (ε)

$$\varepsilon_t = \frac{\theta_t - \theta_{res}}{\theta_{sat} - \theta_{res}}$$

$$S_t = S_1 \cdot (1 - \varepsilon_t)$$



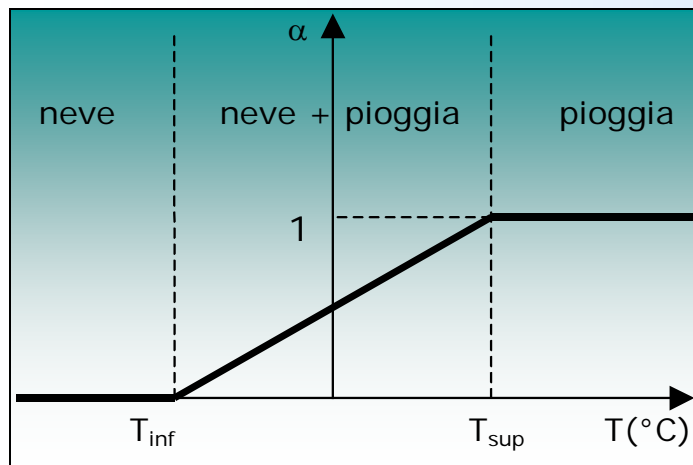
S mappa all'inizio di un evento



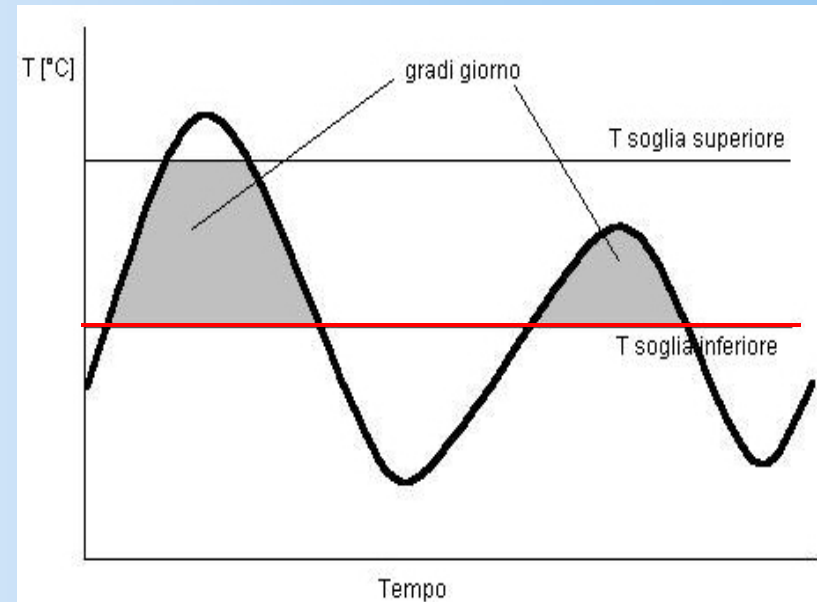
MODELLISTICA DELLA DINAMICA DELLA NEVE

ACCUMULO DELLA NEVE

$$\left\{ \begin{array}{ll} \alpha = 0 & \Leftrightarrow T_a \leq T_{\text{inf}} \\ \alpha = \frac{T_{\text{air}}(t) - T_{\text{inf}}}{T_{\text{sup}} - T_{\text{inf}}} & \Leftrightarrow T_{\text{inf}} < T_a < T_{\text{sup}} \\ \alpha = 1 & \Leftrightarrow T_a > T_{\text{sup}} \end{array} \right.$$



FUSIONE: MODELLO DEGREE DAY



$$SnowMelt = C_m (T_a - T_b)$$

T_a = temperatura dell'aria

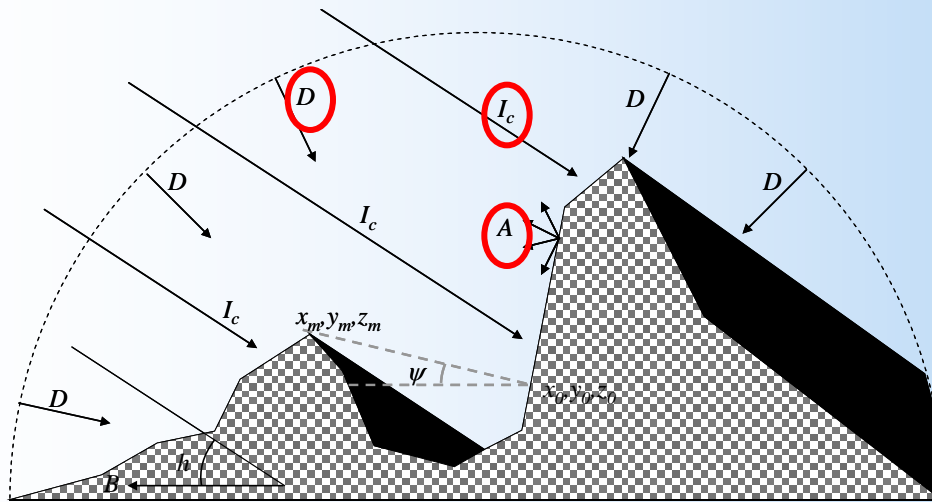
T_b = temperatura di soglia

C_m = coefficiente di fusione [m/(sec*°C)]

INTERPOLAZIONE DELLA RADIAZIONE INCIDENTE A ONDE CORTE

Le componenti della radiazione incidente ad onde corte in una regione montana per condizioni di cielo sereno:

- diretta I_c
- diffusa D
- riflessa dal terreno circostante A

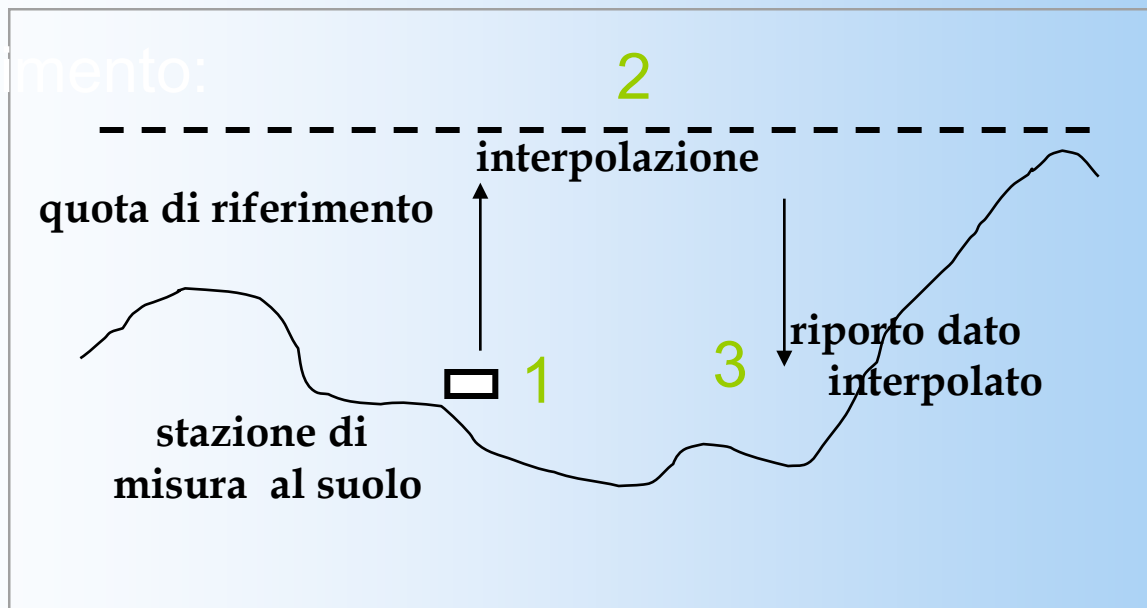


Considerando:

- Pendenza
- orientamento dei versanti
- nuvolosità
- ombreggiamento

INTERPOLAZIONE DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA

Procedimento:



- (1) trasporto delle misure ad una stessa quota di riferimento tenendo conto di un gradiente termico costante ($-0.0065 \text{ } ^\circ\text{Cm}^{-1}$)
- (2) distribuzione spaziale del dato puntuale sul piano di riferimento
- (3) riporto al suolo i dati di temperatura di ogni cella di calcolo sempre mantenendo il gradiente termico costante.

Inconveniente: vengono trascurati i fenomeni di inversione termica.

SCHEMATIZZAZIONE DEGLI INVASI

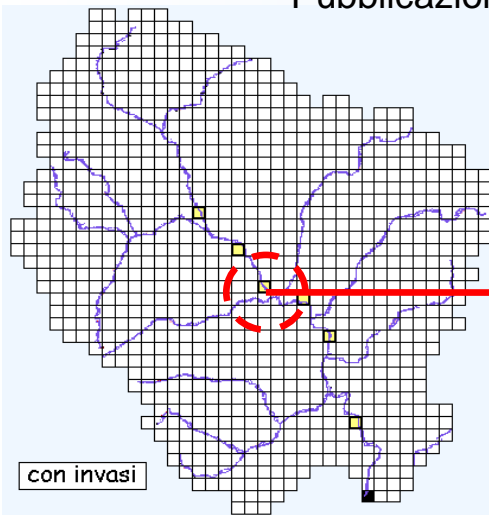
h (m)	Q (mc/s)	Δh (m)
1,00	450	0.025
2,00	880	0.085
3,00	1440	0.170
4,00	2100	0.260

Idrometri:
Arona, Pallanza,
Locarno, Sesto
Calende

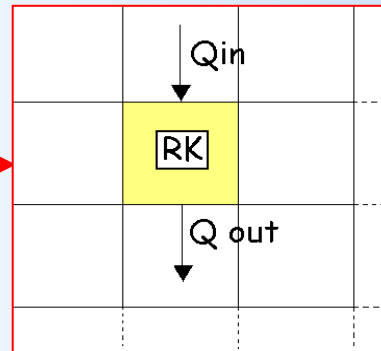
Pubblicazione 7 Consorzio del ticino (1973)

“Le piene del lago Maggiore e del Ticino emissario nel primo trentennio di regolazione”

Duilio Citrini



con invasi

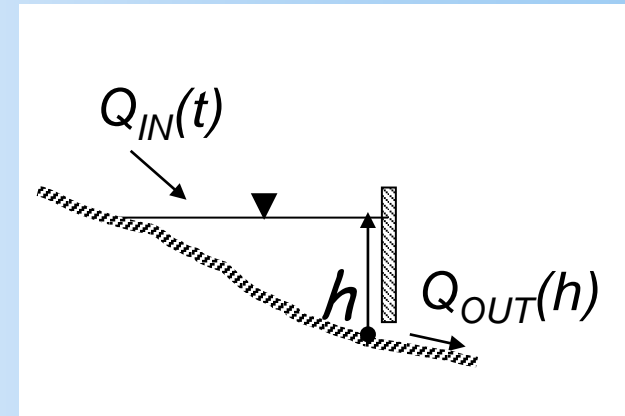


Eq. di
continuità

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dV(t)}{dt}$$

Legge di
efflusso

$$Q_u(t) = Q_u(t, V(t))$$

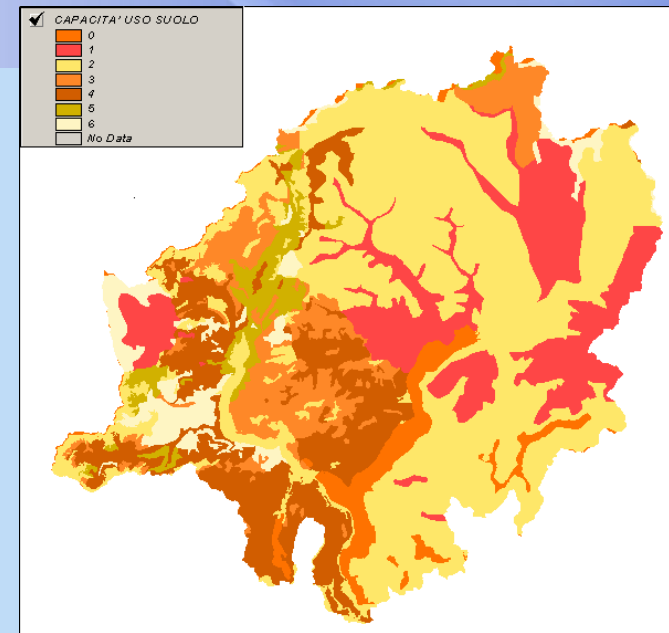


L'integrazione numerica avviene tramite il metodo di Runge-Kutta del terzo o quarto ordine

I PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO

Cartografia digitale disponibile:

- DEM con risoluzione di 50*50 m
- Mappe CORINE di copertura del suolo: parte italiana (2000) in formato vettoriale e parte svizzera (1990) in formato raster
- Classificazione pedologica per i suoli in formato vettoriale.



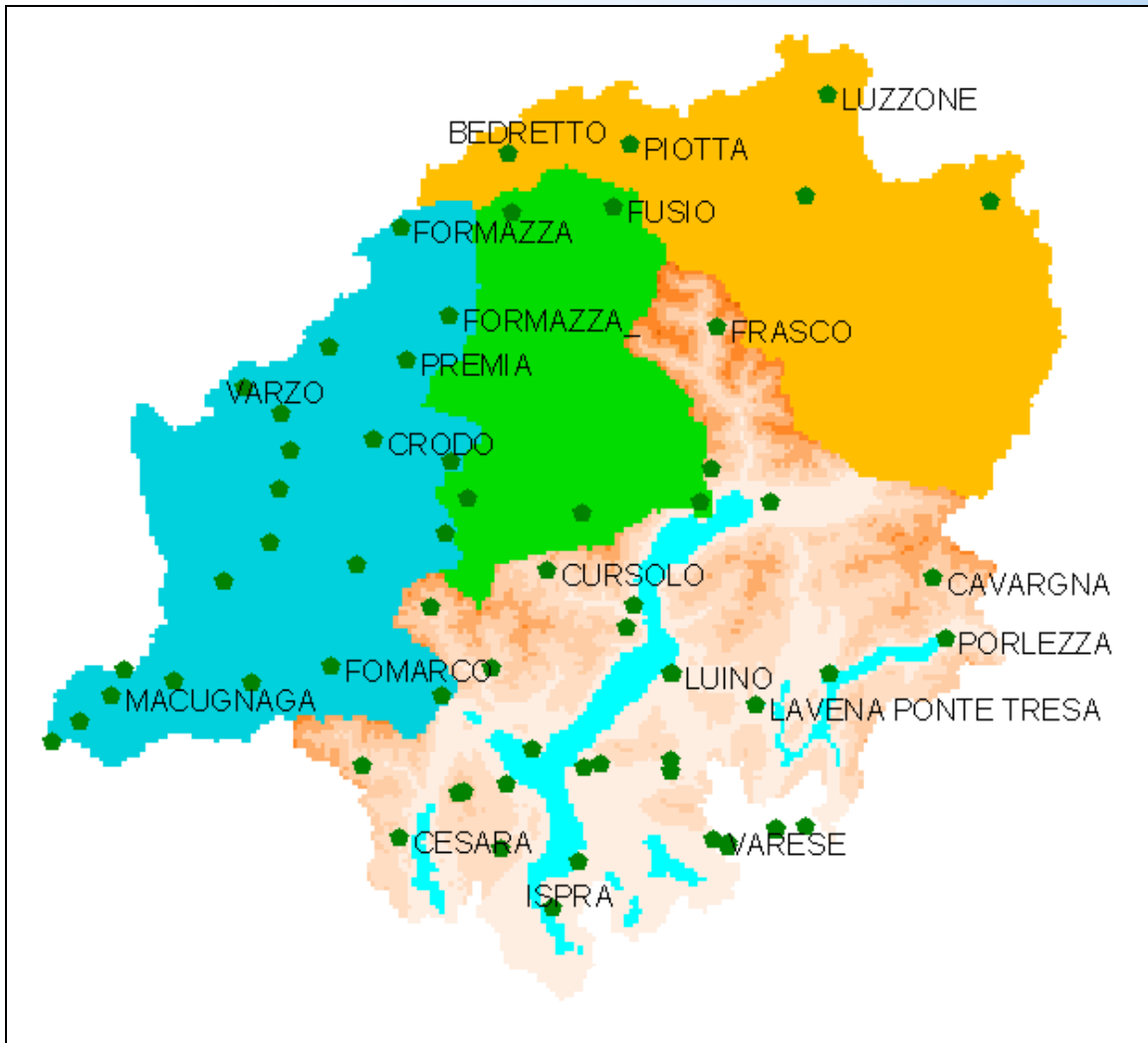
Da queste mappe sono stati ricavati i diversi parametri necessari al modello

- CN
- Teta-r, Teta-s
- Ksat
- Profondità del suolo attivo
- Wilting point
- Field capacity
- Indice di Brooks-Corey
- Aree contribuenti e Puntatori
- Pendenza e Esposizione dei versanti
- Albedo

	K (m/s)	sat	bubbling pressure (m)	teta res	teta sat	B brooks-corey	wilting point WP	field capacity
sand	6.9444E-0.5		0.07260	0.015	0.437	0.694	0.033	0.901
loamy sand	1.3889E-0.5		0.08690	0.02	0.437	0.553	0.055	0.125
silt loam	1.3889E-0.6		0.20760	0.035	0.501	0.234	0.133	0.33
silty clay loam	4.1667E-0.7		0.32560	0.04	0.471	0.117	0.208	0.366
silty clay	2.2222E-0.7		0.34190	0.056	0.479	0.15	0.25	0.387
clay	1.1111E-0.7		0.37300	0.09	0.475	0.165	0.272	0.396

DATI IDRO-METEOROLOGICI

Dal 1 gennaio 2000 al 31 dicembre 2003 con cadenza oraria o sub-oraria.



Distribuzione sul territorio delle stazioni meteo:

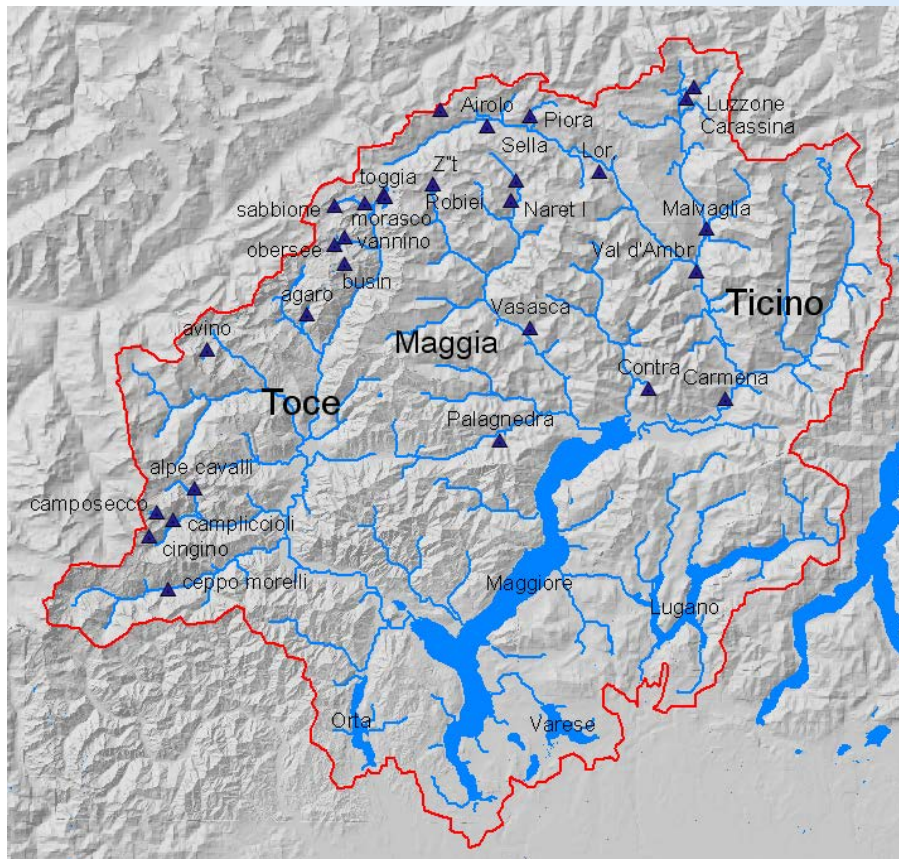
- pluviometri (56)
- temperatura (41)
- radiazione solare diretta totale
- umidità relativa aria
- portate

Sistema di monitoraggio della Regione Piemonte, della Regione Lombardia e della Svizzera.

GLI INVASI ARTIFICIALI

$$\frac{V_{\text{DIGHE}}}{V_{\text{EVENTO 2002}}} = 0.2$$

	VOLUMI DIGHE (m ³)
TICINO	3.07+08
TOCE	1.51+08
MAGGIA	1.68+08
TOTALE DIGHE	6.26+08
EVENTO DAL 12-11 AL 3-12 2002	2.84+09



se si considera il volume effettivamente reso disponibile per l'invaso dei volumi di piena, questa percentuale potrebbe scendere considerevolmente. Infatti, ai fini di sfruttare al meglio gli invasi per la produzione di energia elettrica, il livello degli invasi viene mantenuto, se possibile, prossimo al massimo livello concesso.

Si è ritenuto trascurabile l'effetto degli invasi artificiali sulla simulazione dei deflussi.

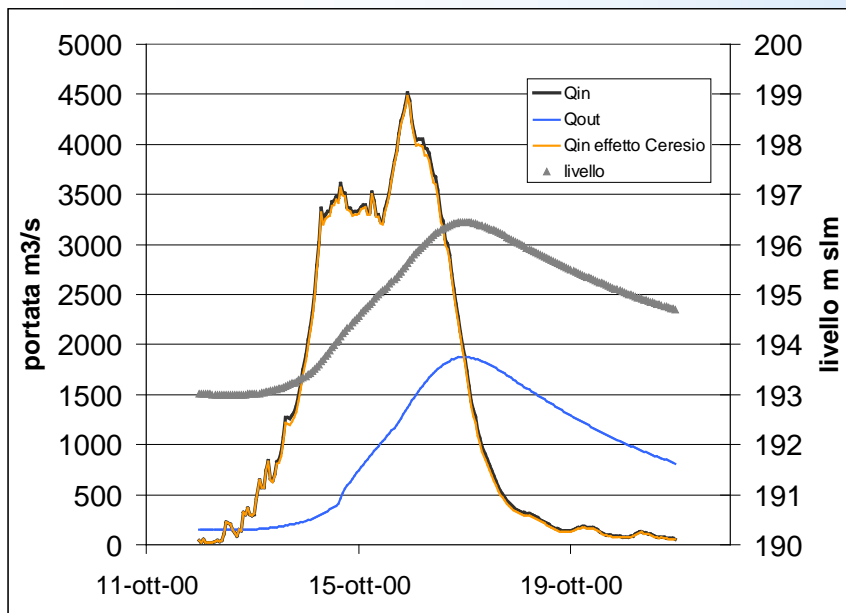
IL LAGO DI LUGANO

- **Condizioni ordinarie:** la regola di gestione prevede il mantenimento di un livello costante, regolando l'apertura delle paratoie in modo che la portata uscente eguagli quella in ingresso.



Il lago non risulta un elemento di perturbazione del deflusso superficiale e pertanto può essere trascurato.

Tra i laghi naturali 7 presentano un'estensione superiore a 1 km²: Lugano, Orta, Varese, Mergozzo, Comabbio, Monate, Biandronno



- **Condizioni di piena:** la paratoia viene abbassata così da permettere il libero deflusso della portata



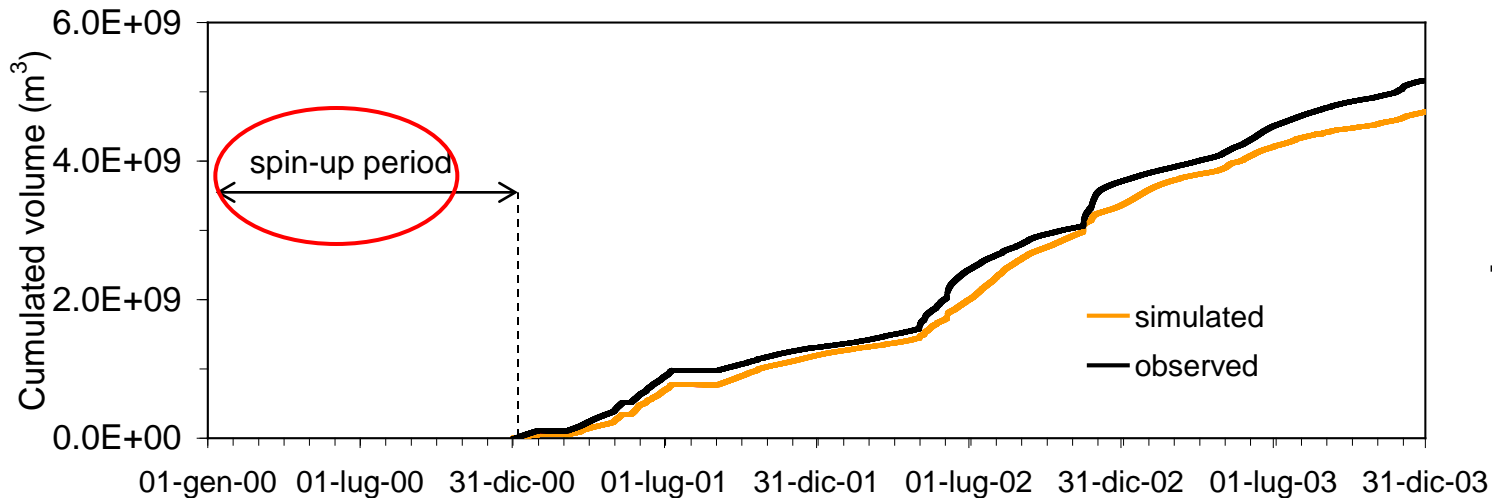
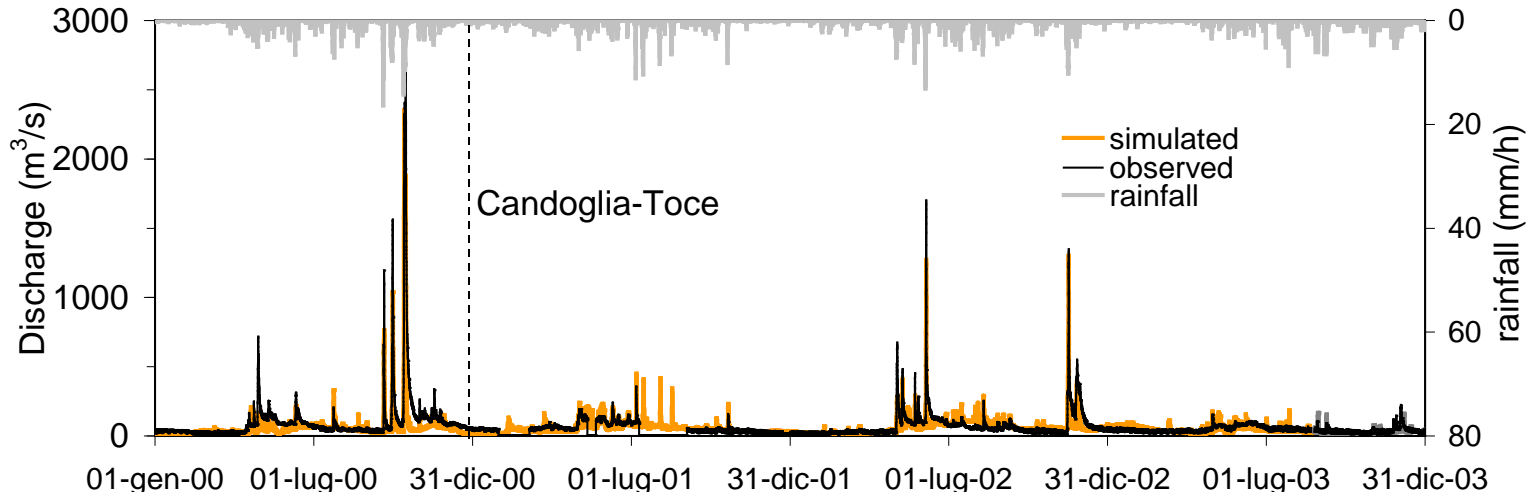
Il lago può essere trascurato.

LA SIMULAZIONE DEI DEFLUSSI: sezione di Candoglia

Simulazione in continuo con passo temporale di un'ora dal 1 Gennaio 2000 al 31 Dicembre 2003.

RMSE 49.43 m³/s
NASH 0.71

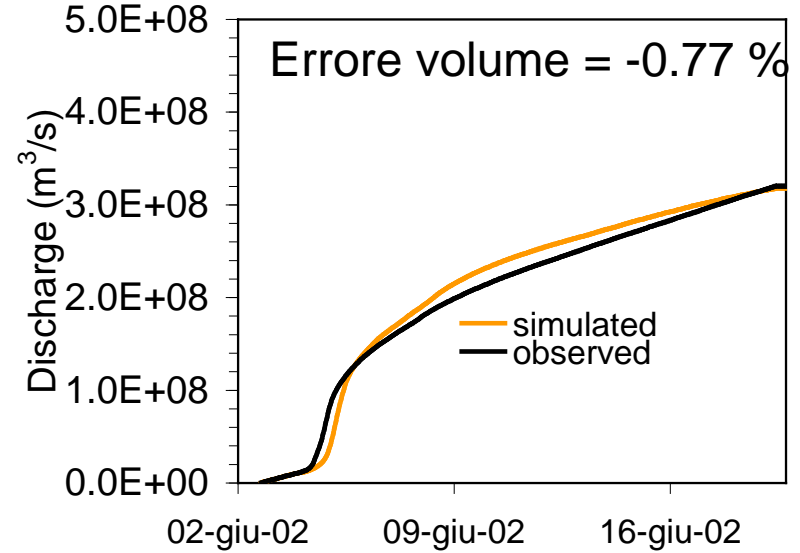
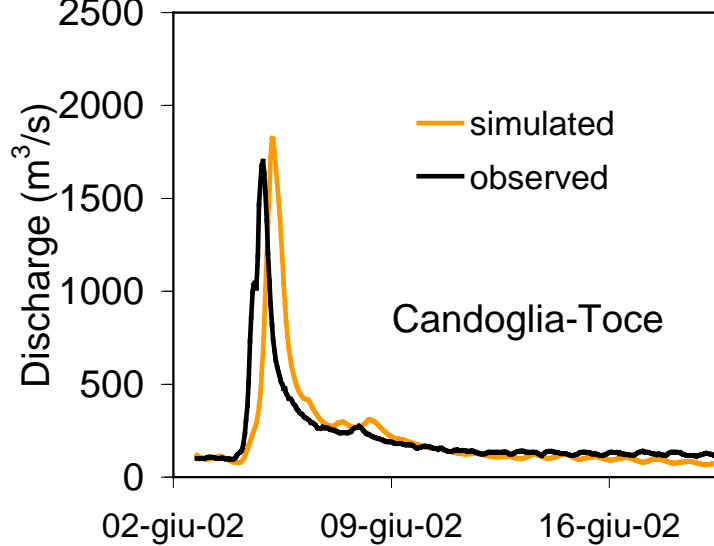
$$\eta = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{n_t} (Q_{m,j} - Q_{o,j})^2}{\sum_{j=1}^{n_t} (Q_{o,j} - \bar{Q}_o)^2}$$



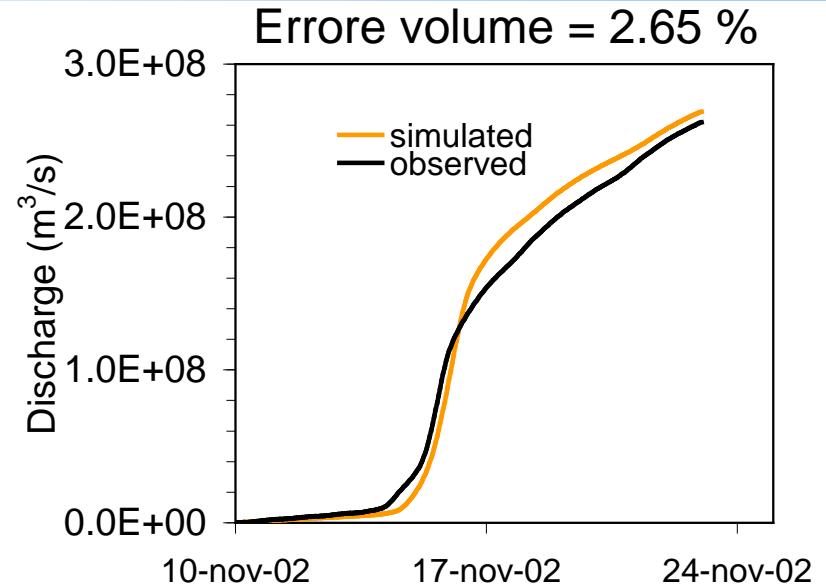
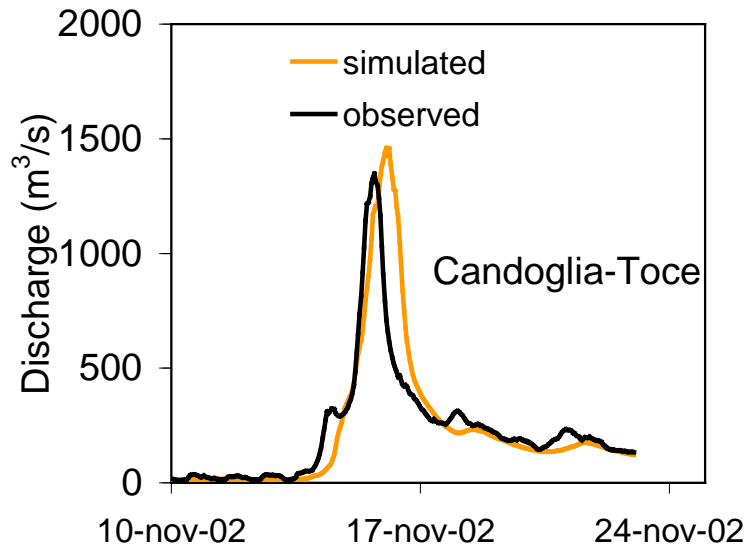
ERRORE
-8.5 %

GLI EVENTI DI PIENA: sezione di Candoglia

RMSE 253.1 m³/s Errore picco = 7.1 % Nash = 0.15



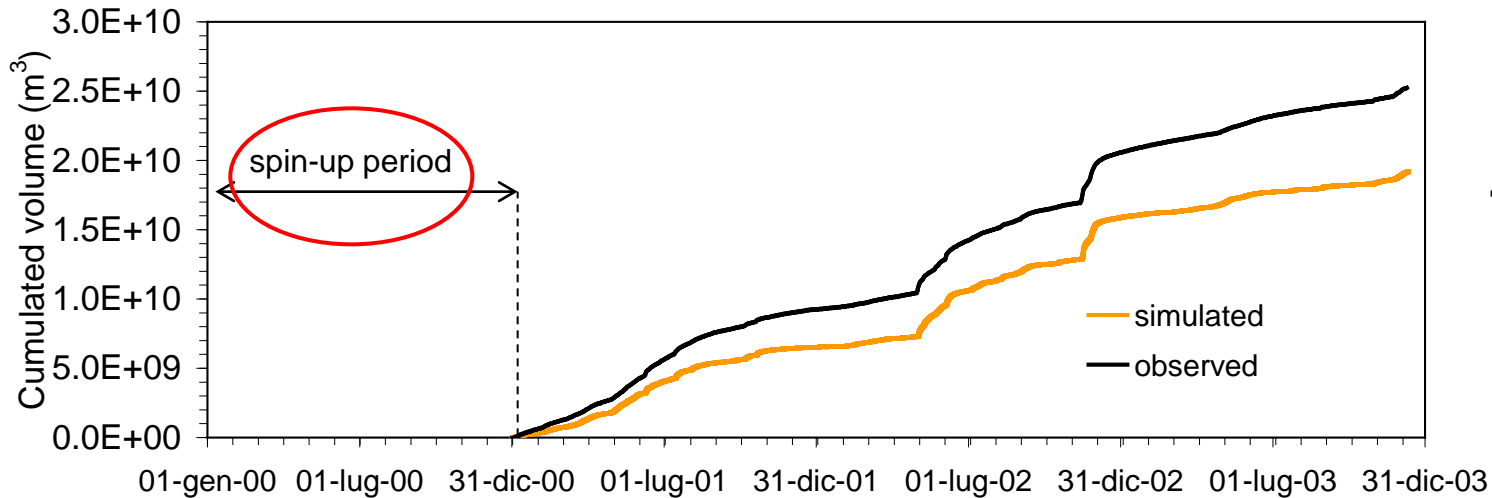
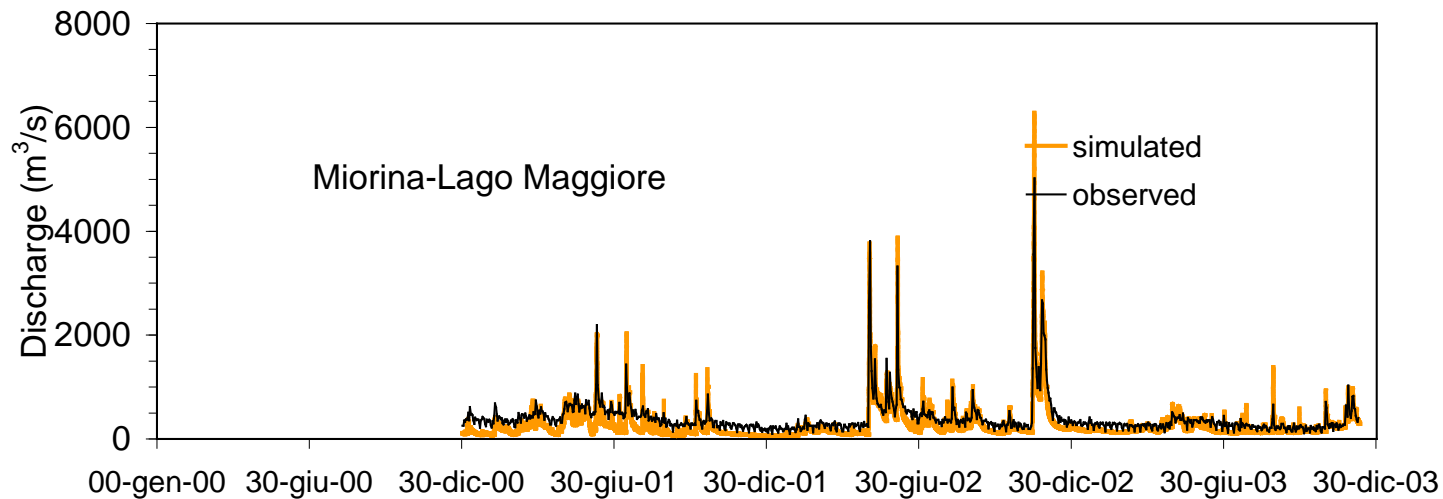
RMSE 166.2 m³/s Errore picco = 8.3 % Nash = 0.59



LA SIMULAZIONE DEI DEFLUSSI: afflusso totale al Lago Maggiore

RMSE 158 m³/s
NASH 0.77

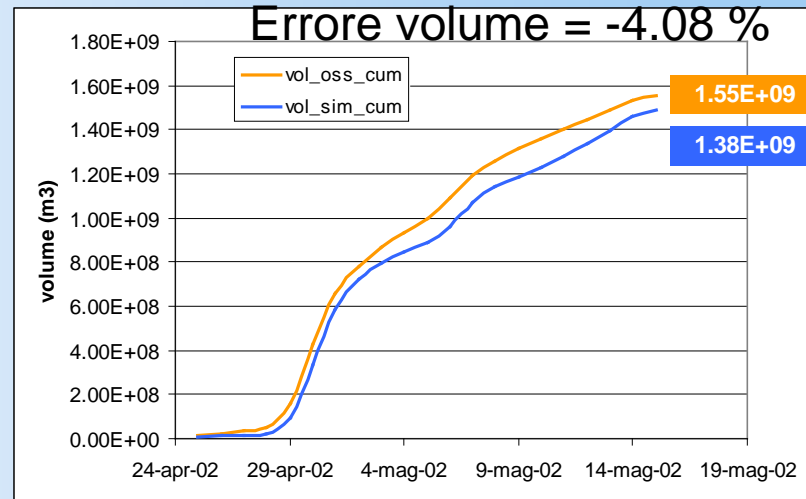
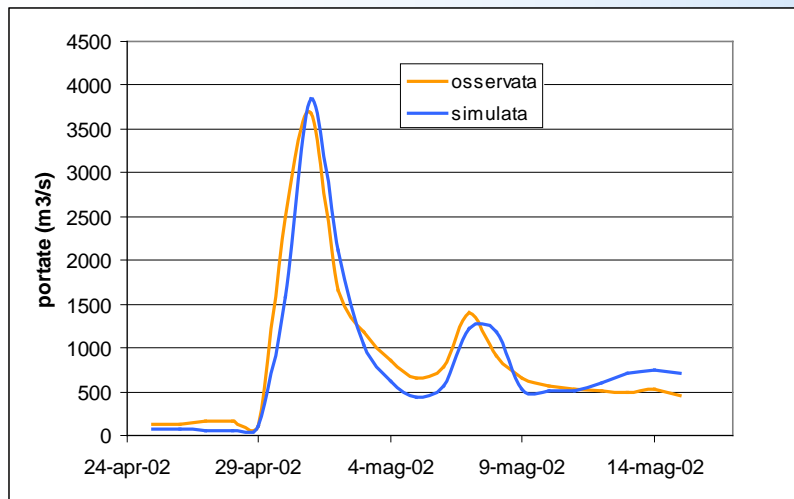
$$\eta = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{n_t} (Q_{m,j} - Q_{o,j})^2}{\sum_{j=1}^{n_t} (Q_{o,j} - \bar{Q}_o)^2}$$



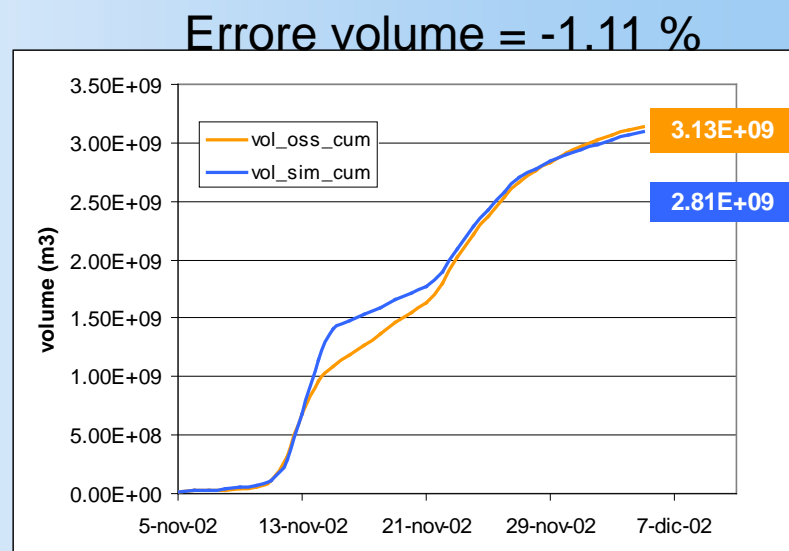
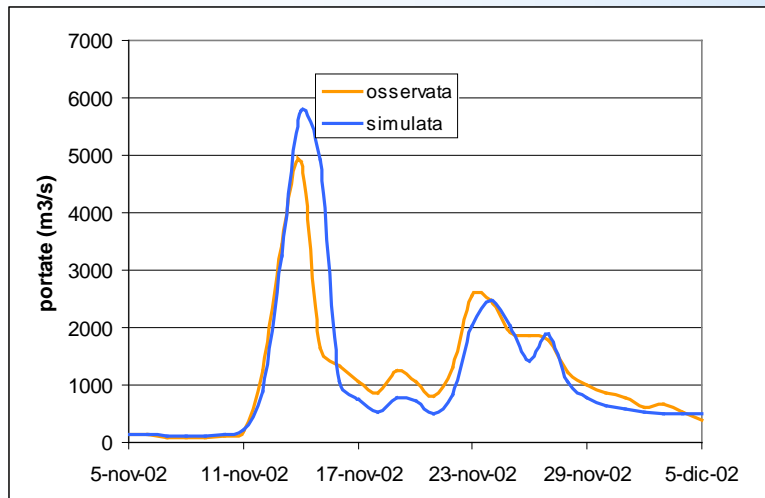
**ERRORE
-23 %**

GLI EVENTI DI PIENA: afflusso totale al Lago Maggiore

RMSE 274 m³/s Errore picco = 4.3 % Nash = 0.89



RMSE 660 m³/s Errore picco = 18 % Nash = 0.6



CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

- Modello idrologico distribuito sviluppato per l'applicazione a bacini montani con topografia complessa.
- L'applicazione del modello al bacino del Verbano ha mostrato prestazioni soddisfacenti soprattutto nella stima dei volumi di deflusso di piena.
- Nel lungo periodo si nota una sottostima del modello che necessita quindi di una correzione tramite l'assimilazione dei dati osservati per un uso in tempo reale in un contesto operativo.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



giovanni.ravazzani@polimi.it