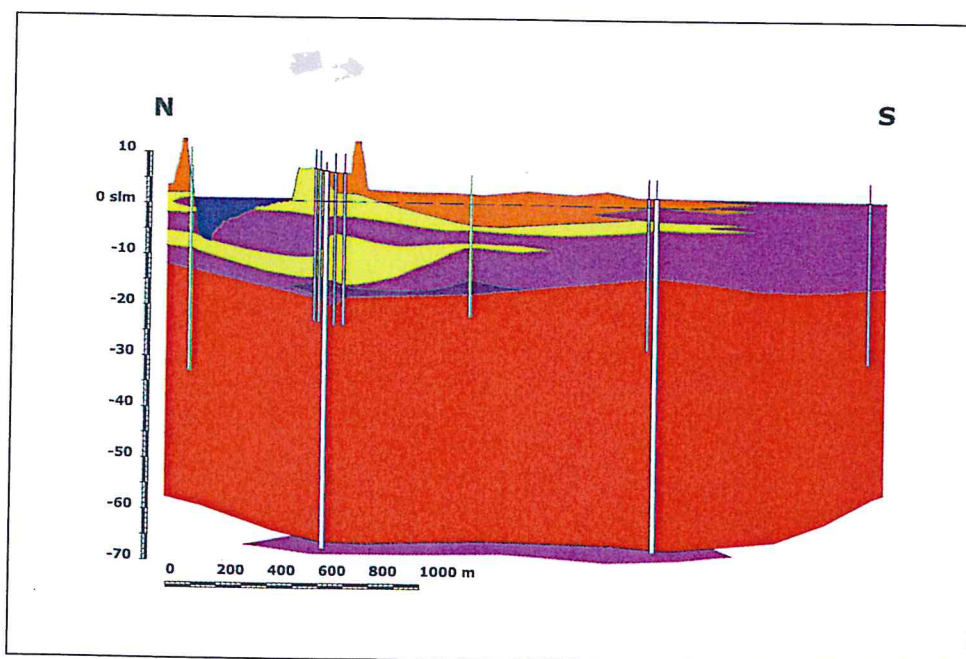


## APPROVVIGIONAMENTO E DISTRIBUZIONE IDRICA: ESPERIENZE, RICERCA ED INNOVAZIONE

Memorie del convegno di Ferrara, 28-29 Giugno 2007

a cura di M. Franchini e P. Bertola



Morlacchi Editore

## LA SIMULAZIONE DEGLI AFFLUSSI AI LAGHI ALPINI AD USO PLURIMO PER LA GESTIONE DELLA POLITICA DI REGOLAZIONE

C. Corbari, G. Ravazzani & M. Mancini

DIAR - Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento;  
Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano  
e-mail: ccorbari@diar-idra.polimi.it, giovanni.ravazzani@polimi.it

### SOMMARIO

*Il sistema montuoso alpino è caratterizzato dalla presenza di numerosi laghi regolati sia di origine naturale che artificiale. Il loro ruolo risulta fondamentale per la riduzione della pericolosità delle piene fluviali e per la produzione di energia. I laghi alpini costituiscono, inoltre, una importante riserva idrica per il mantenimento del deflusso minimo vitale e per scopi irrigui.*

*Di fronte ad un utilizzo plurimo dei laghi è necessaria la pianificazione di una politica di regolazione ottimale e l'implementazione di sistemi di supporto alle decisioni per la gestione in tempo reale della regolazione. Per questo ultimo scopo viene richiesta la previsione degli afflussi al lago su un orizzonte temporale sufficientemente elevato. L'uso di modelli matematici viene incontro a tale esigenza.*

*Negli ultimi anni sono stati sviluppati sofisticati modelli idrologici con un approccio spazialmente distribuito per la simulazione e la previsione del bilancio idrico del suolo e delle portate nei corsi d'acqua sia durante eventi di piena che in periodi di magra.*

*In questo lavoro viene presentato un modello idrologico distribuito utilizzato per la simulazione in continuo degli afflussi ai laghi Alpini regolati per una gestione operativa in tempo reale; vengono considerati i processi come la fusione e l'accumulo della neve, il bilancio idrico del suolo, la propagazione della portata superficiale e ipodermica.*

*Per la modellazione del processo di infiltrazione e di formazione dei deflussi superficiali è stata sviluppata un'estensione del noto metodo SCS-CN che permette la simulazione in continuo dell'umidità del suolo.*

*Il modello è stato verificato confrontando i risultati simulati a scala oraria con gli afflussi osservati in ingresso al Lago Maggiore per 4 anni (2000-2003); sono state considerate anche le portate nei tre sottobacini più importanti quali Toce, Ticino e Maggia.*

*Questo lavoro è parte del progetto TwoLe-A, finanziato dalla Fondazione Cariplo, per lo sviluppo di un sistema per la gestione in tempo reale della regolazione del Lago Maggiore.*

### 1 INTRODUZIONE

Il problema della simulazione delle portate nella ricerca idrologica resta un problema ancora aperto, enfatizzato dalla crescita degli impatti sulle attività umane delle

piene e della siccità.

Nella simulazione delle piene e del bilancio idrologico è importante la corretta rappresentazione delle condizioni al contorno, intese come l'umidità del suolo e l'accumulo della neve. (Albertson & Montaldo, 2003; Gurtz et al., 2002).

Negli ultimi anni sono stati sviluppati sofisticati modelli idrologici per la simulazione in continuo considerando topografie complesse. Questo ha però prodotto un significativo incremento della parametrizzazione. Nelle zone alpine, la complessità dei processi idrologici implicati è accentuata dalle caratteristiche geomorfiche (Bertoldi et al., 2006) con impatti sull'evaporazione, sulla precipitazione e sui deflussi. Inoltre le dinamiche della neve può giocare un ruolo molto importante nella generazione dei deflussi.

In questo lavoro è stato sviluppato un modello idrologico distribuito utilizzato per la simulazione in continuo degli afflussi ai laghi Alpini regolati per una gestione operativa in tempo reale.

Per l'applicazione in tempo reale sono necessarie due caratteristiche fondamentali: velocità ed affidabilità. Per evitare un'eccessiva parametrizzazione del modulo del bilancio idrologico e per aumentare la performance del modello, è stata sviluppata un'estensione del noto metodo SCS-CN che permette la simulazione in continuo dell'umidità del suolo.

## 2 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il modello FEST-WB utilizzato per questo lavoro è un modello idrologico di bilancio fisicamente basato spazialmente distribuito, sviluppato a partire dal modello ad evento FEST98 (Mancini, 1990; Montaldo et al., 2007). Il FEST-WB calcola i principali processi del ciclo idrologico: evapotraspirazione, infiltrazione, ruscellamento superficiale e ipodermico, percolazione e le dinamiche della neve. Il dominio di calcolo è discretizzato con una griglia regolare di celle quadrate in ognuna delle quali vengono valutati i flussi. L'umidità del suolo,  $\theta$ , è aggiornata ad ogni passo di calcolo per la generica cella di posizione  $i, j$ , ed è descritta dall'equazione del bilancio idrologico:

$$\frac{\partial \theta_{i,j}}{\partial t} = \frac{1}{Z_{i,j}} (P_{i,j} - R_{i,j} - D_{i,j} - ET_{i,j}) \quad (1)$$

dove  $P$  è la precipitazione,  $R$  è il runoff,  $D$  è la percolazione,  $ET$  è l'evapotraspirazione e  $Z$  è la profondità del suolo.

Il modello di infiltrazione implementato deriva dal metodo dell'SCS-CN, modificato per la simulazione in continuo (Ravazzani et al., 2007) dove la massima capacità di ritenzione,  $S$ , è aggiornata all'inizio di ogni evento come funzione lineare dell'effettivo grado di saturazione  $\varepsilon$ :

$$S = S_1 \cdot (1 - \varepsilon) \quad (2)$$

dove  $S_1$  è il Massimo valore di  $S$  quando il suolo è secco (AMC 1).

L'evapotraspirazione,  $ET$ , è legata a quella potenziale tramite una funzione che dipende dall'umidità del suolo (Montaldo et al., 2003), mentre l'evapotraspirazione potenziale è calcolata con un metodo basato sulla radiazione (Priestley & Taylor, 1972).

Il bilanci  
l'ora e la p  
topografiche  
topografia in

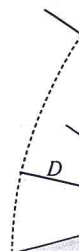


Figura 1. Le  
condizi

moduland  
terreno rispet  
incrementand  
radiazione to  
queste caratte

La propag  
Muskingum -  
variabile nel t

Il modellc  
neve. La su  
funzione della

dove  $\alpha_p$  è calc

Il bilancio radiativo sulla superficie del bacino varia con la latitudine, la stagione, l'ora e la presenza di nuvole; inoltre nei bacini montani, anche le caratteristiche topografiche, come l'esposizione e la pendenza, influiscono sulla radiazione netta. La topografia influisce sulla radiazione in tre differenti modi:

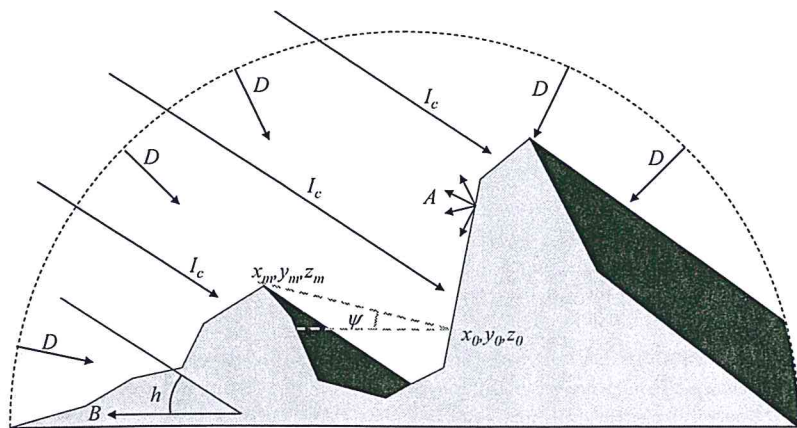


Figura 1. Le componenti della radiazione incidente ad onde corte in una regione montana per condizioni di cielo sereno: diretta,  $I_c$ , diffusa,  $D$  e riflessa dal terreno circostante,  $A$ .

modulando il flusso di energia in base alla posizione relativa della superficie del terreno rispetto al sole, riducendo la radiazione a causa dell'effetto delle ombre e incrementando la radiazione netta con la parte riflessa dai terreni circostanti. Quindi la radiazione totale coinvolta nel processo evaporativo viene calcolata tenendo conto di queste caratteristiche (Mancini et al., 2004).

La propagazione superficiale e quella ipodermica sono calcolate secondo il metodo Muskingum - Cunge nella sua forma non lineare con la celerità di propagazione in rete variabile nel tempo (Montaldo et al. 2007).

Il modello della neve considera le dinamiche della fusione e dell'accumulo della neve. La suddivisione della precipitazione totale,  $P$ , in liquida,  $P_l$ , e solida,  $P_s$ , è funzione della temperatura dell'aria,  $T_a$  (Tarboton et al., 1994)

$$P_l = \alpha_p P \tag{3a}$$

$$P_s = (1 - \alpha_p) P \tag{3b}$$

dove  $\alpha_p$  è calcolata come:

$$\begin{cases} \alpha_p = 0 & \text{if } T_a \leq T_{inf} \\ \alpha_p = 1 & \text{if } T_a \geq T_{sup} \\ \alpha_p = \frac{T_a - T_{inf}}{T_{sup} - T_{inf}} & \text{if } T_{inf} \leq T_a \leq T_{sup} \end{cases} \tag{4}$$

dove  $T_{mf}$  e  $T_{sup}$  sono parametri di calibrazione.

La simulazione dello scioglimento nivale si basa sul concetto di gradi-giorno (Martinec et al., 1960). Il tasso di fusione in m/s,  $M_s$ , è proporzionale alla differenza tra la temperatura dell'aria e una soglia predefinita di temperatura,  $T_b$ :

$$M_s = C_m(T_a - T_b) \quad (5)$$

dove  $C_m$  è un coefficiente empirico che dipende dalle condizioni geografiche, meteorologiche e dalle proprietà del manto nevoso.

Anche la temperatura è influenzata dalla topografia. L'algoritmo sviluppato per la distribuzione spaziale del dato di temperatura misurato alla scala puntuale prevede: (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. I fenomeni di inversione termica non sono considerati.

Un invaso naturale o artificiale viene considerato come un particolare componente del reticolo idrografico, dove ciascun invaso occupa una cella del dominio al quale è associato il legame volume - altezza - portata uscente.

Il funzionamento di un invaso è descritto dall'equazione di continuità che lega la variazione nel tempo del volume invasato nel serbatoio  $V(t)$  alla differenza tra le portate entranti ed uscenti, rispettivamente  $Q_e(t)$  e  $Q_u(t)$ . L'equazione

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dV(t)}{dt} \quad (6)$$

insieme alla legge di efflusso che governa l'idrogramma in uscita dal serbatoio

$$Q_u(t) = Q_u(t, V(t)) \quad (7)$$

permette di determinare l'andamento dei livelli e delle portate uscenti.

L'integrazione numerica dell'equazione di continuità avviene tramite il metodo di Runge-Kutta del terzo o quarto ordine. (Chow, et al., 1988)

### 3 IL CASO DI STUDIO: IL BACINO DEL VERBANO

Il bacino del Lago Maggiore è un tipico bacino alpino con un'area complessiva di circa  $6598 \text{ km}^2$ , di cui  $3229 \text{ km}^2$  ricadono in territorio italiano e  $3369 \text{ km}^2$  in territorio svizzero. La superficie dello specchio lacuale ha un'estensione pari a circa  $211 \text{ km}^2$ . Il reticolo idrografico del bacino è caratterizzato dalla presenza di tre importanti tributari, che insieme drenano circa il 77% dell'intero areale: Ticino ( $1616 \text{ km}^2$ ), Toce ( $1774 \text{ km}^2$ ), Maggia ( $926 \text{ km}^2$ ).

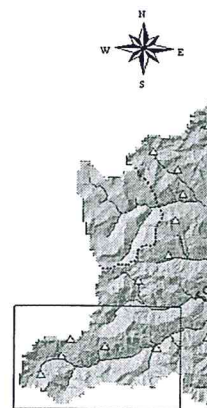


Figura 2. Il bacino del Verbano

Circa il 17% dell'area percentuale aumenta con il bacino del fiume Toce. A specchi lacustri: tra quelli (Lugano, Orta, Varese, Maggiore) ben più numerosi sono gli invasi di energia elettrica, che producono energia.

Le condizioni climatiche del bacino del Toce, con più di 2000 ore di precipitazioni annue, sono caratteristiche climatiche, che hanno indotto frequenti alluvioni.

Per questo studio, i dati di monitoraggio della Regione Lombardia di pioggia, temperatura dell'aria sono disponibili a scala sub-oraria. La localizzazione delle portate semi orari sono disponibili per gli affluenti a Candoglia, Soresina e Miorina.

La cartografia digitale

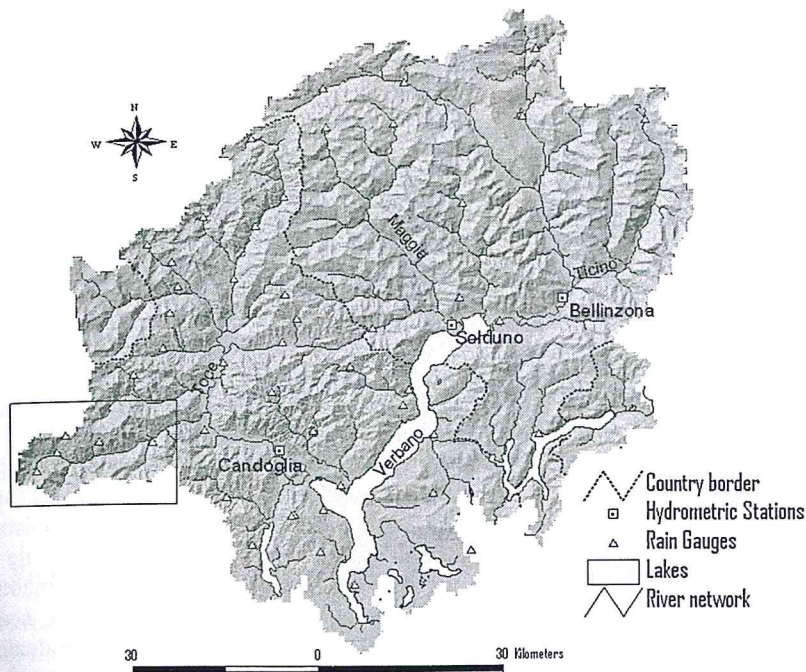


Figura 2. Il bacino del Verbano estratto dal modello digitale delle quote (DEM), è mostrata la localizzazione dei pluviometri e degli idrometri.

Circa il 17% dell'area totale si trova al di sopra dei 2000 m s.l.m. e questa percentuale aumenta considerevolmente fino al 32% se si concentra l'analisi solo al bacino del fiume Toce. All'interno del bacino idrografico sono presenti numerosi altri specchi lacustri: tra quelli naturali, nove presentano un'estensione superiore a 0.5 km<sup>2</sup> (Lugano, Orta, Varese, Mergozzo, Comabbio, Monate, Biandronno, Ritom e Piano); ma ben più numerosi sono gli invasi artificiali, costruiti prevalentemente per la produzione di energia elettrica, che presentano una capacità utile che supera i 600 milioni di metri cubi.

Le condizioni climatiche sono tipicamente umide, caratterizzate da elevate precipitazioni in autunno e in primavera. La media annuale di precipitazione sul bacino del Toce, con più di 2000 mm, è la maggiore sull'intero bacino del fiume Po. Quindi le caratteristiche climatiche, insieme alla morfologia e alle caratteristiche del suolo, hanno indotto frequenti alluvioni negli anni passati.

Per questo studio, i dati meteorologici e idrologici sono stati raccolti dal sistema di monitoraggio della Regione Piemonte, della Regione Lombardia e della Svizzera. I dati di pioggia, temperatura dell'aria, radiazione solare diretta totale e l'umidità relativa dell'aria sono disponibili dal 1 gennaio 2000 al 31 dicembre 2003 con cadenza oraria o sub-oraria. La localizzazione dei pluviometri è mostrata in Figura 2. Anche i valori di portata semi orari sono disponibili per lo stesso intervallo temporale per i tre maggiori affluenti a Candoglia, Solduno e Bellinzona (Figura 2) e per il lago Maggiore alla Miorina.

La cartografia digitale disponibile risulta essere: il Modello digitale delle Quote

(DEM) disponibile con una risoluzione di 50\*50 m, le mappe CORINE di copertura del suolo per la parte italiana aggiornata al 2000 disponibile in formato vettoriale e quelle per la parte svizzera del 1990 in formato raster, la classificazione pedologica per i suoli in formato vettoriale. Da queste mappe disponibili sono stati ricavate le mappe di tutti i parametri in formato aster con una risoluzione di 500\*500 metri: Curve Number, aree contribuenti e puntatori, pendenza e esposizione dei versanti, umidità del suolo residua e a saturazione, albedo, permeabilità satura, capacità di campo, indice di distribuzione delle dimensioni dei pori di Brooks & Corey, punto di appassimento e profondità del suolo.

#### 4 LA SIMULAZIONE DEI LAGHI

##### 4.1 Effetto degli invasi artificiali

Il bacino del Verbano è caratterizzato da un elevato numero di invasi artificiali per la produzione di energia idroelettrica con un volume complessivo pari a  $6.26 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ . Tuttavia, non risulta tale da influire in modo sensibile sui deflussi. Infatti, se ad esempio si considera l'evento dal 11 novembre 2002 al 3 dicembre 2002, gli afflussi misurati al Lago Maggiore risultano avere un volume di  $2.84 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . Il volume totale delle dighe risulta pari al 22% del volume affluito ma, 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, dunque, trascurabile l'effetto degli invasi artificiali sulla simulazione dei deflussi.

##### 4.2 I livelli del Verbano

La simulazione degli invasi, come detto precedentemente, avviene considerando il livello del lago perfettamente orizzontale indipendentemente dalla superficie occupata dal lago stesso. L'ipotesi, se da un lato può essere accettata per piccoli laghi e serbatoi di laminazione di modeste dimensioni, dall'altro potrebbe non essere adatta alla schematizzazione dei grossi invasi presenti nel bacino. Studi passati (Citrini, 1973), prendendo in considerazione le registrazioni dei livelli idrometrici del lago Maggiore nelle stazioni di Arona, Locarno, Pallanza e Sesto Calende durante gli eventi di piena significativi, hanno dimostrato che la differenza massima dei livelli risultava pari a circa 20 cm. Secondo tali osservazioni, quindi, il volume di invaso del lago risulta ben definito da un unico valore di livello idrico. Nella Figura 3 viene riportato il livello idrometrico del lago Maggiore misurato durante il periodo di simulazione nelle stazioni di Ronco Valgrande, situato a nord, e Sesto Calende, situato nel fiume Ticino qualche chilometro a valle dell'incile del lago. Sullo stesso grafico viene riportata anche la differenza fra i due livelli che si mantiene pressoché costante durante tutto il periodo osservato. Questa differenza può essere spiegata se si considera che l'idrometro di Sesto Calende è posizionato laddove la velocità della corrente risulta non trascurabile. La differenza tra i livelli risulta quindi imputabile al carico cinetico dell'idrometro di Sesto Calende. In definitiva l'ipotesi di considerare un unico livello idrico per la definizione del volume degli invasi risulta ampiamente accettabile.

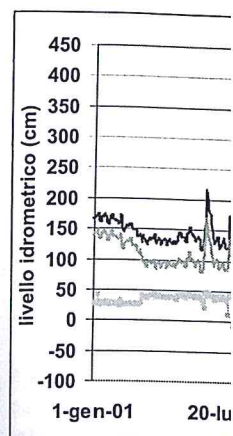


Figura 3. Il livello de

##### 4.3 Effetto degli a

L'altro invaso rile Ceresio. La regola di di un livello costante, eguagli quella in ing perturbazione del def comportamento del la, abbassata così da pe Ceresio sul deflusso t confronto l'idrogramm quella che invece ne ti

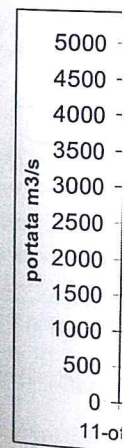


Figura 4 Ir

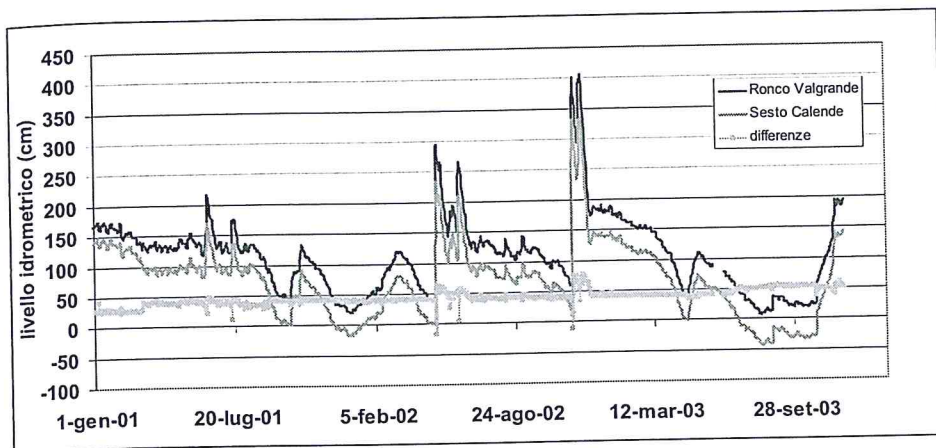


Figura 3. Il livello degli idrometri del Lago Maggiore nelle sezioni di Ronco Valgrande e di Sesto Calende

#### 4.3 Effetto degli altri laghi naturali

L'altro invaso rilevante nel bacino del Lago Maggiore è rappresentato dal Lago Ceresio. La regola di gestione del lago in condizioni ordinarie prevede il mantenimento di un livello costante, regolando l'apertura delle paratoie in modo che la portata uscente eguagli quella in ingresso. In questa situazione il lago non risulta un elemento di perturbazione del deflusso superficiale e pertanto può essere trascurato. Diverso è il comportamento del lago in condizioni di piena perché in questo caso la paratoia viene abbassata così da permettere il libero deflusso della portata. L'influenza del Lago Ceresio sul deflusso totale in ingresso al Lago Maggiore è stata valutata mettendo a confronto l'idrogramma ottenuto dalla simulazione che trascura il Lago Ceresio con quella che invece ne tiene conto per l'evento del 12 Ottobre 2000 (Figura 4).

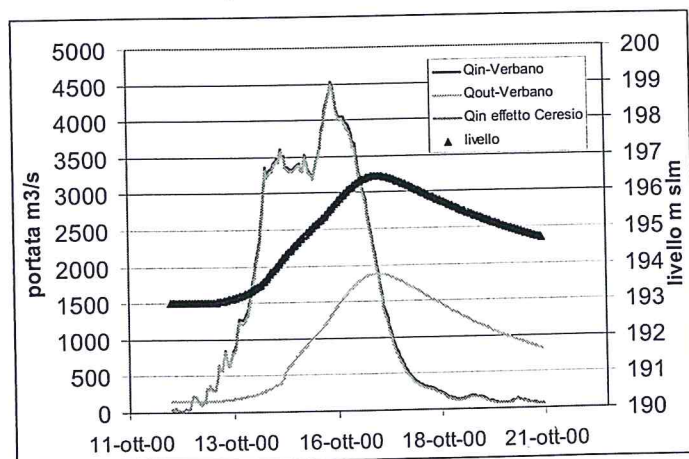


Figura 4 Influenza del Lago Ceresio sugli afflussi al Lago Maggiore



## 5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN CONTINUO

E' stata effettuata una simulazione in continuo con passo temporale di un'ora per il periodo dal 1 Gennaio 2000 al 31 Dicembre 2003 con condizioni iniziali di altezza della neve nulle su tutto il bacino. Per valutare l'affidabilità del modello sono stati confrontati gli idrogrammi osservati con quelli simulati alle stazioni di Candoglia, Solduno, Bellinzona (Figura 2). Inoltre è stato valutato l'afflusso totale del Lago Maggiore. In Figura 5 è illustrato il confronto tra la portata osservata e simulata alla sezione di Candoglia. Si nota una buona performance del modello sia per gli eventi di piena che per quelli di magra dove il deflusso ipodermico e lo scioglimento nivale sono predominanti. Il valore di RMSE per i 4 anni di simulazione è pari a 69.24 m<sup>3</sup>/s and e si riduce a 49.43 m<sup>3</sup>/s per il periodo 2001 - 2003.

In Figura 5, invece, viene mostrato il confronto tra i volumi simulati e osservati a Candoglia; i valori osservati sono posti uguali a 0 dove mancano i dati osservati. Le condizioni iniziali influiscono in modo significativo i risultati del modello. In generale, quindi, la "memoria" delle condizioni iniziali viene persa dopo un'alternanza di periodi asciutti e piovosi che portano il bacino a saturazione. Per questo motivo, il primo anno di simulazione (2000) è considerato un periodo di inizializzazione del modello. In questo modo la simulazione della dinamica della neve nel primo anno porta ad avere una stima della condizione della copertura nevosa molto più realistica all'inizio dell'anno successivo. Il volume totale risulta quindi sottostimato dal modello, con un errore di -8.5 %; gli errori maggiori sono evidenziati durante i due periodi di piena dell'autunno 2000 e dell'autunno del 2002.

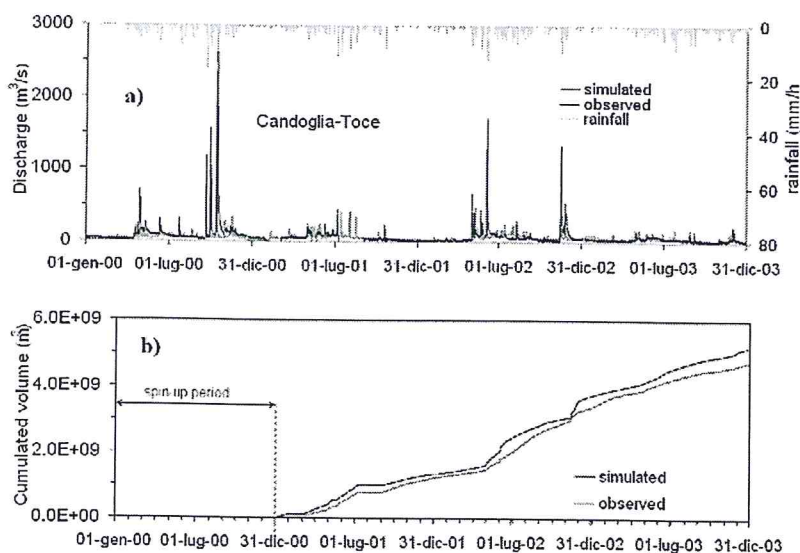


Figura 5. Confronto tra i risultati simulate e osservati alla sezione di Candoglia: a) idrogramma (m<sup>3</sup>/s), b) volume cumulato (m<sup>3</sup>).

In particolare in Figura 6 viene messo in evidenza un grosso evento di piena che si è verificato nel bacino del Toce a Candoglia il 2 Giugno 2002; si nota un buon

adattamento del 1  
una leggera sovra

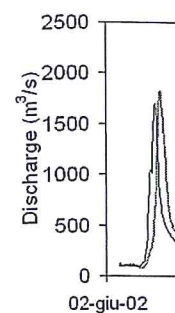


Figura 6. Evento

Sono stati val  
volumi e portate  
questa sezione di  
del modello sia  
riguarda le porta  
maggiori rispettz  
sottostima del -2.

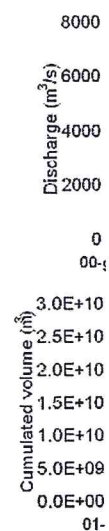


Figura 7. Confro

adattamento del modello alla portata osservata con un errore al picco di 7.1% ma con una leggera sovrastima del modello di -0.77% sul volume totale dell'evento.

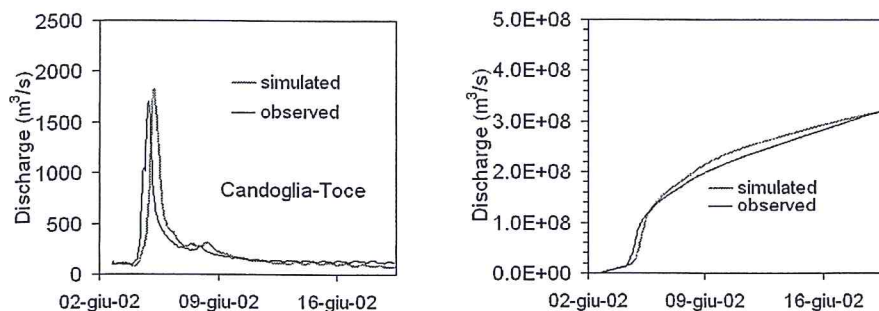


Figura 6. Evento di piena alla sezione di Candoglia: a) idrogramma ( $m^3/s$ ), b) volume cumulato ( $m^3$ ).

Sono stati valutati, inoltre, gli afflussi al Lago Maggiore eseguendo un confronto tra volumi e portate simulate e osservate per lo stesso periodo di simulazione. Anche in questa sezione di chiusura dell'intero bacino si può notare una soddisfacente prestazione del modello sia durante le piene importanti che nei periodi di magra sia per quanto riguarda le portate che per i volumi (Figura 7). Gli errori sui volumi totali risultano maggiori rispetto a quelli dei diversi sottobacini, infatti il modello determina una sottostima del -23 %.

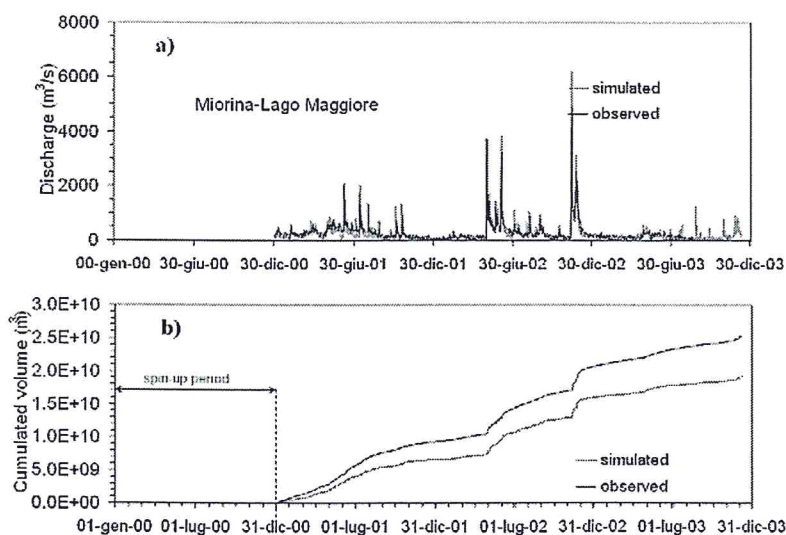


Figura 7. Confronto tra i risultati simulate e osservati alla sezione della Miorina: a) idrogramma ( $m^3/s$ ), b) volume cumulato ( $m^3$ ).

## 6 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Nell'articolo è stato presentato un 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 sia per gli eventi di piena che per i periodi di magra considerando la complessità del bacino idrografico. In generale si è verificata 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. Gli errori evidenziati possono però essere dovuti anche agli errori sulla scala delle portate, soprattutto nel caso di deflussi molto piccoli e per eventi di piena elevati.

**Ringraziamenti** Questo lavoro è parte del progetto TwoLe/A, finanziato dalla Fondazione Cariplo, per la realizzazione di una piattaforma di calcolo per un sistema di supporto alle decisioni per la gestione delle risorse idriche a scala di bacino o sottobacino. Questo lavoro è inoltre appoggiato dal Ministero Italiano dell'Università e della Ricerca Scientifica (2006) all'interno del progetto "Assimilazione dei dati da satellite e a terra per la calibrazione di modelli idrologici distribuiti e per la previsione delle piene". Gli autori ringraziano ARPA Regione Piemonte (Italia), ARPA Regione Lombardia (Italia), Ufficio Federale dell'Ambiente UFAM Berna (Svizzera), Ufficio Federale di Meteorologia e Climatologia MeteoSvizzera (Svizzera) per aver fornito i dati utilizzati in questo caso di studio.

## BIBLIOGRAFIA

- Albertson J. D. & Montaldo, N., (2003) Temporal Dynamics of Soil Moisture Variability: 1. Theoretical Basis, *Water Resour. Res.* 39 (10), 2-14.
- Baral, D. J. & Gupta, R. P. (1997) Integration of satellite sensor data with DEM for the study of the snow cover distribution and depletion pattern. *Int. J. Remote Sensing* 18, 18, 3889-3894.
- Bertoldi, G., Rigon, R., Over, T.M., (2006) Impact of watershed geomorphic characteristics on the energy and water budgets, *Jour. Hydrometeorol.* 7 (3), 389-403.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., "Applied hydrology", McGraw-Hill, New York, 1988.
- Citrini, D., "Le piene del lago Maggiore e del Ticino emissario nel primo trentennio di regolazione", Consorzio del Ticino, Pubblicazione n° 7, 1973.
- Gurtz, J., Jasper, K., Lang, H., (2002) Advanced flood forecasting in Alpine watershed by coupling meteorological and forecasts with a distributed hydrological model, *J. Hydrol.* 267.
- Mancini, M., (1990) La modellazione distribuita della risposta idrologica: effetti della variabilità spaziale e della scala di rappresentazione del fenomeno dell'assorbimento. PhD thesis, Politecnico di Milano, Milan, Italy (in italian).
- Mancini, M., Martinelli, J., Ravazzani, G. (2004) Un modello distribuito di bilancio radiativi per la stima del bilancio idrologico a scala di bacino. Workshop: modelli matematici per la simulazione di catastrofi idrogeologiche. Università della Calabria, 225-237.
- Martinec, J., (1960) The degree-day factor for snowmelt runoff forecasting, proceedings of general assembly of Helsinki commission on surface waters, *IAHS Publ.* 51.
- Montaldo, N., Toninelli, V., Albertson J. D., Mancini, M., Troch P. A. (2003) The Effect of Background Hydrometeorological Conditions on the Sensitivity of Evapotranspiration to Model Parameters: Analysis with Measurements from an Italian Alpine Catchment, *Hydrol. Earth System Sci.* 7(6), 848-861.
- Montaldo, N., Toninelli, V., Albertson J. D., Mancini, M., Troch P. A. (2003) The Effect of Background Hydrometeorological Conditions on the Sensitivity of Evapotranspiration to

- Model Parameters: Analysis with Measurements from an Italian Alpine Catchment, *Hydrol. Earth System Sci.* 7(6), 848-861.
- Montaldo, N., Ravazzani, G., Mancini, M. (2007) On the prediction of the Toce alpine basin floods with distributed hydrologic models, *Hydrol. Processes* 21, 608-621.
- Priestley, C.H.B., Taylor, R.G. (1972) On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters, *Mon. Weather Rev.*, 100, 81-92.
- Ravazzani, G., Mancini, M., Giudici, I., Amadio, P. (2007) Effects of soil moisture parameterization on a real-time flood forecasting system based on rainfall thresholds. In: Quantification and Reduction of Predictive Uncertainty for Sustainable Water Resources Management (Proceedings of Symposium HS2004 at IUGG2007, Perugia, July 2007). *IAHS Publ.* 313.
- Tarboton D. G., Chowdhury, Tanveer G. & Jackson Thomas H. (1994) A Spatially Distributed Energy Balance Snowmelt Model, Utah Water Research Laboratory.
- Verbunt, M., Gurtz, J., Jasper, K., Lang, H., Warmerdam, P., Zappa, M. (2003) The hydrological role of snow and glaciers in alpine river basins and their distributed modelling. *J. Hydrol* 282, 36 – 55.

Il convegno «Approvvigionamento e distribuzione idrica: esperienze, ricerche ed innovazione» è stato organizzato dal CSSA (Centro Studi Sistemi Acquedottistici) e dal LARA (Laboratorio Regionale a rete per le Acque). Esso, concentrandosi sulle tematiche della modellazione e gestione dei sistemi che consentono l'approvvigionamento e la distribuzione di acqua potabile, è stato concepito per creare un'occasione di contatto fra esperti del mondo accademico, del mondo professionale e delle aziende che gestiscono l'acqua. A questi esperti è stata data la possibilità di discutere, presentare, diffondere i più recenti ed innovativi risultati conseguiti sia nella ricerca, sia nelle reali applicazioni pratiche. In questo volume si raccolgono i lavori presentati dai vari relatori raggruppati per tematiche così come sono stati presentati durante lo stesso convegno.



[www.morlacchilibri.com](http://www.morlacchilibri.com) | euro 35,00

