

MODELLISTICA IDROLOGICA DISTRIBUITA PER IL CASO DI STUDIO DEL BACINO DEL FIUME TOCE

G. Ravazzani¹, N. Montaldo² & M. Mancini¹

- (1) Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture viarie e del Rilevamento, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 MILANO
Fax 02-23996207, e-mail Giovanni.Ravazzani@polimi.it
- (2) Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Università di Sassari,
Via de Nicola, 07100 SASSARI
Tel. 079-229343, Fax 079-229340, e-mail Nicola.Montaldo@uniss.it

SOMMARIO

Ai fini della previsione delle piene, considerare il bilancio idrico del suolo all'interno di un modello idrologico distribuito a scala di bacino permette di stimare le condizioni iniziali di umidità del suolo prima di un evento che, come mostrato ampiamente dalla letteratura, influenzano in modo considerevole il fenomeno. L'uso di una schematizzazione che rappresenta i processi fisici del bilancio idrologico integrata in un modello idrologico distribuito, permette la stima del contenuto idrico del suolo, considerandone la variabilità spaziale e temporale e consentendo un'analisi dalla scala della parcella agraria a quella del bacino idrografico.

Nel presente lavoro viene descritto il modello idrologico distribuito sviluppato presso il DIIAR del Politecnico di Milano per il caso di studio del bacino del Toce. Il modello è stato applicato per la simulazione del bilancio idrologico biennale (1996-1997) del bacino sotteso alla sezione di Candoglia per un'area totale di 1534 km². La presenza di due eventi di piena nel biennio simulato ha permesso un confronto delle prestazioni del modello sviluppato con quelle di un modello semplificato di piena, il FEST98, che utilizza il metodo semplificato SCS-CN per la stima del deflusso superficiale.

1 INTRODUZIONE

Lo studio delle piene e quindi della risposta del bacino idrografico ad eventi estremi di precipitazione è da tempo uno dei temi di maggiore interesse dell'idrologia superficiale moderna (Rosso, 1994). In questo campo, è noto come le condizioni di umidità del suolo antecedenti siano determinanti nella formazione e definizione dell'idrogramma di piena (Troch *et al.*, 1993); tuttavia il problema di una corretta stima dello stato di umidità del terreno e della sua variabilità spaziale, presentano notevoli incertezze (Mertz & Plate, 1997). Per questi motivi, la ricerca si è indirizzata verso lo sviluppo di modelli numerici fisicamente basati che simulano i bilanci di massa ed energia tra suolo, vegetazione ed atmosfera (SVAT, Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer, vedi per esempio

Famiglietti & Wood, 1994). Tuttavia, la complessità dei fenomeni descritti dai modelli SVAT, richiede numerosi parametri di difficile acquisizione che rendono complicata una loro applicazione su larga scala. Risulta allora interessante esaminare il confronto tra modelli di bilancio e modelli che, operando una semplificazione dei processi descritti, necessitano di una minore parametrizzazione.

Il lavoro in esame presenta un modello idrologico distribuito sviluppato presso il DIIAR del Politecnico di Milano e la sua applicazione al caso di studio del bacino del Fiume Toce (1534 km²). Il modello simula il bilancio idrologico del bacino per due anni (1996 e 1997). La presenza di due eventi di piena nel biennio simulato permette un confronto delle prestazioni del modello sviluppato con quelle di un modello semplificato di piena, il FEST98 (Mancini *et al.*, 2000), che utilizza la procedura semplificata del Soil Conservation Service (1986) per la stima del deflusso superficiale.

2 I MODELLI IDROLOGICI DISTRIBUITI

2.1 Il modello di bilancio idrologico

Il modello di bilancio idrologico sviluppato è di tipo distribuito a base fisica e permette la simulazione del bilancio idrologico a scala di bacino e la simulazione delle portate di piena. Esso si compone di 4 moduli fondamentali (Figura 1).

Il primo modulo gestisce l'ingresso e l'elaborazione dei dati delle quote del terreno ("Digital Elevation Model", DEM). Dopo una fase di filtraggio del DEM con cui si correggono eventuali depressioni locali ("pits"), il programma genera automaticamente il reticolo idrografico scegliendo, su ogni cella, la direzione della massima pendenza, secondo l'algoritmo noto come D8 (O' Callaghan & Mark; 1984). Il metodo del D8 risulta semplificato rispetto a metodi più complessi sviluppati, per esempio, da Tarboton (1997), tuttavia ha dato risultati soddisfacenti per il caso oggetto di studio.

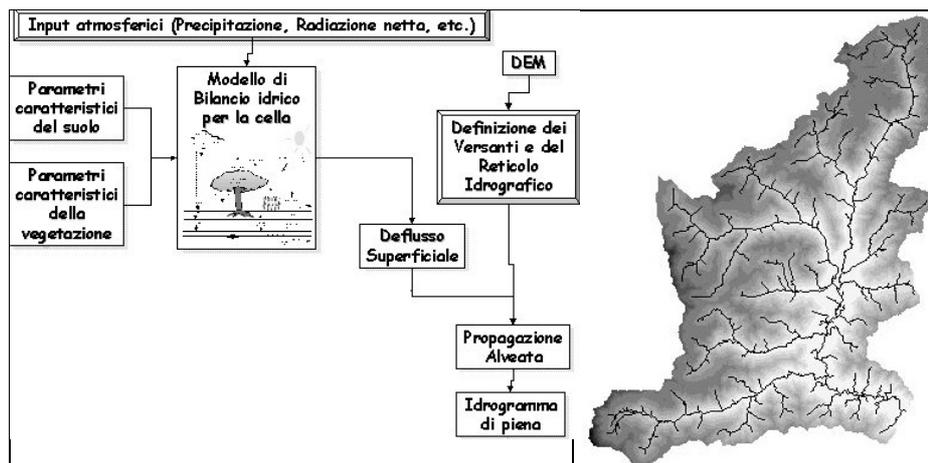


Figura 1. A sinistra, schema del modello idrologico spazialmente distribuito con aggiornamento dello stato di umidità del suolo; a destra il modello digitale delle quote (DEM) del bacino del Toce con il suo reticolo idrografico.

Nel secondo modulo del programma viene eseguita l'extrapolazione spaziale e temporale delle misure dei dati meteorologici registrati dalle stazioni meteorologiche. I dati meteorologici necessari per il funzionamento del modello sono: intensità di precipitazione; temperatura dell'aria a bulbo secco; temperatura dell'aria a bulbo umido o, in alternativa, l'umidità relativa; pressione atmosferica; velocità del vento; radiazione netta; energia uscente dal suolo per conduzione di calore. L'informazione meteorologica relativa alle misure delle singole stazioni è extrapolata spazialmente secondo il metodo dei poligoni di Thiessen. Il modello prevede anche l'utilizzo di altre tecniche d'interpolazione spaziale, quali kriging e distanza inversa.

Il terzo modulo simula la generazione del deflusso superficiale in ciascuna cella di discretizzazione del bacino idrografico tramite lo schema SVAT di *Famiglietti & Wood* (1994). Lo schema SVAT simula, all'interno della generica cella della griglia, il movimento verticale dell'acqua nel suolo insaturo. Lo SVAT distingue tra suolo nudo e quello coperto di vegetazione e inoltre divide il suolo verticalmente in una zona superiore comprendente l'apparato radicale delle piante ("root zone") ed, inferiormente, una zona di trasmissione meno attiva che confina con la superficie libera della falda freatica. Per stimare ed aggiornare in continuo la distribuzione spaziale della profondità della falda idrica alla scala di bacino è stata impiegata una metodologia semplificata basata sull'indice topografico del suolo di *Beven & Kirkby* (1979), che permette di calcolare il deflusso di base a scala di bacino.

Nel quarto modulo viene simulata la propagazione del deflusso superficiale sui versanti e nel reticolo idrografico tramite il metodo Muskingum-Cunge nella sua forma non lineare, che si fonda sul calcolo della celerità di propagazione in rete variabile nel tempo (*Ponce*, 1989).

Maggiori dettagli del modello di bilancio idrologico sono in *Montaldo* (1999).

2.2 Il modello FEST98

Il modello idrologico distribuito di evento FEST98 (acronimo di Flash-flood Event-based Spatially-distributed rainfall-runoff Transformation) (*Montaldo*, 1999; *Mancini et al.*, 2000, *Montaldo et al.*, 2002) differisce dal modello di bilancio precedentemente descritto solamente per l'algoritmo di generazione del deflusso superficiale. Il modello, infatti, adotta il metodo SCS-CN del *Soil Conservation Service* (1986) per la simulazione della risposta del bacino alle sollecitazioni di piena.

Nel modello FEST98 le condizioni di umidità del terreno antecedenti l'evento vengono distinte in tre sole classi di umidità AMC ("Antecedent Moisture Condition"), in funzione della pioggia caduta nei cinque giorni precedenti.

3 APPLICAZIONE AL BACINO DEL FIUME TOCE

La disponibilità di una notevole mole di dati meteorologici, geo-litologici, di vegetazione, di uso del suolo ed idrologici, disponibili in formato digitale, raccolti nell'ambito del progetto di ricerca europeo RAPHAEL (Runoff and Atmospheric Processes for flood HAZARD for ECasting and control) ha permesso l'applicazione del modello di bilancio idrologico al bacino del fiume Toce. Situato a nord del Piemonte, il bacino presenta caratteristiche topografiche tipiche dei bacini alpini, con un'altitudine media di 1641 m e con valli di origine glaciale caratterizzate da versanti molto ripidi che contornano le piane alluvionali lungo le quali scorrono il Toce e i suoi affluenti (Figura

1). L'area in studio presenta una piovosità annua superiore ai 1500 mm con valori estremi di 2000-2500 mm nel settore orientale, causa di frequenti esondazioni negli ultimi anni. Il clima umido e fresco favorisce una copertura vegetale spontanea assai fitta in tutta la regione, mentre le aree urbanizzate e le attività agricole sono localizzate essenzialmente nei fondovalle. Per una descrizione più dettagliata sull'informazione cartografica disponibile del bacino si rimanda a *Montaldo (1999)*.

L'applicazione del modello di bilancio idrologico ha permesso la simulazione del bilancio idrico ed energetico del biennio 1996 e 1997 a scansione temporale oraria. La Figura 2 riporta i valori cumulati ragguagliati sul bacino della pioggia e dei principali flussi idrici simulati dal modello di bilancio (evapotraspirazione, infiltrazione, percolazione profonda e deflusso superficiale) e la variazione del contenuto idrico nel suolo e nel serbatoio fogliare durante il biennio. Il confronto dei valori mensili e di quelli cumulati tra il deflusso osservato e quello simulato comprensivo del deflusso di base, ha confermato l'attendibilità del modello di bilancio (Figura 3).

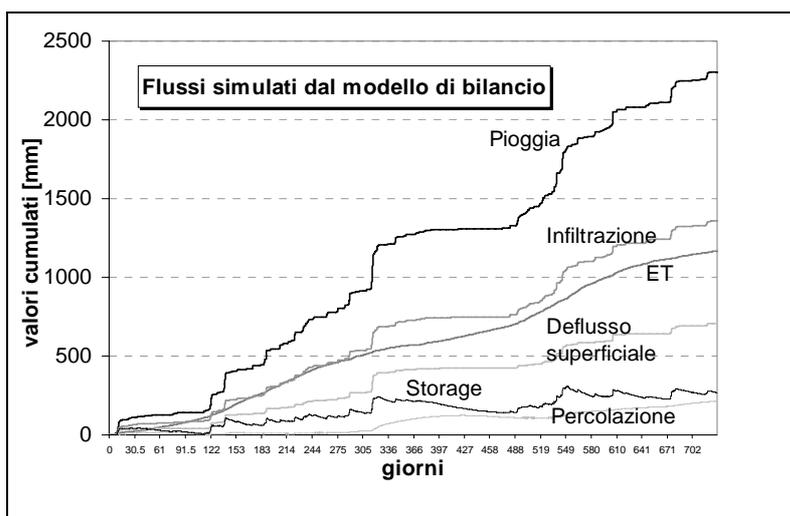


Figura 2. Valore cumulato della pioggia ragguagliata sul bacino per il biennio considerato, oltre ai valori dei flussi simulati dal modello di bilancio.

Nel biennio simulato si sono avuti due importanti eventi di piena: il primo nel Novembre 1996, l'altro a fine Giugno 1997. Essendo questa applicazione finalizzata soprattutto alla simulazione di eventi di piena, è stata prestata particolare attenzione alla preparazione dei dati di pioggia: infatti sono stati considerati per tutto il periodo simulato solamente i dati di quei pluviografi che non hanno presentato discontinuità nella misura, mentre si è infittita la rete pluviometrica, passando da 20 pluviometri a 30, in concomitanza dei due eventi di piena.

Gli eventi di piena considerati sono risultati di difficile rappresentazione soprattutto per il campo di pioggia disuniforme che ha generato l'onda di piena di entrambi gli eventi. I due eventi risultano comunque molto diversi tra di loro: l'evento del 1996 (Figura 4) è di durata maggiore essendo composto da due scrosci di pioggia susseguenti che hanno comportato un volume di pioggia cumulato nettamente maggiore rispetto

all'evento del 1997 (Figura 5); inoltre, mentre l'evento del 1996 è caratterizzato da un periodo precedente di totale assenza di precipitazione, nell'evento del 1997 alcune parti del bacino sono state interessate precedentemente da eventi di precipitazione modesti (classe AMC 1, secondo la classificazione del metodo SCS-CN), altre da precipitazioni rilevanti (classe AMC 3).

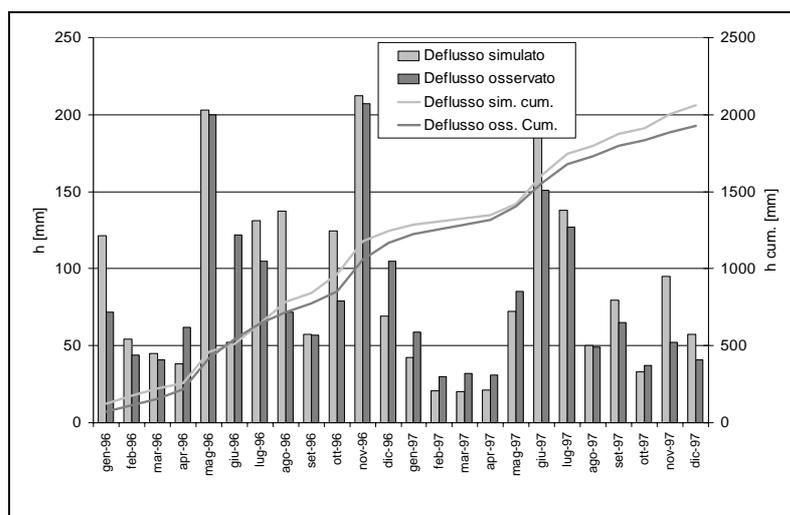


Figura 3. Confronto dei valori mensili e di quelli cumulati tra il deflusso osservato e quello simulato dal modello di bilancio.

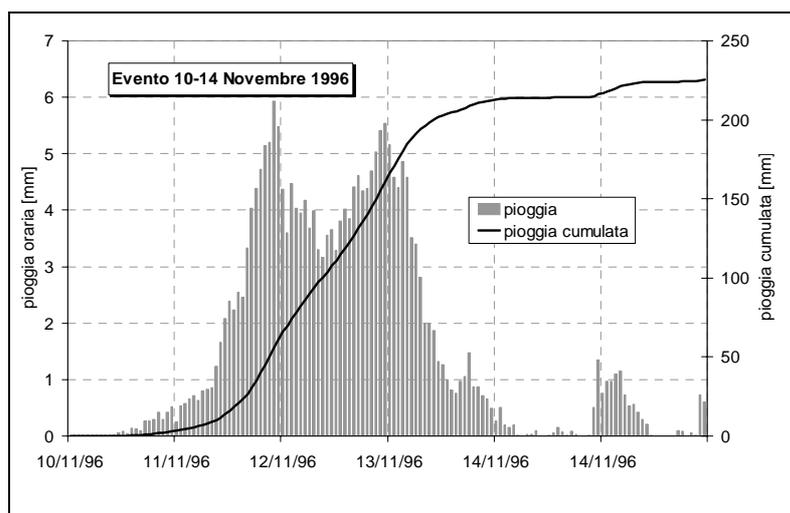


Figura 4. Ietogramma e pioggia cumulata relativo all'evento di piena del 1996.

La Figura 6 mostra i risultati delle simulazioni dei due modelli per l'evento di No-

vembre 1996: nel grafico di sinistra si riporta il confronto tra idrogramma simulato con il modello di bilancio e quello osservato alla sezione di Candoglia; nel grafico di destra si mette a confronto la portata simulata con il modello FEST98 con la portata osservata depurata dalla componente di base non calcolata dal modello di evento. Da notare che, per il modello di bilancio, si riportano i risultati della simulazione per un periodo più lungo rispetto alla durata dell'evento di piena, in quanto tale modello opera in continuo e simula anche il deflusso di magra del bacino. Dai grafici si nota che, per l'evento del 1996, entrambi i modelli riproducono correttamente il tempo di risposta del bacino, tuttavia il modello di bilancio fornisce una migliore rappresentazione dell'idrogramma sia in termini di volume defluito che di portata al colmo. A tal proposito si veda la Tabella 1 in cui vengono riportati degli indici che agevolano il confronto tra idrogrammi simulati ed osservati.

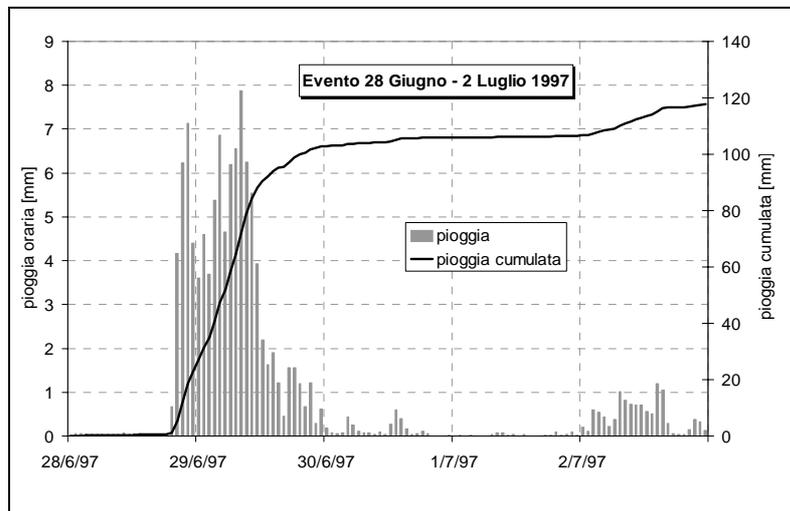


Figura 5. Ietogramma e pioggia cumulata relativo all'evento di piena del 1997.

In Figura 7 si riporta il confronto analogo per l'evento di Giugno 1997. Anche per questo evento entrambi i modelli risultano rappresentare correttamente il tempo di risposta del bacino. Mentre il modello FEST98 è risultato sottostimare l'idrogramma osservato sia in termini di volume che di portata al colmo, il modello di bilancio dà invece una leggera sovrastima dell'evento. Complessivamente i risultati per l'evento del 1997 di entrambi i modelli sono abbastanza soddisfacenti.

4 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato presentato un nuovo modello distribuito fisicamente basato, la cui applicazione al caso di studio del fiume Toce ha permesso la simulazione del bilancio idrologico del bacino per due anni (1996 e 1997), con risultati soddisfacenti.

L'uso di una schematizzazione che rappresenta i processi fisici del bilancio idrologico all'interno del modello distribuito ha permesso una migliore rappresentazione delle condizioni di umidità del suolo antecedenti i due eventi di piena analizzati. Infatti,

l'applicazione del nuovo modello idrologico ha permesso di ottenere complessivamente risultati migliori nelle simulazioni delle piene rispetto a quelli ottenuti con l'applicazione del modello di evento semplificato FEST98.

Le potenzialità dei modelli a base fisica vanno comunque oltre allo studio delle piene fluviali: possono trarre beneficio, infatti, anche lo studio dei regimi di magra dei corsi d'acqua, il dimensionamento delle reti irrigue, e, in generale, i problemi connessi con una migliore gestione della risorsa idrica.

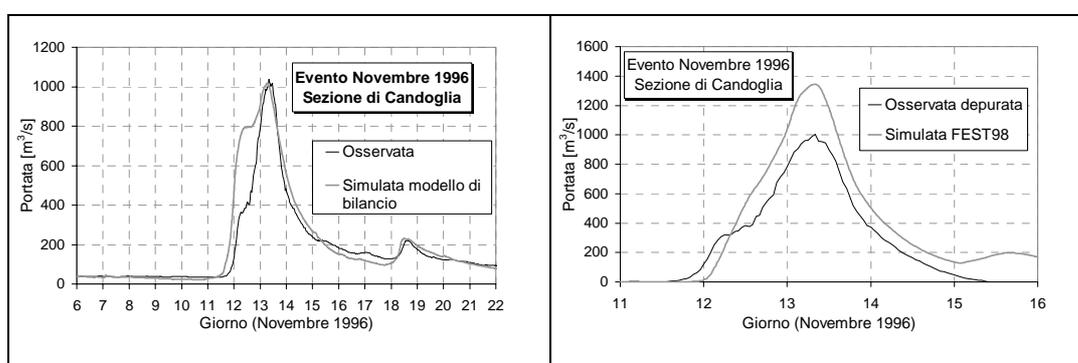


Figura 6. Risultati delle simulazioni relativi all'evento di Novembre 1996: a sinistra confronto tra idrogramma simulato dal modello di bilancio e quello osservato, a destra confronto tra idrogramma simulato col modello FEST98 e quello osservato depurato dal deflusso di base.

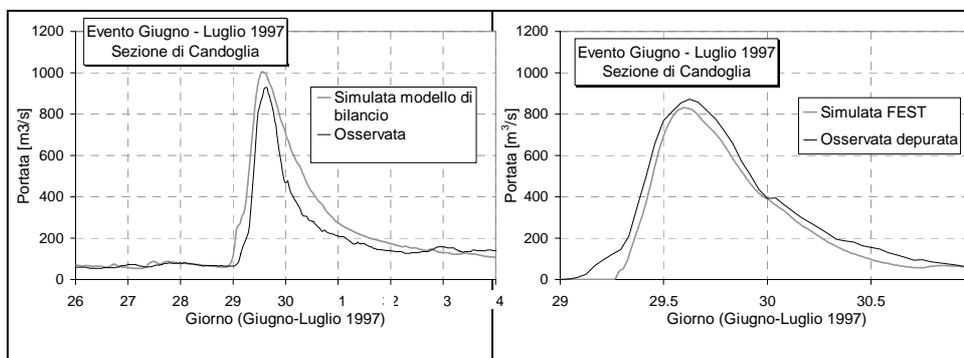


Figura 7. Risultati delle simulazioni relativi all'evento di Giugno 1997: a sinistra confronto tra idrogramma simulato dal modello di bilancio e quello osservato, a destra confronto tra idrogramma simulato col modello FEST98 e quello osservato depurato dal deflusso di base.

Ringraziamenti. Il lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto di ricerca RAPHAEL, contratto ENV4-CT97-0552. La ricerca è stata inoltre condotta nel quadro delle attività dell'unità operativa 1.8 del CNR GNDICI e supportata dal contratto n.01.01072.PF42.

	Evento 10+15.11.96	Evento 28.06+01.07.97
Q_{p0} [m^3/s]	1035	928
Q_{psF}/Q_{p0}	1.34	0.95
Q_{psnm}/Q_o	0.98	1.08
$ t_{psF}-t_o $ [ore]	0	0.75
$ t_{psnm}-t_o $ [ore]	1.4	1.7
V_{sF98}/V_o	1.35	0.85
V_{snm}/V_o	1.12	1.2
Nash F	0.76	0.97
Nash nm	0.82	0.79

Tabella 1. Indici di confronto tra la portata simulata dal modello FEST98 (Q_{psF}), quella simulata dal nuovo modello (Q_{psnm}) e quella osservata (Q_{p0}). Con t_{psF} , t_{psnm} , e t_{p0} si indicano rispettivamente i tempi di picco simulati dai due modelli e quelli osservati; con V_{sF} , V_{snm} e V_o rispettivamente i volumi di piena degli idrogrammi simulati dai due modelli e dell'idrogramma osservato; con Nash F e Nash nm si indicano rispettivamente l'indice di Nash e Sutcliffe (1970) per il modello FEST98 e per il nuovo modello.

BIBLIOGRAFIA

- Beven, K. J. and Kirkby M. J.: A physically – based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.*, 24 (1), 43 – 69, 1979.
- Famiglietti, J. S., and E. F. Wood, “Multiscale modelling of spatially variable water and energy balance processes”, *Water Resources Research*, 30, 3061-3078, 1994.
- Mancini, M., Montaldo, N., & Rosso, R., Effetti di laminazione di un sistema d’invasi artificiali nel bacino del fiume Toce, *L’Acqua*, 2000, 4, 33-42.
- Merz, B., and Plate, E. J., “An analysis of the effects of spatial variability of soil and soil moisture on runoff”, *Water Resources Research*, 33, 2909-2922, 1997.
- Montaldo, N., Gli scambi idrici tra suolo, vegetazione ed atmosfera nella modellistica dei processi di piena, dissertazione per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Idraulica, Politecnico di Milano, Dicembre 1999.
- Montaldo, N., V. Toninelli, M. Mancini, and R. Rosso. Coupling Limited Area Models with Distributed Hydrologic Models for Flood Forecasting: the Toce Basin Study Case, *IAHS publ. no. 274*, 229-236, 2002.
- O’ Callaghan, J. F., and D. M. Mark, “The extraction of drainage network from digital elevation data”, *Comput. Vision Graphics Image Process.*, 28, 328-344, 1984.
- Ponce V. M., *Engineering Hydrology principles and practices*, Prentice Hall, Englewood Cliff, NJ, 1989.
- Rosso, R., “An introduction to spatially distributed modelling of basin response”, *Advances in Distributed Hydrology* edited by R. Rosso, I. Becchi, G. A. Bemporad and A. Peano, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, pp.3-30, 1994.
- Tarboton, D. G., “A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models”, *Water Resources Research*, 33, 309-319, 1997.
- Troch, P.A., F.P. De Troch, and W. Brutsaert, “Effective water table depth to describe initial conditions priorto storm events in humid regions”, *Water Resour. Res.*, vol 29, 427-434, 1993.