

AMICO: LA PIATTAFORMA PREVISIONALE PER I BACINI IDROGRAFICI DEL NORD EST ADRIATICO (I)

M. Ferri¹, M. Monego¹, D. Norbiato¹, F. Baruffi¹, C. Toffolon² & R. Casarin¹

- (1) Autorità di bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico, Cannaregio 4314 Venezia, e-mail: michele.ferri@adbve.it
- (2) A.T. SOFT srl, Via Salteri 74 Trento, e-mail: carlo@at-soft.it

SOMMARIO

La direttiva del P.C.M. 27 febbraio 2004 recante "Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile", stabilisce, tra le altre cose, che alle attività dell'Autorità di protezione civile per il governo delle piene concorrono, se del caso e quale affiancamento tecnico-scientifico, oltre al Centro Funzionale di riferimento, le Autorità di bacino interessate sia per la pianificazione sia per la caratterizzazione delle criticità idrauliche e del rischio esistente a scala di bacino.

All'interno del sopra richiamato quadro normativo e a seguito dell'evento di piena del novembre 2010 che ha colpito il territorio di Vicenza provocando danni per oltre un miliardo di euro, l'Autorità di bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico ha sviluppato e messo a disposizione della Regione del Veneto la piattaforma previsionale AMICO (Alto adriatico Modello Idrologico e idrauliCO). Lo strumento, già operativo per il fiume Bacchiglione ed estendibile a tutti i corsi d'acqua, elabora i dati meteo-climatici (sia in tempo reale che previsionali a 5 giorni), determina i deflussi mediante un innovativo modello geomorfoclimatico e valuta la propagazione dell'onda di piena. Inoltre è provvista di un modulo di ottimizzazione automatica dei parametri mediante un confronto misurato-simulato delle portate nei punti di misura disponibili sul territorio e di una sezione, pensata appositamente per i fini comunicativi dello strumento, in cui sono visualizzati i risultati.

1 INTRODUZIONE

Gli allagamenti e i conseguenti danni riportati in Europa negli ultimi decenni (CRED, 2011; Barredo, 2009) hanno mostrato che in campo idrogeologico non esiste una protezione assoluta se non si sa gestire tali eventi, affermando così la necessità di una nuova politica in materia volta non solo alla "difesa del suolo", ma anche alla "gestione dal rischio inondazioni". Tale esigenza è destinata a crescere nel caso in cui il numero di eventi estremi vada ad aumentare a seguito dei cambiamenti climatici previsti (Vellinga & van Verseveld, 2000). In tal senso la preparazione agli eventi critici si va a collocare come un fattore chiave nella riduzione del loro impatto sulla società.

Recenti iniziative internazionali sono volte a favorire lo sviluppo di una cultura della

prevenzione dei rischi, con particolare attenzione alla promozione di sistemi di preallerta. È stato infatti dimostrato che tali strumenti possono ridurre significativamente i costi diretti e indiretti di una alluvione a fronte di contenute spese per il loro sviluppo e successiva manutenzione (ad esempio, *Rogers e Tsirkunov*, 2011; *Teisberg e Weiher*, 2009). Dalla definizione identificata da *UN-ISDR* (2004) per “preallerta”, ovvero fornitura di informazioni tempestive ed efficaci, da parte di soggetti istituzionali identificati, che consente agli individui esposti a un rischio di agire per evitarlo o ridurlo e prepararsi ad una risposta efficace, si deduce che un sistema di preallerta deve essere in grado di gestire modelli previsionali meteorologici accoppiandoli a quelli idrologici-idraulici in modo da rappresentare il manifestarsi dei fenomeni di piena sul territorio con il fine di avere le informazioni necessarie per attuare il necessario processo comunicativo nei confronti di istituzioni e cittadini. Inoltre, la disponibilità di previsioni sempre più accurate dello stato atmosferico, e di modelli di valutazione dell’entità dei deflussi sempre più affidabili, suggerisce l’utilizzo di strumenti predittivi evoluti per avviare la fase di allerta con un tempo di anticipo di 5 giorni e attivare l’eventuale piano di emergenza con un tempo di anticipo dell’ordine di 1-2 giorni.

Con tali premesse, la nota descrive brevemente i caratteri degli schemi adottati nella piattaforma previsionale AMICO, già in dotazione presso il Centro Funzionale Decentrato della Regione del Veneto per il fiume Bacchiglione.

2 L’ARCHITETTURA DI AMICO

A differenza di un approccio “classico”, in cui il modello matematico è il cuore copernicano di un sistema in cui tutto (dati, geometrie, fruibilità dei risultati) deve essere sviluppato in funzione delle logiche di calcolo, AMICO nasce come piattaforma in grado di alimentare in autonomia la catena modellistica e mantenere attivo il sistema nel tempo. In altri termini si aggiorna automaticamente per essere disponibile in caso di necessità, caso in cui un operatore può assumere il controllo di ogni parte del sistema.

Le principali funzioni di AMICO sono rappresentate in Figura 1 e possono essere così riassunte:

- acquisire dati e previsioni meteo in tempo reale connettendosi in automatico a server ftp o ad altre fonti dato;
- validare i dati, eliminare gli errori ed interpolare i dati mancanti;
- alimentare una base dati Oracle a servizio (non solo) del modello;
- eseguire ad intervalli regolari la catena modellistica;
- lanciare la catena modellistica quando richiesto dall’operatore;
- acquisire e pubblicare i risultati;
- eseguire in automatico le operazioni di manutenzione del sistema.

A questo si affiancano dei moduli per la visualizzazione dei dati, il lancio manuale su base storica o previsionale, la configurazione delle manovre relative ad opere idrauliche (es. paratoie), la visualizzazione dei risultati su base GIS, l’aggiornamento delle geometrie, e dei parametri di funzionamento.

2.1 La gestione dati

Il cuore di AMICO è costituito da un geo-database Oracle, che contiene dati, parametri, geometrie e tematismi GIS.

Una serie di servizi eseguiti ad intervalli regolari si occupano del reperimento dei dati da diverse fonti, quali siti ftp, altri database, dati CAE, previsioni GRIB, li sottopongono a procedure di validazione (valori fuori soglia, raffronti con stazioni vicine, consistenza temporale, variabilità eccessiva) creabili, configurabili ed attivabili dall'utente, e li immettono nella base dati, rendendoli disponibili ai moduli di visualizzazione.

Un servizio di pianificazione sovrintende al lancio automatico della catena modellistica, prelevando i dati dal database e fornendoli in ingresso ai modelli, che vengono eseguiti in cascata. A garanzia della solidità del sistema, in caso di errori tutto l'ambiente, compresi i parametri di stato e le condizioni finali dei modelli, viene ripristinato alle condizioni precedenti il lancio.

In tempo reale l'esecuzione della catena modellistica viene effettuata da un'interfaccia di gestione che permette di definirne i parametri di funzionamento, quali le manovre sulle opere idrauliche, il periodo di simulazione, l'orizzonte di previsione, salvando nel database le impostazioni di lancio.

In modalità previsionale il sistema fornisce alla catena modellistica le previsioni meteo acquisite dai processi di reperimento automatico dei dati (LAMI a 3 giorni; ECMWF a 5 giorni). I files di forecasting vengono pre-formatati in modo da risultare compatibili con le strutture utilizzate per alimentare il modello il tempo reale.

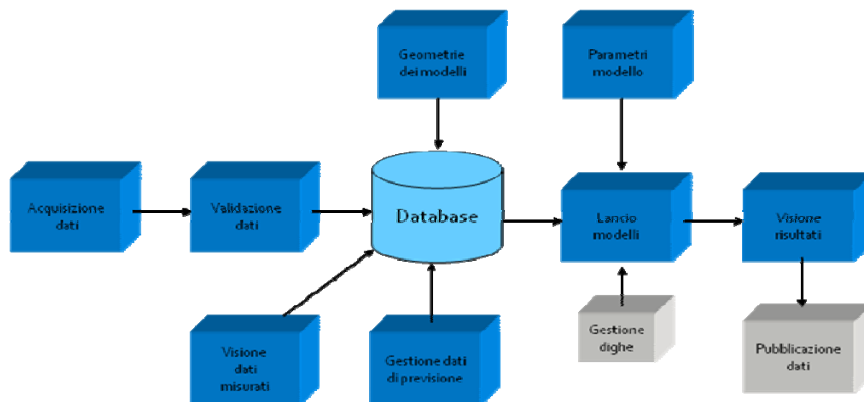


Figura 1. L'architettura di AMICO.

2.2 La catena modellistica

La risposta idrologica del bacino idrografico viene stimata utilizzando un modello integrato sviluppato dalla Segreteria Tecnica dell'Autorità di Bacino, in grado di riprodurre i processi di accumulo e scioglimento nivale, i processi evapotraspirativi e di produzione e propagazione dei deflussi.

I processi di accumulo e scioglimento nivale sono stati modellati implementando un adattamento a scala distribuita dell'algoritmo di calcolo UEB - Utah Energy Balance Model (Tarboton et al., 1996), mentre i processi relativi alla generazione dei deflussi sono stati schematizzati risolvendo alla scala di sottobacino il bilancio idrologico applicato ad un volume di controllo rappresentativo del suolo idrologicamente attivo

(zona vadosa). Il contenuto d'acqua nel suolo $S(t)$ viene aggiornato ad ogni passo di calcolo dt attraverso la seguente equazione di bilancio:

$$S(t + dt) = S(t) + I(t) - R_{sub}(t) - L(t) - ET(t) \quad (1)$$

in funzione delle componenti di infiltrazione (I), deflusso ipodermico (R_{sub}), percolazione profonda (L), evapotraspirazione (ET). Nel generico intervallo di calcolo dt la quantità d'acqua infiltrata viene calcolata come la differenza tra lo scioglimento nivale $P(t)$ [mm] (pari alla precipitazione liquida in caso di assenza di manto nevoso), e il deflusso superficiale $R(t)$. La componente di ruscellamento superficiale è espressa in base all'equazione (2), proposta da *De Smedt et al.* (2000), che si basa su una soglia critica (dovuta al raggiungimento della saturazione del suolo), oltre la quale prevale un meccanismo di infiltrazione di tipo dunniano:

$$R(t) = \begin{cases} C \left(\frac{S(t)}{S_{max}} \right) P(t) \Rightarrow P(t) \leq f = \frac{S_{max} (S_{max} - S(t))}{(S_{max} - CS(t))} \\ P(t) - (S_{max} - S(t)) \Rightarrow P(t) > f \end{cases} \quad (2)$$

dove C è un coefficiente di deflusso a saturazione del suolo ottenuto da calibrazione, e S_{max} , il contenuto d'acqua a saturazione, dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo. La sua valutazione è stata ricondotta a quella del parametro *Curve Number* CN (SCS, 1972), valutato facendo riferimento ad una condizione di umidità iniziale secca al fine di ottenere i valori massimi del volume specifico di saturazione S_{max} . Il deflusso sub-superficiale è considerato invece proporzionale alla differenza tra il contenuto d'acqua $S(t)$ al tempo t e quello alla capacità di campo S_c , attraverso l'equazione $R_{sub}(t) = c(S(t) - S_c)$ (3), dove $R_{sub}(t)$ è il deflusso sub-superficiale al tempo t , e c rappresenta un coefficiente empirico, funzione della velocità con cui il flusso sub-superficiale si muove nel terreno ed ottenuto da calibrazione. La stima della perdita per percolazione in falda viene valutata secondo l'espressione proposta da *Laio et al.* (2001):

$$L(t) = \frac{K_s}{e^{\beta \left(1 - \frac{S_c}{S_{max}} \right)} - 1} \left(e^{\beta \left(\frac{S(t) - S_c}{S_{max}} \right)} - 1 \right) \quad (4)$$

dove, K_s è la permeabilità idraulica effettiva del suolo in condizioni di saturazione, β è un esponente adimensionale caratteristico della dimensione e della distribuzione dei pori nel suolo. I valori di riferimento per tali parametri sono reperibili in letteratura in base agli studi di *Cosby et al.* (1984), *Dingman* (2002) e *Lai & Katul* (2000). La stima dell'evapotraspirazione reale viene effettuata assumendo che la stessa sia funzione del contenuto di acqua nel suolo e dell'evapotraspirazione potenziale (calcolata tramite la formulazione di *Hargreaves & Samani* (1985)) $ET(t) = ETP(t) \cdot w \Rightarrow S(t) > S_{pwp}$ (5), dove S_{pwp} (*permanent wilting point*) è il contenuto d'acqua minimo per l'innescio del fenomeno evapotraspirativo, e w è un coefficiente di evapotraspirazione $w = S(t)/S_{max}$.

La funzione di trasferimento dei deflussi è sviluppata secondo la teoria geomorfologica della risposta idrologica per cui le distribuzioni dei tempi di residenza

nei possibili percorsi all'interno del bacino sono legate all'idrogramma unitario istantaneo del bacino (Rodriguez-Iturbe&Rinaldo, 1997). Nel singolo sottobacino il contributo superficiale e subsuperficiale viene propagato alla sezione di chiusura assumendo nello stato versante una distribuzione dei tempi di residenza esponenziale $f(t)=ke^{-kt}$ (6); nello stato canale si adotta invece una distribuzione dei tempi di residenza di tipo diffusiva-convettiva (Rinaldo, 1991). La costante k dell'equazione (6), che non è altro che l'inverso del tempo di residenza nello stato versante, può essere calcolata come $k = v/\bar{L}$ (7), dove v è una velocità caratteristica di versante spazialmente uniforme a scala di sottobacino (parametro di calibrazione), che si differenzia in base alla tipologia di deflusso considerata (superficiale e subsuperficiale) e quindi ai diversi processi di trasporto in atto, mentre \bar{L} è una lunghezza media di versante calcolata come segue: 1) per ogni cella non canalizzata viene calcolata la lunghezza del percorso nella direzione di massima pendenza per raggiungere la prima cella canalizzata, 2) tali lunghezze vengono mediate sul sottobacino. Nel modello implementato, per il deflusso superficiale si è adottato un approccio geomorfoclimatico, facendo dipendere la velocità di versante del ruscellamento superficiale dall'entità dell'evento, e quindi dall'intensità della precipitazione efficace. A tale scopo si è introdotta la trattazione cinematica per il trasferimento dei deflussi, in base alla quale, per ogni cella versante, vale la seguente equazione:

$$\frac{R_{sup}(t) \cdot A_{dren}}{B} = q(t) \quad (8)$$

dove R_{sup} è la precipitazione efficace nel passo di calcolo dt , A è l'area drenata a monte della generica cella versante, B è la dimensione della cella, q è la portata specifica in transito nella cella. Esprimendo la velocità nella generica cella come $v = k_s \sqrt{S} y^{2/3}$ (9), dove k_s è il coefficiente di scabrezza e S è la pendenza della cella, in base alle (8) e (9) si ricava l'altezza d'acqua y nella cella $y = (q/(k_s y \sqrt{S}))^{3/2}$ (10). Sostituendo la (10) nella (9) è possibile calcolare ad ogni passo di calcolo dt la velocità di versante in funzione della precipitazione efficace media areale di sottobacino R_{sup} . Noti la distribuzione spaziale della velocità di versante nel sottobacino ed il percorso per raggiungere la prima cella canalizzata lungo la direzione di massima pendenza, il tempo di residenza relativo al percorso della cella i -esima si può ricavare in base alla:

$$t_{sup_i} = \sum_{j=1}^m \frac{B}{v_{sup_j}} \quad (11)$$

dove m è il numero di celle del percorso, ognuna caratterizzata dalla velocità di versante v_{sup_j} . La costante k può essere calcolata quindi in funzione della media dei tempi caratteristici (11) di tutti i possibili percorsi equiprobabili interni al sottobacino. La propagazione del deflusso superficiale alla sezione di chiusura del sottobacino avviene quindi attraverso un idrogramma unitario istantaneo geomorfoclimatico che assume una forma diversa per ogni passo di calcolo dt in funzione dell'intensità della precipitazione efficace.

La propagazione del deflusso profondo alla sezione di chiusura di ciascun sottobacino viene invece modellata secondo lo schema concettuale del serbatoio lineare $Q_p = k_p V_p$ (12), dove k_p ($1/t$) è una costante di esaurimento determinabile da un'analisi

con regressione esponenziale del tratto di esaurimento degli idrogrammi di piena.

La calibrazione automatica dei parametri del modello idrologico viene effettuata utilizzando un adattamento dell'algoritmo di calcolo "SCE-UA". Tale metodo, originariamente sviluppato da *Duan et al* (1992), è inserito in cascata nella catena modellistica globale e permette di ottenere il miglior set di parametri possibile in funzione del confronto fra dati simulati e misurati in corrispondenza di ogni sezione strumentata.

Circa lo schema di calcolo adottato per valutare il funzionamento idraulico delle aste fluviali, è opportuno fare la seguente necessaria premessa.

Quando si parla di difesa idraulica del territorio e perimetrazione delle aree a rischio idraulico, si devono distinguere i tratti fluviali difesi da opere idrauliche (soprattutto arginature), da quelli in cui il corso d'acqua non presenta difese artificiali. In buona sostanza il rischio idraulico, nelle due schematizzazioni sopra ricordate, pur derivando in entrambi i casi da fenomeni legati al flusso delle acque, richiede metodologie e trattazioni diversificate. Infatti, in presenza di difese arginali, è considerevolmente maggiore l'incertezza circa gli effetti che la piena potrebbe causare sul territorio in conseguenza della mancata efficienza del manufatto.

Caso assai complesso è quindi quello che si presenta nel Nord Est Italia ove oltre ventimila chilometri quadrati di territorio sono protetti da arginature il cui sviluppo complessivo ammonta a diverse migliaia di chilometri.

La storia dell'idraulica veneta è ricca di insegnamenti circa le cause che determinarono rotte e disalveazioni dei fiumi. Solo in alcuni casi infatti, pur in presenza di piene eccezionali, i collassi delle difese arginali sono stati determinati dal sormonto delle acque. Il più delle volte l'improvviso sifonamento di un manufatto, il rilassamento di un tratto di argine o un'altra delle innumerevoli cause imprevedibili o inavvertibili, ovvero conseguenti ad errate manovre, in brevissimo tempo hanno vulnerato e distrutto le difese esistenti (*Rusconi et al.*, 2002).

In molte situazioni la difesa contro le inondazioni, affidata a queste opere, dipende in realtà dalla "buona sorte", in quanto molto frequentemente non sono note né le caratteristiche geotecniche delle strutture, né i rimaneggiamenti subiti nel tempo.

In altri termini, per il sistema arginale non vanno mai trascurati i fattori di degenerazione e di imprevedibilità che richiedono pertanto precise attività di monitoraggio, presidio e manutenzione (*Regione del Veneto*, 2011).

In letteratura sono disponibili recenti lavori che forniscono delle prime indicazioni di come valutare l'incertezza legata ad una rotta arginale nella mappatura delle aree allagate (ad esempio, *Ranzi et al.*, 2012).

Ciò nonostante, viste le finalità già precedentemente richiamate della piattaforma previsionale in questione e alla luce della ricorrente indeterminatezza del luogo esatto dove può verificarsi una certa rotta, è stato ritenuto opportuno adottare uno schema monodimensionale, conservativo nei volumi.

In particolare è stato utilizzato il codice di calcolo MIKE11, sviluppato dal Danish Hydraulic Institute, che è in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei; lo schema di soluzione numerica, che è molto efficiente limitando i tempi di calcolo, consente un'adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena anche in presenza di strutture in alveo, quali manufatti di derivazione, ponti e soglie (*DHI*, 2005).

3 APPLICAZIONE AL BACINO DEL BACCHIGLIONE

Il fiume Bacchiglione si può considerare l'emissario di una vasta e complessa rete idrografica che si estende per gran parte nella zona montana e pedemontana del territorio vicentino e che dal punto di vista idrografico comprende sia sistemi di risorgiva che sistemi di carattere fluviotorrentizio. Al fine di rappresentare in modo compiuto tale sistema, il bacino tributario del Bacchiglione è stato considerato come un insieme di sottobacini, caratterizzati ciascuno da una propria risposta idrologica e connessi tra loro principalmente da fenomeni di tipo propagatorio (Figura 2).

Nella zona di pianura l'idrografia del Bacchiglione si fa ancora più complessa sia per la presenza di collegamenti con il fiume Brenta, sia per le diramazioni, anche artificiali, che presenta in prossimità del nodo idraulico attorno alla città di Padova (*Autorità di Bacino*, 2011).



Figura 2. Bacino tributario del fiume Bacchiglione.

Per la caratterizzazione meteo-climatica dell'area esaminata sono disponibili misure acquisite con frequenza oraria, e relative a pluviometrie, termometrie, anemometrie, igrometrie, nivometrie, radiazione solare, idrometrie, oltre a mappe pedologiche e di uso del suolo per la caratterizzazione dei suoli, per l'intervallo di 12 anni dal 01/01/2000 ad oggi. I dati raccolti, spazialmente distribuiti sul territorio in esame, fanno riferimento a 40 stazioni pluvio-meteorologiche e 10 stazioni idrometriche.

3.1 Calibrazione

Al fine di limitare i parametri del modello idrologico da calibrare, essi sono stati ricondotti, ove possibile, alle caratteristiche fisiche dei singoli sottobacini e dei suoli, facendo riferimento a valori noti in letteratura (*Cosby et al.*, 1984; *Dingman*, 1994; *Lai & Katul*, 2000). Fanno eccezione i parametri C , c e $v_{subsuperficiale}$, che sono stati invece ricavati con calibrazione automatica per i bacini posti a monte di sezioni strumentate

mediante confronto tra idrogrammi osservati e simulati, e per il parametro k_p , determinato da un'analisi del tratto di esaurimento degli idrogrammi di piena. L'obiettivo dell'operazione di taratura è stato quello di ottenere un unico set di valori che per l'intero periodo di 12 anni studiato permettesse di ottenere il minor scarto, sia in termini di valore al colmo che di volumi complessivamente defluiti, tra idrogrammi calcolati e derivati da osservazioni sperimentali (Tabella 1).

Bacino	C (-)	c (-)	$v_{\text{subsuperficiale}}$ (m/s)	k_p (1/h)
Astico a Lugo	0.01 ÷ 0.6	0.001 ÷ 0.06	0.001 ÷ 0.008	0.0006 ÷ 0.003
Laverda-Chiavone a Bressanvido	0.1 ÷ 0.4	0.01 ÷ 0.05	0.003 ÷ 0.006	0.002
Leogra a Torrebelvicino	0.3 ÷ 0.4	0.01 ÷ 0.02	0.001 ÷ 0.003	0.0013
Timonchio a Santorso	0.4 ÷ 0.6	0.01 ÷ 0.02	0.001 ÷ 0.003	0.0012
Giara-Orolo a Malo	0.3 ÷ 0.5	0.01 ÷ 0.02	0.001 ÷ 0.003	0.0013
Valtessera a Isola Vicentina	0.3 ÷ 0.5	0.01 ÷ 0.02	0.001 ÷ 0.003	0.003
Retrone ad Altavilla	0.3 ÷ 0.4	0.005 ÷ 0.01	0.002 ÷ 0.004	0.002
Interbacini di pianura	0.2 ÷ 0.6	0.005 ÷ 0.01	0.001 ÷ 0.003	0.001

Tabella 1. Parametri ricavati da taratura per i diversi bacini. I range di variabilità sono relativi alla differenziazione dei valori per i diversi sottobacini in cui sono suddivisi i bacini.

3.2 Validazione

Sulla base dei parametri idrologici ottenuti dalla calibrazione, la congruenza della risposta dell'intero bacino idrografico simulata con il modello integrato (idrologico-idraulico) è stata valutata mediante un confronto calcolato-osservato dei livelli idrometrici registrati nelle stazioni idrometriche ARPAV di Bolzano Vicentino, Longare, Lugo di Vicenza, Montegalda, Ponte Marchese, S. Agostino, Vicenza (Ponte degli Angeli), ubicate lungo il reticolo di pianura e non considerate nella calibrazione del modello idrologico. Le scabrezze adottate nel modello propagatorio sono state assunte sulla base dei risultati di uno studio finanziato dall'*Autorità di Bacino* (2009).

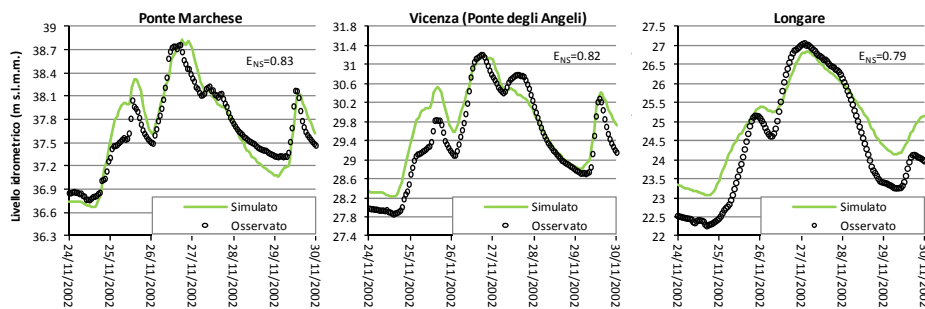


Figura 3. Confronto tra i livelli idrometrici simulati e osservati (stazioni idrometriche ARPAV) in corrispondenza del Timonchio a Ponte Marchese, del Bacchiglione a Vicenza (Ponte degli Angeli), del Bacchiglione a Longare, relativamente all'evento 24-30/11/2002.

In Figura 3 si riportano i confronti dei livelli simulato-osservati agli idrometri di

Ponte Marchese, Ponte degli Angeli (Vicenza) e Longare (a valle dell'immissione del Tesina) relativi all'evento del novembre 2002, con i corrispettivi indici di efficienza (Nash & Sutcliffe, 1970).

Analogamente in Figura 4 e 5 i risultati della validazione condotta sono sintetizzati nella rappresentazione di alcuni degli eventi più significativi registrati alla stazione idrometrica ARPAV di Ponte degli Angeli, sezione strategica per la previsione delle piene in corrispondenza di Vicenza.

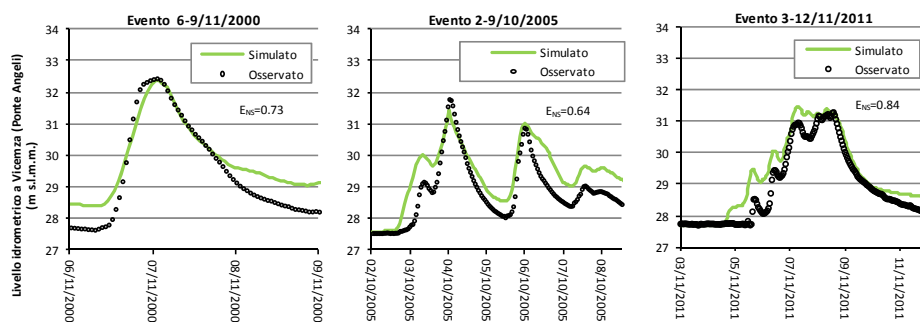


Figura 4. Confronto tra i livelli idrometrici simulati e osservati (stazione idrometrica ARPAV) in corrispondenza del Bacchiglione a Vicenza (Ponte degli Angeli), relativamente agli eventi del 6-9/11/2000, del 2-9/10/2005 e del 4-11/11/2011, e relativi indici di efficienza.

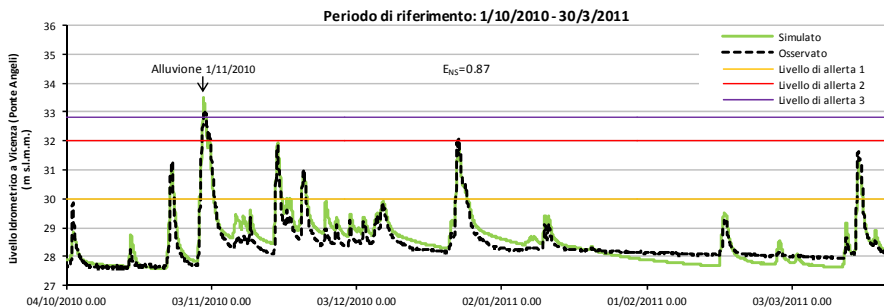


Figura 5. Confronto tra i livelli idrometrici simulati e osservati (stazione idrometrica ARPAV) in corrispondenza del Bacchiglione a Vicenza (Ponte degli Angeli), relativamente al periodo 1/10/2010 - 30/3/2011, e relativo indice di efficienza. Si riportano in figura anche i livelli delle tre soglie di allerta impostate in AMICO per la suddetta sezione (allerta 1: -3m; allerta 2: -1m; allerta 3: -0.2m dalla quota arginale inferiore).

Come emerge dall'analisi della Figura 5, il modello previsionale integrato non è solo in grado di ben riprodurre i deflussi in corrispondenza di eventi meteorici significativi, ma riproduce con buona approssimazione anche l'andamento dei livelli osservati in continuo. In particolare nella ricostruzione del periodo considerato (ott. 2010-mar.2011) il modello, sulla base dei livelli di allerta individuati per la sezione considerata, ha correttamente isolato gli eventi potenzialmente a rischio idraulico. In concomitanza di tali eventi era stato infatti emesso l'avviso di criticità idrogeologica-idraulica da parte del C.F.D. della Regione Veneto.

Ringraziamenti. Molte delle attività di ricerca alla base di questo lavoro sono state

finanziate dal progetto KULTURisk, FP7 Cooperation Work Programme 2010.

BIBLIOGRAFIA

- Autorità di bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, Indagine sulle portate massime convogliabili dalle principali aste fluviali del bacino del Bacchiglione chiuso a Montegalda, Adriatico Martini P. & Studio Altieri, 2009.
- Barredo, J.I. Normalised flood losses in Europe: 1970-2006. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 9(1), 97-104, 2009.
- CRED EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database – www.emdat.be, Università Catholique de Louvain, Brussels (Belgium), 2011.
- Cosby, B.J., Hornberger G.M., Clapp R.B. & Ginn T.R. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils, *Water Resources Research*, 20, 682-690, 1984.
- De Smedt, F.H., Liu Y.B. & Gebremeskel S. Hydrologic modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information, Risk Analysis II, C.A. Brebbia (Ed), WIT press, Southampton, Boston, pp.295-304, 2000.
- DHI Mike11_ref. Intecno, Torino 2011.
- Dingman, S. L. Physical Hydrology, 2nd Edition, Prentice Hall, p.646, 2002.
- Lai, C.T. & Katul G., The dynamics role of root-water uptake in coupling potential to actual transpiration, *Advances in Water Resources*, 23, 427-439, 2000.
- Laio, F., Porporato A., Ridolfi L. & Rodriguez-Iturbe I. Plants in water-controlled ecosystems: active role in hydrologic processes and response to water stress II: Probabilistic soil moisture dynamics, *Advances in Water Resources*, 24, 707-723, 2001.
- Nash & Sutcliffe, River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10, 282-290, 1970.
- Ranzi R., Barontini S., Mazzoleni M., Ferri M. & Bacchi B. Levee breaches and “geotechnical uncertainty” in flood risk mapping, *2nd IAHR Europe Congress Proceedings*, Munich, 2012.
- Regione del Veneto, Evento alluvionale del 31 ottobre - 2 novembre 2010 - Piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico predisposto ai sensi dell'art. 1 comma 3 lettera g) dell'ordinanza n. 3906 del 13/11/2010, 2011.
- Rodriguez-Iturbe, I. & Rinaldo A., Fractal river basin, Cambridge Univ. Press, 466-524, 1997.
- Rogers, D., Tsirkunov V. Global assessment report on disaster risk reduction – Costs and benefits of early warning systems, 2011.
- Rusconi A., Baruffi F. & Ferri M. Metodologia speditiva per la perimetrazione delle aree di pianura a probabilità di inondazione, *Atti del XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, Potenza, 2002.
- Teisberg, T.J. & Weiher R.F. Background Paper on the Benefits and Costs of Early Warning Systems for Major Natural Hazards, 2009
- SCS. Hydrology. National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4. Soil Conservation Service, US Department of Agriculture: Washington, DC, 1972.
- Tarboton, D.G. & Luce C.H., Utah energy balance snow accumulation and melt model (UEB), computer model technical description and users guide, Utah Water Research Laboratory, Utah State University and USDA Forest Service, Intermountain Research Station, 41, 1996.
- Vellinga P. & van Verseveld W.J. Cambiamenti climatici ed eventi meteorologici estremi. *Attenzione n°17, Dossier: l'ambiente da vincolo ad opportunità*, 2000.
- UN-ISDR Terminology: Basic terms of disaster risk reduction, <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng%20home.htm>, International Strategy for disaster reduction, Genere, 2004.