

## **L'INFRASTRUTTURA "NEWAGE" PER LA PREVISIONE E LA GESTIONE DEI BILANCI IDRICI A SCALA DI BACINO: I - LA STRUTTURA INFORMATICA**

*A. Antonello<sup>1</sup>, S. Franceschi<sup>1</sup>, G. Formetta<sup>2</sup> & R. Rigon<sup>2</sup>*

- (1) HydroloGIS - Soluzioni Open Source per l'Ambiente - Via Siemens 9, 39100 Bolzano email: info@hydrologis.com  
(2) Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università di Trento, Italia, e-mail: riccardo.rigon@ing.unitn.it

### **SOMMARIO**

*Viene presentato NewAge: un applicativo per la gestione idrologica del ciclo idrologico a scala di bacino. Il modello è implementato all'interno di JGrass, un sistema informativo territoriale (GIS) nato per supportare applicazioni idrologiche. La presente memoria analizza la struttura del sistema informatico che sta alla base dell'applicativo. Tale struttura si compone di quattro parti fondamentali: i) il database geografico SQL in cui sono immagazzinate le informazioni relative al bacino in esame (nel caso presentato il bacino dell'Adige); ii) il sistema di visualizzazione dei dati e dei risultati del modello; iii) il JGrass data master, per l'utilizzo semplificato del database via web, e iv) il sistema modellistico costruito attorno ad uno standard "a componenti". Nella memoria sono discusse le ragioni delle scelte implementative ed è presentato un caso d'uso del sistema che ne illustra alcune funzionalità.*

### **1 INTRODUZIONE**

Sin dagli anni '90 (Rosso *et al.*, 1992) la comunità idrologica si è posta il problema di inserire una modellazione idrologica semi-distribuita o distribuita in un ambiente informatico che consentisse di rendere facili le analisi idrologiche da parte dei ricercatori e di gestire bacini idrografici reali nei quali, accanto ai fenomeni fisici, agissero opere idrauliche di varia complessità. Il sistema NewAge, implementato su parte del bacino dell'Adige, rappresenta un tentativo, aggiornato alle tecnologie informative più recenti, di dare corpo alle istanze di vent'anni fa, largamente inattuato per mancanza di strumenti tecnologici adeguati e fruibili.

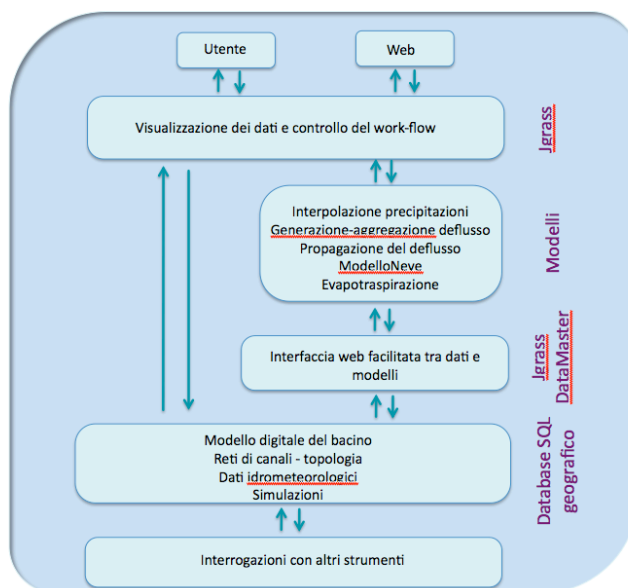
Il problema è composto da varie parti: lo stoccaggio, l'accesso e la fruizione dei dati idrologici di base e dei dati geometrici e topologici inerenti al bacino; il loro trasferimento dai database all'utente/modellatore; la configurazione e l'esecuzione dei modelli (in locale o in remoto su computer opportunamente attrezzati); ed infine la visualizzazione, l'analisi e lo stoccaggio dei risultati.

Normalmente un modello idrologico non contiene tutte queste parti, sacrificando una o l'altra delle funzioni: solitamente, in ambito scientifico quella di stoccaggio dei dati, che è effettuata senza un'accurata pianificazione nel "file system" del sistema sul

quale i modelli sono eseguiti. In molti casi, prossimi alla ricerca, i modelli non usufruiscono neppure di un'interfaccia utente, che viene surrogata da programmi di visualizzazione integrati in sistemi di calcolo scientifico (e.g. IDL, Matlab, Mathematica). La modellazione, a sua volta, è spesso attuata con programmi scritti nei linguaggi procedurali tradizionali, senza sfruttare le opportunità offerte dalla programmazione ad oggetti e senza riferimento alle moderne tecnologie informatiche (e.g. Rizzoli et al., 2005) di cui peraltro gli scienziati del settore non riescono spesso a cogliere l'utilità pur dove si presentino.

Da questo punto di vista, NewAge rappresenta un tentativo di utilizzare questi nuovi concetti e di interpretarli dal punto di vista dell'idrologo.

Per rispondere alle esigenze sopra elencate, il sistema informatico NewAge è costituito da quattro componenti principali: a) il database SQL geografico, b) il JGrass data master, c) il sistema informatico geografico e/o applicativo di gestione dati centralizzata e d) i modelli idrologici, come rappresentato in fig (1). Tutte le componenti sono basate su tecnologie Free Open Source e su standard internazionali.



**Figura 1.** Rappresentazione schematica del sistema NewAge e delle interazioni tra le parti

Il database di NewAge è basato su un sistema relazionale gestito con linguaggio SQL, per l'interrogazione, la gestione e la modifica dei dati archiviati (e.g. Kline, 2003; Chappel, 2009). I vantaggi offerti da un database rispetto all'archiviazione di dati su file system sono molteplici, tra cui: la possibilità di interrogare ed estrarre dati attraverso l'opportuna sequenza di comandi; l'accesso ad un insieme di strumenti per il controllo dell'integrità degli stessi dati; la possibilità di fare copie dell'archivio in modo standardizzato.

NewAge si basa, in particolare sul sistema open source PostgreSQL

(<http://www.postgresql.org/>) arricchito da funzionalità geografiche attraverso l'estensione PostGIS (<http://postgis.refrains.net/>). L'estensione geografica consente di gestire ed interrogare, oltre ai dati normali, *features* (caratteristiche) vettoriali, ovvero le linee e polilinee che, nel caso in esame rappresentano le reti idrografiche e la loro topologia, i bacini elementari o le opportune porzioni di territorio di cui il modello fa uso per il calcolo tra i quali corpi idrici naturali (laghi) o artificiali. Naturalmente, PostgreSQL/Postgis è lo strumento attraverso il quale il database è istanziato. Quest'ultima azione richiede una strutturazione di tabelle tra loro interconnesse, che costituiscono un modello di bacino digitale (e.g. Maidment, 2002) in cui sono archiviati: i dati spaziali, le loro proiezioni, la loro risoluzione, i metadati relativi alle stazioni di monitoraggio, i dati idro-meteorologici veri e propri, i riferimenti ai dati digitali del terreno, i dati relativi ai suoli ed alla loro copertura, i riferimenti ai dati di telerilevamento (come ortofoto, dati satellitari, dati radar di precipitazione).

Un sistema informativo territoriale (GIS) è spesso presentato come un insieme di un database, un sistema di visualizzazione e un insieme di modelli. In questo senso, NewAge è un GIS dedicato alla modellazione idrologica a scala di bacino. L'interfaccia di tale GIS è costituita dal sistema JGrass 3 - Udig 1.1, di cui è mostrata una schermata nella fig. (2). L'interfaccia in realtà è provvista non solo di strumenti di visualizzazione dei dati geografici, ma anche dei mezzi per la loro manipolazione (editing), la stampa di carte (mappe) e degli strumenti di connessione con database remoti e server web (Franceschi et al, 2010). L'utilizzo di un GIS così completo, non è di per sé giustificato dall'utilizzo dei modelli, sia pure complessi, che potrebbero essere gestiti da interfacce "ad hoc", ma dall'idea che i modelli sono un elemento di un più vasto sistema di supporto alle decisioni che, intorno ad essi, può essere in seguito costruito. Gli strumenti posti in atto da un GIS consentono infatti di rispondere adeguatamente a quasi tutte le necessità di gestione dei bacini, che sono problemi di natura "spaziale". In particolare questo avviene in merito valutazione degli impatti che il ciclo idrologico ha sul territorio, qualora gli strati informativi prodotti dai modelli debbano essere incrociati adeguatamente con i vari strati informativi, come per le infrastrutture stradali ed i centri urbani.

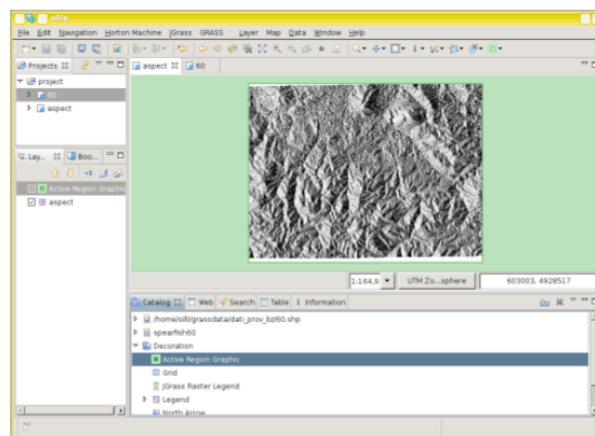
L'interfaccia di JGrass naturalmente assolve il compito di esecuzione dei modelli che compongono NewAge, attraverso delle tabelle opportunamente progettate che, identificati i dati di input e le modalità di esecuzione, facilitano l'esecuzione.

Sebbene sia possibile, in linea di principio, lanciare le simulazioni dopo aver richiesto i dati necessari direttamente al database, per facilitare ed automatizzare le operazioni più semplici è stato implementato un semplice servizio web, detto JGrass Data Master. Esso implementa le "query" di interrogazione dei dati remoti, nascondendo all'utente finale la complessità del linguaggio SQL; tali dati, acquisiti dal database centrale, vengono poi trasferiti in locale. Il datamaster consente di scaricare i dati richiesti dal database in formati idonei al processamento da parte dei modelli componenti NewAge. A modellazione avvenuta esso consente anche di caricare (senza dover conoscere il linguaggio SQL) i risultati della modellazione sul database centrale per successive consultazioni ed elaborazioni.

Molti GIS sono progettati per trattare informazioni statiche e non sono capaci di interagire con la dinamica dei modelli (e.g. Burrough, 1998; Wesseling et al., 1996) rendendo così difficile, se non impossibile effettuare proiezioni reali dei fenomeni ed un trattamento efficace degli scenari futuri.

Non è il caso del sistema JGrass/NewAge che implementa un'infrastruttura modellistica sofisticata basata sui protocolli OpenMI (<http://www.openmi.org>).

In sintesi, l'accoppiamento tra GIS e modelli, si potrebbe essere classificato come: debole, forte e organico. Si ha un legame debole quando il GIS e i modelli sono sostanzialmente oggetti separati, che tuttavia possono essere usati cooperativamente se esistono delle modalità di importazione e/o esportazione dei dati dall'uno all'altro sistema.



**Figura 2.** Rappresentazione dell'interfaccia Jgrass 3 - Udig 1.1

Nell'accoppiamento forte, lo scambio di dati tra GIS e modelli è completamente automatico. Questo comporta un carico di lavoro aggiuntivo per il modellista che deve scrivere l'input/output del modello in modo che quest'ultimo possa leggere direttamente i dati GIS. La terza modalità è quella in cui il modello è completamente asservito al GIS, che dispone del linguaggio in cui è scritto il modello.

A differenza dei tre casi precedenti, NewAge implementa la metafora della programmazione a componenti (e.g. Rizzoli et al., 2004). Quest'ultima consente di separare i vari elementi modellistici, tra cui l'input/output, in moduli indipendenti tra i quali è specificata una serie di modalità di comunicazione con gli altri moduli, dette interfacce; esse permettono la connessione dei moduli richiesti, attraverso una fase intermedia tra la compilazione e l'esecuzione detta fase di "linking" che generalmente avviene attraverso linguaggi di scripting o dei sistemi visuali. I moduli connessi durante l'esecuzione si scambiano i dati in memoria RAM. Nel sistema NewAge tutte le parti per cui è possibile farlo, sono una componente, compresi molti elementi di trattamento di dati geografici.

Il sistema a componenti permette una più facile implementazione dei codici (ogni parte è incapsulata), facilita lo sviluppo cooperativo dei sistemi multi processo e consente la cooperazione di moduli alternativi all'interno della stessa catena modellistica. La proprietà "object oriented" utilizzata dalle componenti è l'incapsulamento delle parti modellistiche che possono, secondo le specifiche, essere progettate, scritte e testate indipendentemente le une dalle altre, permettendo così un

più facile sviluppo cooperativo tra più soggetti.

## **2 IMPLEMENTAZIONE**

Di seguito sono illustrate le componenti del sistema NewAge, in particolare il database J-Hydro, JGrass, e le interfacce modellistiche a componenti, mentre per gli aspetti legati a JGrass come GIS si rimanda a *Antonello et al.* (2010).

### **2.1 Il database J-Hydro**

J-Hydro rappresenta il prototipo di database capace di fornire tutti i dati di input necessari per il funzionamento di tutti i modelli contenuti nella struttura informatica NewAge. Questo comporta la creazione di tabelle finalizzate al contenimento di informazioni che descrivano il bacino idrografico dal punto di vista geometrico-topologico, e di altre in cui siano invece archiviati i dati relativi alle misure delle grandezze meteorologiche (precipitazione, temperatura, ecc.) e idrometriche (livello idrometrico, portata) rilevanti al fine della realizzazione di un'analisi di bilancio idrico. Da questo punto di vista le tabelle di J-Hydro sono modellate sull'esempio del sistema ArcHydro (*Maidment, 2002*) e tengono conto della lezione del più recente ODM (*Hornsburg et al., 2008*). Relativamente a quegli standards, tuttavia, J-Hydro si pone due problemi: l'inserimento di infrastrutture idrauliche come derivazioni, restituzioni, invasi e dighe e la possibilità di trattare un bacino dissezionandolo a scale diverse (*Franceschi et al., 2010*). Gestire la rete e le grandezze ad essa correlate ai diversi gradi di dettaglio risulta di fondamentale importanza perchè consente di calibrare il carico di dati gestito dai modelli in base alle finalità ed alla tipologia di analisi sviluppata. A tale scopo la rete del bacino è stata numerata in accordo ad una estensione del metodo di Pfafstetter (*Verdin and Verdin, 1999*)

L'inserimento nel database dei dati geometrici del bacino di studio si realizza per mezzo degli shapefile della rete idrografica, dei corpi idrici superficiali e dei bacini ad essa legati a diversi ordini di dettaglio. Questi ultimi sono compresi tra un minimo, contenente come unica entità geometrica il corso d'acqua principale, ed un massimo, in cui sono rappresentati tutti i corsi d'acqua della rete e tutti i sottobacini secondo la già citata numerazione di Pfafstetter. Nel database sono inoltre archiviate altre caratteristiche geometriche, descritte nel paragrafo successivo funzionali ai modelli (*Formetta et al., 2010* ed *Endrizzi et al., 2010*).

Per completare i dati che vengono utilizzati dai modelli è necessario conoscere le informazioni legate ai nodi della rete che possono essere di due tipologie: a) entità topologiche, come i punti di inizio e di fine dei canali, nodi relativi ai punti di confluenza di un corso d'acqua in un altro; b) nodi legati ai punti di monitoraggio, punti della rete a cui fanno riferimento informazioni relative alla gestione delle portate, come possono essere gli idrometri, le opere di presa, i serbatoi e i punti di restituzione delle acque turbinate a valle delle centrali idroelettriche. Ogni nodo può fungere da caposaldo per il calcolo delle portate fluenti.

Come accadeva per la rete ed i bacini è necessario, anche per i nodi della rete, esplicitare i rapporti di dipendenza con le altre entità geometriche oggetto di analisi. Ad

esempio, ogni opera di presa che dà origine ad un canale artificiale sarà quindi presente nel database accompagnata dall'indicazione sia del corso d'acqua da cui deriva l'acqua, sia del canale in cui l'acqua viene eventualmente riversata. In fig. (3) sono rappresentate le tabelle del database.

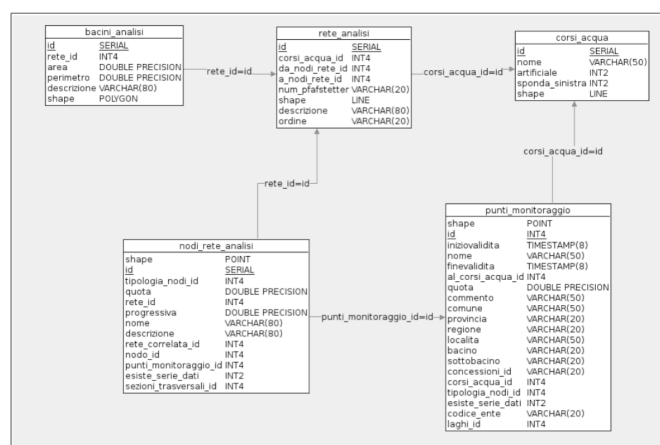


Figura 3. Schematizzazione di alcune tabelle del database J-Hydro

Le grandezze idro-meteorologiche (dati di temperatura, pioggia, pressione, umidità, velocità del vento, i dati registrati dagli idrometri) sono archiviate a seconda del tipo di stazione di misura e della tipologia di dati che la singola stazione registra.

I serbatoi sono descritti con una specifica tabella in cui sono riportati tutti i dati anagrafici dei singoli invasi, l'indicazione del punto della rete in cui l'acqua raccolta dal singolo serbatoio viene restituita una volta turbinata. Specifiche tabelle sono previste anche per i dati relativi alle portate turbinate e per quelli relativi alle opere di presa. Ulteriori informazioni di dettaglio sul database J-Hydro sono contenute in *Franceschi et al.* (2010).

## 2.2 Modelli idrologici e modellazioni in NewAge

I modelli idrologici attualmente implementati in NewAge sono: il modello di interpolazione delle precipitazioni, il modello di generazione del deflusso, il modello di aggregazione del deflusso, il modello di propagazione che integra l'equazione monodimensionale di De Saint-Venant, il modello di accumulo e scioglimento della neve. Di questi modelli è detto in *Formetta et al.* (2010) ed in *Endrizzi et al.* (2010). Il riferimento completo è però contenuto in *Franceschi et al.* (2010). In questa memoria è discusso non tanto la modellistica implementata, quanto piuttosto come i modelli sono implementati. Tali modelli sono infatti implementati secondo lo standard OpenMI 1.4 ([www.openmi.org](http://www.openmi.org)). *Gregesen et al.* (2007) definisce le componenti, dette *linkable components*, degli elementi software che eseguendo uno specifico task (ad esempio il

calcolo delle portate alla chiusura di un versante) scambiano dati in modo dinamico con altri elementi componenti, essi stessi *linkable components*. Per esempio il modulo di produzione del deflusso scambia dati con il modulo di aggregazione del deflusso che a sua volta ne scambia con il modulo di propagazione. Al fine di eseguire queste operazioni, ogni componente definisce degli *input and output exchange items* che costituiscono i dati di scambio con gli altri moduli.

Questi dati possono essere: a) *scalarset temporali* ossia dati contenenti i valori di specificate variabili in cui viene riportato il valore di ogni istante temporale; b) *scalarset non temporali* ossia sono dati che possono avere tipologie diverse in funzione della quantità che si sta trattando. Generalmente uno *scalarset* contiene in se sia l'informazione legata ai dati che quella legata all'entità geometrica a cui è riferito, per esempio un nodo o un versante, e sono forniti opportuni strumenti di congruenza tra strutture geometriche diverse. Modelli differenti possono girare con una scansione temporale differente e, conseguentemente, lo standard OpenMI definisce anche meccanismi di gestione e sincronizzazione della scansione temporale.

Il modello vero e proprio è un' istanza della *linkable component* che include anche i dati (con le specifiche spazio-temporali) relativi al suo funzionamento. Secondo OpenMI, due o più modelli che possono essere connessi assieme formano una *composition*. In tal senso, NewAge è una *composition* di modelli (essenzialmente quelli elencati all'inizio del paragrafo) che include anche dati non temporali, come quelli geometrici.

Ciascuna delle componenti OpenMI richiede i dati prima del loro uso e provvede gli output appena questi sono generati. La lettura/scrittura dei dati su file prevede, peraltro, che siano poste in atto degli apposite componenti (*readers* e *writers*).

Da un punto di vista del diagramma di flusso di lavoro, il codice di una componente può essere distinto in varie parti funzionali: i) *inizializzazione*: in questa fase, la *linkable component* viene popolata con i dati e rende visibile alle altre componenti i dati che può scambiare (nel gergo OpenMi gli *exchange items*), definendo link con altre componenti; ii) *Una fase di calcolo*: questa comprende anche l'esecuzione di passi temporali successivi ed in generale la gestione dello scambio di dati, che avviene direttamente tra due componenti, in memoria e senza l'intervento di elementi esterni; il trasferimento di dati può essere monodirezionale o bidirezionale; iii) *chiusura*: in cui tutte le variabili sono de-allocate, i link chiusi, etc.

Il codice di NewAge è interamente scritto nel linguaggio Java, ma il protocollo permette di connettere componenti scritte in linguaggi diversi, per esempio FORTRAN e C/C++, purchè il codice sia organizzato in parti funzionali separate, ciascuna contenente le tre fasi sopra-elencate (*inizializzazione*, *esecuzione*, *chiusura*) con interposto tra *inizializzazione* e *chiusura*, il loop temporale MI. Si può entrare nel dettaglio delle fasi di funzionamento di una *linkable component*, come descritto in *Gijsbers and Gregersen (2004)* in cui la fase di *inizializzazione* è distinta in tre operazioni successive (*inizializzazione* e *istanziamento* di oggetti e dati e *configurazione* degli oggetti necessari per la connessione delle componenti) e la fase di *chiusura* in due azioni (*finish* and *dispose*).

NewAge, inoltre, espande OpenMi. Infatti OpenMi scambia i riferimenti ai dati relativi a scalari o vettori e le geometrie come una collezione di vertici. Al fine di passare il riferimento ad interi insiemi di dati, JGrass (e quindi NewAge) ha implementato un *OGC grid coverage service*, ovvero uno strumento fornito dalle

librerie *geotools* (<http://www.geotools.org>) dell' Open GIS Consortium (OGC) per trattare efficientemente grandi moli di dati spaziali. Nello specifico, i GridCoverage sono oggetti (nel senso della programmazione ad oggetti) che contengono una matrice di numeri, informazioni relativamente alla collocazione spaziale dei medesimi numeri e vari metadati, trattati e codificati in modo standard. JGrass estende in modo naturale le librerie OpenMI.

### 3 UN CASO D'USO

Il funzionamento del sistema modellistico ha diverse opzioni ma, nella sua forma più semplice, avviene come segue.

In primo luogo ci si connette al database attraverso il datamaster. Per effettuare l'analisi idrologica e idraulica è necessario estrarre i dati meteorologici relativi all'intervallo di tempo selezionato, estrarre le geometrie di bacini e reticolo idrografico a monte della sezione di chiusura individuata, ed individuare i punti notevoli all'interno della geometria selezionata di cui fanno parte dighe, derivazioni, restituzioni di portata ed idrometri.

Inoltre è possibile consultare i dati contenuti nel database come ad esempio portata o pioggia misurata in una determinata stazione, dati relativi a scarichi delle dighe o alle derivazioni. Le operazioni di download dal database dei dati necessari alle simulazioni è guidata da un'interfaccia grafica di semplice ed immediata comprensione. Una volta scaricati tutti i dati necessari, è possibile iniziare con l'applicazione dei modelli la cui struttura è rappresentata in fig. (4).

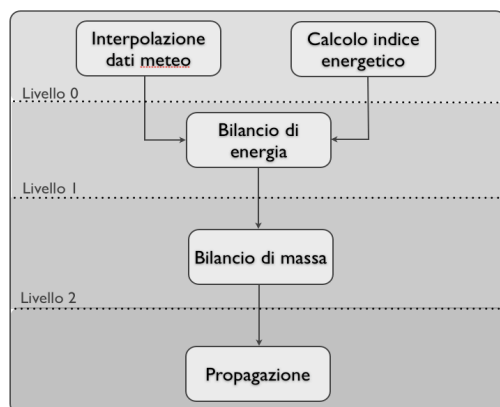


Figura 4. Schematizzazione delle fasi di esecuzione dei modelli

Il modello relativo al bilancio di energia, *h.energybalance*, richiede, per ogni istante temporale di simulazione e per ogni hillslope, un valore di pioggia, pressione, temperatura umidità e velocità del vento. Tali valori si otterranno a partire dai dati scaricati dal database e attraverso l'uso dell'interpolatore di dati meteo che comprende due modelli di interpolazione di dati meteorologici; a secondo delle caratteristiche della



variabile considerata si può usare: un kriging (Goovaerts, 1997) nel caso in cui la variabilità di quest'ultima non dipende dalla quota o un sistema semplice e robusto, implementato *ad hoc* (Franceschi et al, 2010), nel caso in cui la dipendenza con la quota è rilevante.

I dati meteorologici interpolati costituiscono solo una parte degli input necessari al modulo del bilancio energetico. Questo richiede i dati geografici relativi alla suddivisione degli hillslopes in fasce altimetriche e "bande energetiche", cioè zone calcolate con l'eicalculator, che presentano valori di radiazione incidente omogenei (Endrizzi et al., 2010). Infrastruttura e modelli sono disponibili con licenza LGPL3 e GPL3 su <http://www.jgrass.org>.

Il sistema è costruito per rispondere sia ad esigenze applicative di enti preposti alla gestione delle risorse idriche e del pericolo idraulico, che a quelle della ricerca attraverso la sua struttura a componenti.

Al momento, le parti di produzione e aggregazione del deflusso superficiale sono raggruppate in un'unica componente, h.adige, che necessita sia degli output di h.kriging che di quelli relativi al bilanci di energia. Inoltre vengono utilizzati anche i dati relativi alle eventuali dighe, derivazioni, immissioni di portata turbinata, nonché i dati relativi all'evapotraspirazione (costante, Penman-Monteith o Priestley-Taylor).

Il modello h.adige restituisce come output, per ogni hillslope e per ogni istante temporale di simulazione la percentuale di area satura, il deflusso superficiale da suolo saturo e non saturo, l'infiltrazione, l'evaporazione da suolo saturo e non saturo, la portata di ricambio della falda tra suolo saturo e non saturo e quella subsuperficiale da suolo saturo. Inoltre prevede la visualizzazione dell'idrogramma di portata simulata e misurata nonché dello ietogramma delle piogge nel periodo di simulazione nei vari punti di interesse.

Infine, in cascata al modulo h.adige, attraverso il modello h.saintgeo è possibile simulare la propagazione della portata fra due sezioni qualsiasi la cui geometria è contenuta nei files scaricati dal datamaster. Il modello si basa sulle equazioni di De Saint Venant monodimensionali che prevedono anche l'introduzioni di punti di derivazione o immissione di portata. Come output, h.saintgeo, restituisce i files contenenti l'identificativo della generica sezione, la velocità media in sezione, il numero di Froude, il livello idrometrico e la portata per ogni istante di simulazione. Anche in questo caso, come per il modello idrologico, è possibile visualizzare un grafico in tempo reale che rappresenta i talweg delle sezioni considerate, le quote degli argini, il profilo del moto e varie altre informazioni (Franceschi et al, 2010).

A simulazione eseguita, il Datamaster consente l'upload dei risultati nel database. che contiene le opportune tabelle.

#### **4 CONCLUSIONI**

In questa memoria è illustrata l'infrastruttura modellistica NewAge che consiste in un moderno sistema per l'archiviazione e l'accesso di dati idrologici ed implementa un modello gerarchico di bacino digitale; un sistema di visualizzazione e trattamento dei dati basato sul GIS Jgrass; uno strumento per l'accesso facilitato ai medesimi basato su tecnologia WEB; una soluzione estensibile a componenti per la modellazione di tutti quei fenomeni idro-meteorologici che risultano di fondamentale importanza per una gestione ottimale delle risorse idriche.

**Ringraziamenti.** NewAGE è frutto della collaborazione tra il CUDAM (Centro Universitario per la Difesa Idrologica dell'Ambiente Montano), dell'Università degli Studi di Trento, della società di ingegneria HydroloGis e dell'Autorità di Bacino del fiume Adige.

#### **BIBLIOGRAFIA**

- Antonello, A., Franceschi S. e Rigon R. JGrass3: manuale utente, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento, 2010
- Burrough, P.A., Dynamic Modelling and GIS, Chapter 9, In: P. Longley et al.(Eds), Geocomputation: a Primer. New York: Wiley. pp. 165-192, 1998
- Chapple, M."SQL Fundamentals". <http://databases.about.com/od/sql/a/sqlfundamentals.htm>. Retrieved 2009-01-28.
- Endrizzi, S., Formetta G, Franceschi S., Antonello A. e Rigon R., Il sistema NewAge per la previsione e la gestione dei bilanci idrici a scala di bacino. III - Il bilancio di energia e della neve, Atti XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e di Costruzioni Idrauliche, Palermo 2010.
- Formetta G., Franceschi S., Antonello A., Cordano E., Mantilla R. e Rigon R., Il sistema NewAge per la previsione e la gestione dei bilanci idrici a scala di bacino. II - Modelli di generazione, aggregazione e propagazione del deflusso, Atti XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e di Costruzioni Idrauliche, Palermo 2010.
- Franceschi S., Antonello A., Formetta G., Giacomelli D. Rigon R., NewAge: manuale d'uso, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trento, 2010
- Gijsbers, P.J.A. e Gregersen J, The OpenMI Standard in a nutshell, (DHI Water & Environment), 2004
- Goovaerts, P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York, Oxford, 1997
- Gregersen JB, Gijsbers PJA, Westen SJP (2007) OpenMI: Open modelling interface. Journal of Hydroinformatics, 09.3, 175-191. doi: 10.2166/hydro.2007
- Horsburg J.S., Tarboton, D., Maidment D.R., Zaslavsky, I., A relational model for environmental and water resources data, Water Resour. Res., Vol 44, W05406, doi:10.1029/2007WR006392, 2008
- Kline, K.E. - SQL in a nutshell, O'Reilly & Associates, Inc. Sebastopol, CA, USA, 2003
- Maidment, D. R., ed., 2002. Arc Hydro: GIS for Water Resources, ESRI Press, Redlands, Ca.
- Rizzoli, A.E., M. Donatelli, R. Muetzelfeldt, T. Otjens, M.G.E. Svensson, F. van Evert, F. Villa, and J. Bolte, 2004. SEAMFRAME, a proposal for an integrated modelling framework for agricultural systems. In: Jacobsen S.E., Jensen, C.R., Porter, J.R. (Eds.), Proc. of the 8th European Society for Agronomy Congress, 11-15 July, Copenhagen, Denmark, 331-332.
- Rizzoli, A.E., Svensson M.G.E., Rowe, E. C., Donatelli M, Muetzelfeldt, R, van der Wal, T, van Evert F.K. Villa F., Modeling Framework (SeamFrame) requirements, SEAMLESS Report no 6, Ref PD5.2.2., ISBN 90-8585-034-7, Wageningen, 2005
- Rosso, R., Nash model relation to Horton order ratios, Water Resour. Res., 20(7), 914-920, 1984.
- Verdin, K.L. and J.P. Verdin, 1999, A topological system for delineation and codification of the Earth's river basins, Journal of Hydrology, vol. 218, nos. 1-2, pp. 1-12
- Wesseling, C.G., D. Karssenbergh, W.P.A. van Deursen & P.A. Burrough (1996), Integrating dynamic environmental models in GIS: the development of aDynamic Modelling language. Transactions in GIS 1, pp. 40-48.