

Simulazione e sistemi idroinformatici per la gestione della risorsa idrica

Claudio Schifani (*), Rudy Rossetto (**), Iacopo Borsi (***), Mario Primicerio (***),
Paolo Mogorovich (*), Enrico Bonari (**)

(*) CNR - Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione, via Morruzzi 1, Pisa
claudio.schifani@isti.cnr.it, paolo.mogorovich@isti.cnr.it

(**) Scuola Superiore Sant'Anna, P.zza Martiri della Libertà 33, Pisa
rudy.rossetto@sssup.it, enrico.bonari@sssup.it

(***) Università degli Studi di Firenze – Dip. Di Matematica, viale Morgagni 67/a, Firenze
borsi@math.unifi.it, mario.primicerio@math.unifi.it

La gestione delle risorse idriche, attualmente soggette ad una crescente pressione antropica ed alle crisi ricorrenti legate ai cambiamenti climatici, costituisce una delle problematiche ambientali cui si deve porre maggiore attenzione. In questo senso numerose raccomandazioni relative alla necessità di un nuovo approccio verso le metodologie e procedure di gestione delle risorse idriche sono state emanate recentemente anche dall'Agenzia Europea dell'Ambiente.

In questo scenario si colloca il progetto di ricerca SID&GRID (Simulazione e sistemi IDroinformatici per la Gestione delle Risorse Idriche), attualmente in corso, il cui obiettivo principale è di progettare e sviluppare un *framework open source* per l'integrazione del mondo GIS con la modellistica idrologica ed idrogeologica, per la pianificazione e gestione condivisa degli usi della risorsa idrica da parte di Enti pubblici e società preposte a tale ruolo.

The water resources management, currently subject to increasing human pressure and climate change scenarios, is one of the environmental challenges we must pay more attention to. Recently several recommendations concerning the need for a new approach to the methods and procedures of water management have been issued, also by the European Environment Agency.

This scenario places the research project SID & GRID (Simulation and Hydroinformatics Systems for Water Resources Management), currently in progress, whose main objective is to design and develop an open source framework for the GIS approach integration with the hydrological and hydrogeological modeling, planning and management of shared use of water resorted by public agencies and private companies.

Il ruolo dell'informazione geografica nella gestione della risorsa idrica

Dall'ultimo decennio del secolo scorso, le tematiche circa l'utilizzo dell'informazione geografica applicata alla gestione delle risorse idriche è stata ampiamente trattata in letteratura. Ricercatori di diversi paesi (Newell *et alii*, 1990; Gogu *et alii*, 2001; Strassberg *et alii*, 2005; de Dreuzy *et alii*, 2006) hanno concentrato i loro sforzi verso la creazione di strumenti in grado di permettere una gestione dei dati necessari alla caratterizzazione idrologica. Tali strumenti devono consentire la rappresentazione spaziale dei principali parametri idrodinamici del sistema idrologico, la caratterizzazione in termini di qualità e quantità della risorsa idrica e le variazioni di tali caratteristiche nel tempo.

A livello nazionale, il recepimento della *Water Framework Directive* (2000/60/CE) con il D.Lgs. 152/06 (già D.Lgs. 152/99) ha obbligato le Regioni a caratterizzare i principali acquiferi (definiti corpi idrici sotterranei significativi) dal punto di vista idrodinamico e idrodispersivo ai fini della

ricostruzione del modello concettuale del sistema idrogeologico e del suo monitoraggio. In particolare la Regione Toscana sulla base del D.lgs. 152/99 e successive modifiche e integrazioni (attualmente D.Lgs. 152/06) ha individuato, designato e classificato i corpi idrici sotterranei significativi ai fini della definizione del livello di tutela da garantire, nonché delle relative azioni di risanamento da mettere in atto mediante lo strumento del Piano di Tutela delle Acque.

Obiettivo del Progetto SID&GRID è di sviluppare e rendere operativo un Decision Support System basato su *software open source* che possa essere utilizzato quale strumento operativo e condiviso per la gestione e la pianificazione degli usi della risorsa idrica dalla comunità, Enti pubblici e società che gestiscono e utilizzano tale risorsa. Ciò presuppone un importante lavoro di integrazione, in ambiente open, del mondo della modellistica idrologica ed idrogeologica con il mondo della GIS *science* attraverso la progettazione e realizzazione di una interfaccia grafica. L'interfaccia grafica deve essere pensata e progettata come un sistema di controllo in grado di agevolare e guidare l'utente dalla preparazione dei dati geografici fino alla loro traduzione in variabili numeriche (dati di input) richieste dal solutore del codice del modello matematico.

“Utente al centro” e tecnologia “intelligente” pensata e sviluppata per guidare l'operatore in analisi e valutazioni che saranno a supporto di processi decisionali per la gestione della risorsa idrica. Ciò richiede un'architettura di sistema in grado di garantire anche la flessibilità ed interoperabilità dei dati geografici necessari in funzione dello specifico contesto territoriale in cui si trovi ad operare.

L'architettura di SID&GRID

La progettazione dell'architettura del sistema SID&GRID ha richiesto una fase preliminare di studio dei requisiti tra i quali è stato già citato l'essere *user oriented*.

Oltre a tale prerogativa, il sistema dovrebbe basarsi su fondamenta stabili per l'archiviazione dei dati sia geografici che non. In sintesi, le componenti individuate per lo sviluppo di SID&GRID possono elencarsi in:

- Un *GeoDataBaseManagementSystem open source* per l'archiviazione ed il trattamento dei dati;
- Un motore GIS per la restituzione ed il processamento dei dati geografici;
- Un motore matematico composto dal solutore del modello idrologico/idrogeologico e dai singoli processi da simulare;
- Un sistema di controllo visibile all'utente finale attraverso cui interagire con le componenti spaziali e numeriche;
- Un'interfaccia per la condivisione ed interoperabilità dei dati anche via Web, con standard OGC¹, attraverso la gestione dei livelli di utenza con i relativi privilegi di accesso alle basi informative.

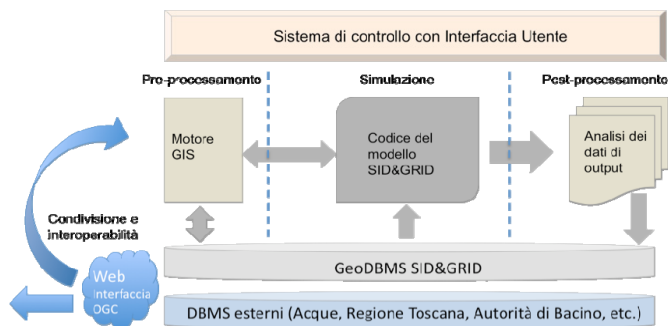


Figure 1 – Architettura logica del sistema.

¹ cfr. <http://www.opengeospatial.org/standards>

In questa architettura il codice matematico del modello idrologico e idrogeologico costituisce il *core* del sistema ed il suo solutore è in grado di ricevere i parametri di input direttamente da un ambiente GIS. L'idea di base è che l'utente non sia costretto a passare visivamente da una componente del sistema all'altra, ma che ciò avvenga solo dietro le quinte di SID&GRID mentre è l'interfaccia del sistema di controllo a chiamare debitamente le singole componenti. Inoltre, è possibile notare un'interfaccia Web strutturata secondo gli standard dell'*Open Geospatial Consortium* ed identificabile con soluzioni software open source per la pubblicazione dei dati territoriali sul web e per l'attivazione di servizi di *discovery* basati sullo standard CSW (*Catalogue Service*).

Definita la struttura logica del sistema, si è passati alla definizione delle singole componenti ed in particolare, in questa prima fase della ricerca, del codice del modello idrologico ed idrogeologico e dell'ambiente GIS per il processamento dei dati geografici in ingresso ed in uscita dal *main* del modello numerico.

Questo approccio è stato riconosciuto come prioritario poiché la gran parte dei modelli matematici già sviluppati richiedono uno o più set di dati non interoperabili con i software GIS open source disponibili. Tali *dataset* richiesti dai modelli necessitano però di elaborazioni e processamenti dei dati di tipo geografico. Tali considerazioni indirizzano verso lo studio e sviluppo di un'interfaccia integrata in ambiente GIS attraverso cui l'utente possa, in modalità guidata, elaborare e "preparare" i dati di input dei modelli matematici coerentemente alla tipologia di struttura dati richiesta da tali modelli. Ciò sarà reso possibile dallo sviluppo di appositi "traduttori" in grado di leggere le informazioni spaziali ed alfanumeriche e convertirle in variabili di input per il codice matematico del modello idrologico/idrogeologico.

Codici open source per la componente modellistica

L'analisi comparata dei codici numerici per la componente modellistica di SID&GRID ha, così come definito nel progetto, preso in esame le soluzioni open source rese disponibili e distribuite da enti di ricerca nazionali ed internazionali quali ad esempio l'U. S. Geological Survey, identificando tre categorie principali di accoppiamento:

1. Disaccoppiamento: i due sistemi (superficiale e sotterraneo) vengono risolti separatamente ad ogni passo temporale;
2. Accoppiamento iterativo: nel metodo precedente, una volta risolta l'equazione per le acque superficiali, essa viene passata all'altro sistema per essere utilizzata come condizione al bordo e dunque per giungere alla risoluzione completa di quel passo temporale;
3. Accoppiamento completo: il sistema viene risolto nella sua interezza, ad ogni passo temporale. E' evidente che questo approccio, pur essendo di maggior precisione numerica, richiede costi computazionali notevolmente maggiori.

Alla luce degli studi svolti in questa fase di indagine ed in relazione ai diversi codici analizzati (es. PRMS, SUTRA, MODFLOW, GSFLOW, etc.), sono state avanzate due macro opzioni per la configurazione della componente SID&GRID relativa al codice numerico del modello idrologico ed idrogeologico:

1. Riferirsi ad un unico *code* e migliorarne alcuni aspetti specifici di interesse: un classico riferimento è il codice GSFLOW². In tal caso il vantaggio sarebbe quello di avere a disposizione un ampio spettro dei processi simulati e soprattutto quello di avere già definito il metodo di accoppiamento;
2. Restringere il campo dei processi simulati (dopo accurata selezione) e puntare alla maggiore qualità risolutiva. Questa opzione garantirebbe una maggiore finezza nella descrizione dei processi e anche una maggiore flessibilità del codice;

2 <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/gflow/gflow.html>

La componente GIS

Altro aspetto fondamentale per il progetto SID&GRID è “l’adozione” di un ambiente GIS open source in grado di rispondere alle specifiche richieste dal progetto e dal modello idrologico ed idrogeologico. In particolare si trattava di adottare uno strumento *free e open source* per l’archiviazione e la gestione dei dati geografici ed uno per la loro restituzione ed elaborazione spaziale. Il *Data Base Management System* per SID&GRID è basato su PostgreSQL integrato con Postgis. Tale scelta, oltre alle riconosciute capacità di archiviazione ed elaborazione dei dati geografici e non, è dovuta anche all’efficiente supporto di differenti linguaggi di sviluppo come C, C++, Java, Perl, PHP, etc, che lo rendono in grado di interagire agevolmente con diversi applicativi *desktop e web*.

Più lunga e non ancora del tutto vagliata è stata l’individuazione di soluzioni GIS open source in grado di rispondere alle esigenze non soltanto di calcolo ed analisi spaziale, ma anche in termini di immediatezza e funzionalità dell’interfaccia utente. Per affrontare queste difficoltà si è partiti da un’analisi bibliografica e da studi precedentemente condotti da G. Sherman, che nel 2007 svolse un’indagine sulle possibili soluzioni desktop GIS open source in funzione delle necessità richieste dall’utente finale.

Classe utente	Richieste
Base	Visualizzazione, consultazione ed interrogazione di dati geografici.
Intermedio	Riproiezione dei dati, modifica con strumenti cad degli oggetti geografici, semplici analisi di overlay e di calcolo sugli attributi quantitativi del dato.
Avanzato	Analisi topologiche, calcoli di reti, strumenti avanzati di analisi spaziale sia nel mondo vector che raster (es. map algebra e interpolatori)

Figure 2 – categorie di utenti (rielaborazione da G. Sherman).

Negli ultimi anni, grazie al lavoro di tutta la comunità di utenti e sviluppatori, unita e coordinata da enti ed associazioni come la OSGeo³ a livello internazionale, si hanno a disposizione codici, algoritmi e software caratterizzati da un elevato livello di flessibilità (in relazione all’utenza) e di calcolo (in relazione ad analisi spaziali sia vettoriali che *raster*). In particolare, è noto il software GRASS⁴ GIS, ma oggi anche gvSIG⁵ e la libreria di geo-algoritmi di SEXTANTE GIS.

Dopo uno studio comparato delle soluzioni GIS open source attualmente disponibili, è stata avanzata l’ipotesi di adottare un ambiente integrato ed in grado di essere supportato dalle principali librerie di analisi spaziale al momento sviluppate. Questo approccio è alla base dei recenti sviluppi della libreria di SEXTANTE GIS che tende a configurarsi come una sorta di “incubatore” di librerie in una tool-box ed in grado di interfacciarsi con GRASS GIS e con altri software GIS sviluppati in ambiente Java (linguaggio di sviluppo per lo stesso SEXTANTE). La soluzione preliminare, dunque, per il progetto SID&GRID si basa su una piattaforma GIS in cui SEXTANTE svolge il ruolo di “archivio delle librerie di analisi spaziale” ed è interfacciato con GRASS a livello di *tool* di analisi e con gvSIG graficamente.

Questa soluzione, basata sull’integrazione di SEXTANTE GIS in Java con gvSIG e GRASS GIS, consente di disporre di oltre 500 algoritmi⁶ di analisi spaziale nel mondo vettoriale e *raster*, consentendo sia di ampliare lo spettro delle possibili soluzioni di sviluppo in termini di linguaggi sia in termini di manipolazione ed aggregazione di tools già esistenti.

3 *Open Source Geospatial Foundation*, associazione no-profit con la missione di supportare e promuovere lo sviluppo di tecnologie geospaziali con codice aperto e la condivisione dei dati geografici.

4 <http://grass.osgeo.org/>

5 <http://gvSIG.org/>

6 In riferimento alla versione 0.6 reperibile all’indirizzo http://forge.osor.eu/frs/?group_id=13

Definita, preliminarmente, anche la componente e l'ambiente per la modellazione dei dati spaziali, il gruppo di ricerca ha avviato una fase di test preliminari finalizzati a testarne le potenzialità ed evidenziare le possibili difficoltà nello sviluppo di specifici traduttori di dati per i modelli matematici e di interfacce grafiche utente per l'utilizzo del sistema SID&GRID.

Primi risultati e test

La fase di test ha richiesto una "adozione" preliminare e sperimentale di un codice matematico per il modello di simulazione delle acque sotterranee e si è optato per il codice dell'U.S. Geological Survey: MODFLOW 2005⁷. Tale scelta, attualmente valida per la fase di test preliminare e non definitiva per il codice SID&GRID, è stata incentivata da un lato dalla numerosa documentazione ufficiale sulla struttura dati richiesta dal solutore del modello, dall'altra dalla constatazione sulla indisponibilità attuale di traduttori open source integrati in ambiente GIS, se si esclude uno sviluppo su GRASS 5 per l'integrazione del codice di MODFLOW96.

L'approccio adottato in questa fase di test di sviluppo si è concentrata sulla scrittura di algoritmi integrati in SEXTANTE GIS per:

1. l'elaborazione della griglia spaziale di riferimento per il solutore del modello;
2. traduzione dei dati geografici per il processo *Well* (condizione al contorno) del MODFLOW2005;
3. interfaccia grafica per la scrittura del file di configurazione del modello (per il solo processo *Well* di test).

La prima difficoltà riscontrata riguarda la connessione tra la componente geografica (tipicamente in coordinate Gauss-Boaga o UTM) e le coordinate matriciali "astratte" richieste dal modello matematico. Tale questione è stata risolta attraverso l'utilizzo delle potenzialità GIS di connessione tra componente geografica e componente alfanumerica. Infatti, le coordinate matriciali della griglia di riferimento possono essere trasferite come attributi X e Y riferiti al modello numerico, consentendone contestualmente il trattamento matematico e geografico (attraverso la componente geometrica del dato).

Primi risultati e test - La griglia di riferimento per il modello

L'algoritmo per l'elaborazione della griglia del modello è stato scritto implementando le librerie di SEXTANTE GIS ed utilizzando processi già disponibili come il "*create graticule*". A tale algoritmo già disponibile nella libreria è stato implementato uno *script* che ne consente la rotazione e la traslazione sulla regione geografica di interesse (tipicamente un'area di bacino) attraverso un punto noto nello spazio. Il *tool* consente di definire il passo della griglia a maglie quadrate o rettangolari e ne riporta le coordinate X e Y relative al centro del rettangolo di maglia come attributi della tabella alfanumerica associata al dato vettoriale.

La griglia è restituita nella vista di lavoro geografica come dato vettoriale poligonale.

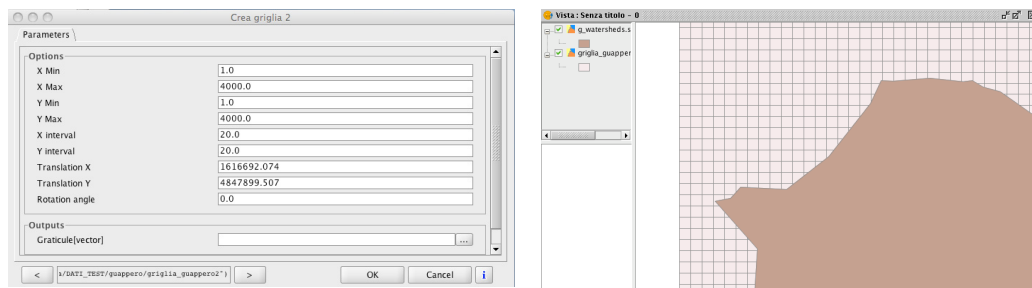
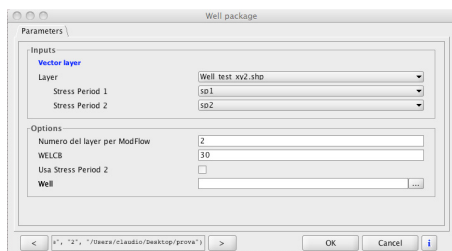


Figure 3 – tool per la creazione della griglia di riferimento per il modello.

⁷ <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2005/modflow2005.html>

Primi risultati e test - Traduttore del processo Well per il MODFLOW2005

La base di partenza per lo sviluppo di un traduttore dei dati per il modello matematico è la documentazione distribuita dall'USGS in cui vengono descritte le specifiche della struttura dati del file di input per il solutore. In particolare si sta facendo riferimento ad una struttura di file ASCII formattata per fornire informazioni specifiche al solutore nel corso della sua lettura. Il problema è consistito nello scrivere un algoritmo che leggesse il dato geografico nella sua componente geometrica ed alfanumerica e ne riscrivesse specifici valori e caratteristiche in un file ASCII compatibile con la struttura dati richiesta dal modello. Si è proceduto, dunque, con la codifica della struttura del file di input del modello e lo sviluppo di un algoritmo per la scrittura del file di input per il processo *Well* del MODFLOW in cui l'utente è in grado indicare quali sono i periodi di stress, quali utilizzare ed in quale *layer* (relativo al modello e non al GIS) essi si trovano.



6				
6				
2	196	78	0.00347	
2	145	9	0.02984	
2	111	124	0.00984	
2	181	71	0.00394	
2	12	84	0.09294	
2	144	6	0.00389	
6				
2	196	78	0.00327	
2	145	9	0.00383	
2	111	124	0.00383	
2	181	71	0.00383	
2	12	84	0.00974	
2	144	6	0.00984	

Figure 4 – interfaccia del traduttore per il processo Well del Modflow2005.

Questa prima versione è in grado di valutare solamente due periodi di stress ed il passo successivo sarà di ampliarne le capacità di elaborazione e parametrizzazione.

Primi risultati e test - Interfaccia per la configurazione del modello

Il processo di elaborazione dei dati di input per il solutore del modello si conclude con la scrittura del file di configurazione secondo la parametrizzazione richiesta dal codice del MODFLOW2005. In questo caso il file deve contenere le informazioni relative ai processi da simulare e la loro collocazione nel calcolatore. La versione di test dell'interfaccia scritta per il solo pacchetto *Well*, consentirà di definire i processi da simulare ed associare il relativo file di input.

Prossimi sviluppi

La fase di test è in corso di attuazione e terminerà entro il 2010, periodo nel quale verrà anche definito il codice del modello numerico che sarà adottato dal progetto SID&GRID e le implementazioni e/o aggiornamenti che saranno inclusi nella componente modellistica di SID&GRID. Successivamente si passerà allo sviluppo degli algoritmi e delle interfacce grafiche che ne struttureranno il pannello di controllo per l'attivazione di flussi dati tra l'ambiente GIS ed il core del modello idrologico ed idrogeologico. Il progetto SID&GRID è finanziato dalla Regione Toscana con fondi POR CREO FSE 2007 – 2013.

Riferimenti bibliografici

- Newell C.J., Hopkins L.P., Bedient P.B. (1990), "A hydrogeologic database for groundwater modeling", *Groundwater* 28, 5: 703-714
- Gogu R.C., Carabin G., Hallet V., Peters V., Dassargues A. (2001), "GIS-based hydrogeological database and groundwater modelling", *Hydrogeology Journal* 9, 6:555-569
- de Dreuzy J.R., Bodin J., Le Grand H., Davy P., Boulanger D., Battaias A., Bour O., Guze P., Porel G (2006), *General Database for groundwater site information*, *Ground Water* 44, 5: 743-748
- Shermann G. E. (2008), *Desktop GIS. Mapping the planet with open source tools*, The Pragmatic Bookshelf