

Istituto Universitario di Architettura di Venezia

Facoltà di Pianificazione del Territorio

Corso di laurea triennale in Sistemi Informativi Territoriali

**Strumenti “*user friendly*” di controllo per modelli idrogeologici
basati su *GIS open source***

Relatore: Chiar.mo Prof. Paolo Mogorovich

Studente: Alexander Palummo

Matricola: 259426

Anno Accademico 2010/2011

INDICE

INTRODUZIONE.....	p. 2
PARTE PRIMA: L'oro blu.....	p. 5
1 - La risorsa idrica.....	p. 6
1.1 Problematiche presenti e future.....	p. 6
1.2 Pianeta acqua.....	p. 8
1.2.1 <i>Global change</i> e disponibilità d'acqua.....	p. 8
1.2.2 Società dell'acqua.....	p. 10
1.2.3 Acqua nell'industria e nell'agricoltura.....	p. 12
1.2.4 Gestione della risorsa e sostenibilità idrica.....	p. 14

2 - I modelli idrologici ed idrogeologici.....	p. 15
2.1 Fondamenti ed obiettivi dell'idrogeologia.....	p. 16
2.2 Legge di <i>Darcy</i>	p. 22
2.3 Usi e tipologie di modelli idrogeologici.....	p. 25
2.3.1 Necessità dell'uso di un modello.....	p. 29
3 - I Sistemi Informativi Territoriali.....	p. 31
3.1 SIT&GIS.....	p. 31
3.2 Disponibilità di dati oggi nel contesto GIS.....	p. 33
3.3 Presupposti per l'integrazione tra GIS e modelli.....	p. 35
4 - Un GIS come supporto/interfaccia ad un modello idrogeologico.....	p. 39
4.1 Utenza per un GIS idrogeologico.....	p. 40
4.2 Vantaggi e difficoltà.....	p. 41
4.3 Esperienze e tentativi di integrazione tra GIS e modelli.....	p. 44
PARTE SECONDA: SID&GRID.....	p. 46
5 - Il progetto.....	p. 47
5.1 Innovazione del progetto SID&GRID.....	p. 47
5.2 Strumenti e tecniche di SID&GRID.....	p. 49
6 - L'architettura.....	p. 50
6.1 MODFLOW dell' <i>USGS</i>	p. 52
6.2 Software open source e la scelta di <i>gvSIG</i>	p. 58
6.3 Vantaggi e svantaggi rispetto alle strutture proprietarie.....	p. 62
7 - Il contesto tecnologico.....	p. 63
7.1 Java come linguaggio preferenziale per SID&GRID.....	p. 63
7.2 Software dell' <i>USGS</i>	p. 67
8 - I geoalgoritmi.....	p. 68
8.1 Operazioni ed algoritmi di SID&GRID nello specifico.....	p. 68
8.2 Approfondimenti sui pacchetti e le classi Java.....	p. 70

8.3 Adattamento dell'interfaccia utente e procedure d'uso.....	p. 72
9 - Lo stage come partecipazione a una specifica fase progettuale.....	p. 77
9.1 La griglia.....	p. 79
9.2 La programmazione della <i>GUI</i>	p. 80
9.2.1 La correzione degli errori di programmazione.....	p. 82
9.3 Gli strumenti sviluppati per i <i>raster</i>	p. 82
CONCLUSIONI.....	p. 84
APPENDICE.....	p. 86
Il codice sorgente.....	p. 86
BIBLIOGRAFIA.....	p. 91
SITOGRAFIA.....	p. 94
FONTI DELLE FIGURE.....	p. 95

INTRODUZIONE

Nei suoi oltre quattro miliardi e mezzo di anni il Pianeta Terra ha continuamente intrecciato le proprie sorti con quelle dell'acqua. E' grazie ad essa che, circa tre miliardi e mezzo di anni fa, è nata la vita. E' grazie ad essa che la vita ha continuato a perpetuarsi anche una volta che l'evoluzione sembrerebbe allontanare le specie animali da lei. L'umanità non può farne a meno. Le antiche religioni e la toponomastica continuamente confermano l'altissimo valore simbolico (e concreto) dell'elemento, e grandi guerre potrebbero scatenarsi nei prossimi anni per la conquista delle ultime fonti intatte dell'oro blu. L'acqua colora e caratterizza la Terra nell'universo, conferendole il caratteristico brillo azzurro. Ma percorre e attraversa il pianeta anche nelle sue viscere, diventandone un imprescindibile apparato circolatorio, irrorandola come la linfa per un albero, o il sangue per un mammifero.

E, come l'infezione del sangue raggiunge progressivamente anche gli apparati che, in un organismo, non sembrerebbero direttamente collegati all'apparato circolatorio, non si può pensare che la contaminazione dell'acqua, abbinata allo spreco più indiscriminato, non produca gli stessi deleteri effetti di una grave emorragia. E' in pericolo non solo il futuro dell'umanità, ma di qualunque forma di vita rinvenibile sopra e sotto la crosta terrestre. E la prosecuzione dell'attuale cattiva condotta umana nella gestione della risorsa idrica potrebbe seriamente compromettere il futuro del Pianeta Terra.

PARTE PRIMA

L'Oro Blu

1 – La risorsa idrica.

1.1 – Problematiche presenti e future.

E' ormai autoevidente la necessità di introdurre strumenti sempre più sofisticati per il monitoraggio delle risorse idriche. Rilevare, raccogliere e monitorare i dati inerenti le risorse idriche di una data zona richiede da un lato una equipe sempre più specializzata, dall'altro la collaborazione degli enti normalmente preposti alla conoscenza e tutela del territorio. Come vedremo più avanti, un ruolo determinante è stato giocato dalla recente liberalizzazione dei dati geografici, senza la quale progetti come quello oggetto di questa tesi sarebbero condannati, nella prassi operativa, all'immobilizzazione.

Se prendiamo in considerazione le nozioni fondamentali di Scienze Naturali o di Ecologia ed analizziamo il ruolo dell'acqua all'interno dei cicli più importanti per la proliferazione ed il mantenimento della vita sulla Terra, emergerà immediatamente la notevole importanza dell'acqua e della sua funzione di raccordo tra litosfera ed atmosfera. La biosfera infatti per definizione è tale perché permette un passaggio diretto di sostanze chimiche da/a l'idrosfera, ciclicamente (Figura 1).

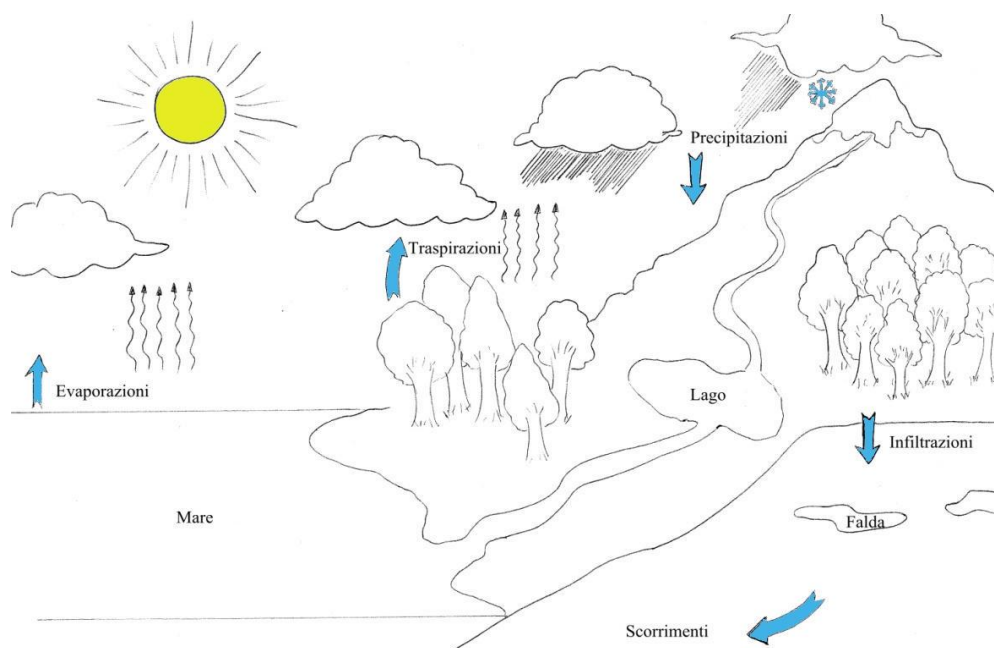


Figura 1 (J. Biccchi)

La chimica dell'acqua, prima ancora della sua interpretazione legata alle necessità umane, è intrisa quindi di legami forti e deboli con il resto delle sostanze chimiche come carbonio e azoto, è il tassello di congiunzione basilare che ha reso il nostro pianeta Terra ricco di forme di vita. Dal punto di vista biologico, infatti, questa importanza è confermata dalla necessità che tutti gli esseri hanno di acqua per vivere e dalla loro stessa composizione chimica in gran parte di acqua. Questa inscindibilità tra acqua e vita è ancora più marcata se osserviamo semplicemente la nostra quotidianità: i processi legati all'acqua nella nostra vita sono innumerevoli e vanno ben oltre la "semplice" necessità di bere o lavarsi. L'acqua infatti è interpretabile attraverso un concetto di *crosscutting* ovvero un punto di raccordo tra energie e risorse; la produzione di beni, alimenti e immobili e ogni nostra attività è, e può mantenersi tale, solo grazie all'acqua, anzi ad ingenti quantità di acqua.

Per meglio interpretare questa importanza è utile riproporre il metro di valutazione utilizzato da Fred Pearce nel suo libro "Un Pianeta Senz'Acqua". Pearce, giornalista ambientale inglese che ha dedicato diversi anni della sua vita alla raccolta di informazioni ed allo studio delle problematiche legate alla risorsa idrica ed al suo sfruttamento da parte della specie *homo sapiens sapiens*, utilizza come unità di misura il chilometro cubo di acqua, quando si riferisce ad unità macroscopiche, mentre si riduce al metro cubo di acqua per la parte micro. Il chilometro cubo d'acqua è utilizzato anche per calcolare la portata di un fiume o la capacità di un bacino idrografico. Il metro cubo invece risulta più utile se stiamo parlando di attività umane, come la produzione o il consumo di beni e servizi.

E' significativo il fatto che il metro cubo di acqua (cioè una tonnellata, mille litri di acqua!) sia un termine di paragone piuttosto efficace per individuare l'ingente quantità di acqua consumata ogni giorno solo da noi uomini in aggiunta all'ulteriore consumo del resto del pianeta, altrettanto necessario per il mantenimento di tutte le altre specie non umane. A onor del vero, sarebbe forse più corretto affermare che molte specie si stanno estinguendo proprio a causa dell'avidità umana in campo idrico, alla quale esse non sono in grado di sottrarsi. Pearce nel suo reportage di taglio giornalistico non manca di citare episodi distribuiti in diverse zone della Terra: in tutti i casi proposti le problematiche evidenziate erano sempre legate a qualche forma di antropizzazione.

1.2 – Pianeta Acqua.

1.2.1 – *Global Change* e disponibilità d'acqua.

A causa di due grandi cambiamenti avvenuti nell'ultimo mezzo secolo, il così detto Pianeta Acqua (considerando che la superficie terrestre è composta prevalentemente da acqua) sta mutando fortemente e, a quanto si può osservare ad oggi, non verso un futuro liquido, ma piuttosto secco.

Questi cambiamenti riguardano:

- il forte aumento della popolazione umana;
- i corrispondenti mutamenti in fatto di abitudini alimentari.

Questo *modus operandi* e *vivendi* ha ridotto drasticamente la quantità di acqua dolce disponibile, senza differenze significative tra i diversi continenti per quanto attiene alla richiesta della stessa, nonostante le differenti “dotazioni iniziali” di oro blu. Si ricordi infatti che anche se esiste un’immensa quantità di acqua all’interno dei mari e degli oceani (97% circa del totale) essa non può essere utilizzata dalla maggior parte delle specie terrestri, volanti e di acqua dolce, perché salata. Pertanto, ogni qual volta citeremo le problematiche della gestione e del monitoraggio delle risorse idriche, sarà sottinteso che trattasi di concetti legati quasi esclusivamente all’acqua dolce presente in natura.

Il volume totale di acqua nell’atmosfera è stato stimato in circa 13 mila km³ (1 km³ è pari a 1000 miliardi di litri), in gran parte allo stato gassoso (vapore); di contro gli oceani contengono circa 1350 milioni di km³ di acqua.

Anche tralasciando il primo impatto visivo del Pianeta visto dallo spazio, la Terra non può che essere considerata un pianeta blu, visto che la superficie terrestre è ricoperta per il 71% di acqua che è:

- al 97% salata (oceani e mari);
- al 3% dolce.

Dell’ultimo 3% i 2/3 si trovano nei ghiacciai, mentre l’1% risiede nel sottosuolo e nell’atmosfera. Se ci riferissimo poi alla sola acqua dolce, scopriremmo che questa corrisponde solo allo 0,0009% dell’acqua del pianeta Terra (Figura 2).



Figura 2

Si stima che la disponibilità di acqua di cui l'uomo può in effetti disporre vada dai 9000 ai 12000 km³.

La situazione attuale “idricamente” parlando è la più drastica di tutti i momenti storici precedenti a noi noti. Pearce non a caso definisce la nostra specie come la “spugna umana” ed enumera molteplici casi in cui la società ha danneggiato la rete idrica del pianeta con conseguenze irreparabili anche per le specie che non ne sono responsabili. Le principali ragioni di questo sconsiderato consumo di acqua parrebbero imputabili prevalentemente a motivazioni di tipo economico (seppure le giustificazioni comunemente addotte sono spesso di tipo esclusivamente demografico). La crisi idrica che affligge il pianeta è in realtà solo una conferma del forte legame tra il ciclo dell'acqua e l'attuale ciclo economico; lo sviluppo demografico è semmai direttamente proporzionale ad entrambi.

1.2.2 – Società dell'acqua.

Soltanto 10 paesi al mondo si contendono più del 60% delle risorse idriche naturali del pianeta Terra (in ordine decrescente per km³) (Pearce 2006):

- Brasile 5670 km³;
- Russia 3904 km³;
- Cina 2880 km³;
- Canada 2850 km³;
- Indonesia 2530 km³;
- Stati Uniti 2478 km³;
- India 1550 km³;
- Colombia 1112 km³;
- Zaire 1020 km³;
- Paesi europei 860 km³.

Le riserve di acqua dolce per abitante si stanno riducendo con trend crescenti: nel 1950 le riserve erano pari a 16000 km³, passate a 7000 km³ del 2000. Ogni anno la domanda mondiale di acqua aumenta e sempre più uomini e animali si trovano in difficoltà. L'acqua sulla Terra invece resta più o meno la stessa, ragione per cui per le falde acquifere, che vengono continuamente sovrastrutturate, in molte regioni scoppiano veri e propri conflitti. Non a caso, stando a quanto riportato dalle Nazioni Unite, “il 41% della popolazione mondiale (2,3 miliardi di persone) vive attualmente lungo i bacini di fiumi sottoposti a forte stress idrico¹”. Implicito che oltre alla riduzione dell'acqua dolce pro-capite anche gli altri esseri viventi soffrono di questa problematica ecologica, le specie acquatiche per esempio sono diminuite drasticamente dal 10% di quelle ittiche al 24% in meno dei mammiferi².

¹ Tozzi (2009), p. 90.

² Cfr. WWF (2008).

Questa competizione per un bene primario sembra tradursi in aridità anche all'interno dei rapporti tra le diverse società, con tutt'altro che remote ipotesi di "terrorismo idrico". Solitamente si associa il ventesimo secolo alle problematiche e ai conflitti legati al petrolio; allo stesso modo il ventunesimo è legato a un liquido, ma più fondamentale e molto più vitale del precedente: l'acqua. Solo per fare degli esempi, troviamo dei conflitti legati all'acqua³:

- tra Messico e Stati Uniti sul fiume *Colorado*, che nasce dalle Montagne Rocciose, attraversa gli *U.S.A.* pieno di acqua fino alla *California*, ma sfocia in Messico ridotto ad un torrentello d'acqua fangosa e tossica;
- tra *Ecuador* e *Perù*, che nel 1995 hanno avuto diversi contrasti legati alle sorgenti del fiume *Cenepa*;
- tra *Iraq* ed *Iran*, che hanno combattuto una guerra negli anni '80 per il controllo del fiume *Shatt-el-arab* ("sponda degli arabi"), formato dalla confluenza del Tigri e dell'Eufrate, sfociante poi nel Golfo Persico;
- tra *India* e *Bangladesh*, che disputano tutt'ora il Gange;
- tra *India* e *Pakistan*, che dopo la spartizione in due stati dell'ex colonia inglese nel 1947 hanno conteso a lungo le acque del fiume Indo (e sottolineiamo che quasi il 40% della popolazione mondiale dipende dal sistema fluviale comune a questi due paesi);
- tra Repubblica Ceca e Ungheria sul Danubio;
- tra Israele e Palestina.

A proposito di idroterrorismo e fenomeni assimilabili, è menzionabile, senza andare tanto lontano, il caso italiano della contaminazione di acque in bottiglia rilevata nel 2003: fu un episodio che destò un particolare allarme nella popolazione nazionale, poco avvezza a rifornirsi di acqua potabile dal rubinetto⁴. Un timore opposto a quello vissuto negli Stati Uniti d'America, dove si consuma, invece, prevalentemente acqua dal rubinetto: lì è maggiormente paventato un attacco terroristico alla rete idrica pubblica⁵. Vedremo nei paragrafi successivi come per ovviare a questo pericolo di contaminazione gli *U.S.A.* abbiano sviluppato uno specifico *software* (*Canary Event Detection Software*). Ma vedremo anche che il monitoraggio da solo può fare poco, senza un adeguato impiego delle risorse idriche "a monte".

1.2.3 – Acqua nell'industria e nell'agricoltura.

³ Per approfondimenti cfr. anche <http://www.solidarietainternazionale.it/i-dossier/153.html> e Vandana Shiva, (2004), p. 14 e segg.

⁴ Cfr. <http://www.repubblica.it/2003/1/sezioni/cronaca/avvelenatore/liceo/liceo.html> .

⁵ Tuttavia anche in Italia tale evenienza desta interesse, almeno dal punto di vista scientifico, si vedano i progetti di cui al seguente link:

http://www.ilpareredellingegnere.it/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=520

Non si può calcolare con precisione quanto sia determinante l'intervento dell'uomo su fenomeni naturali quali il calo delle precipitazioni o lo scioglimento dei ghiacci polari, né quanto il cambiamento climatico sia invece indotto da fenomeni che prescindono dall'antropizzazione, soprattutto nel breve termine. Quello che si può affermare, invece, è che negli ultimi anni molti fiumi sono stati afflitti da una riduzione della portata, prevalentemente prosciugati da attività umane spesso connesse all'irrigazione o all'uso strettamente collegato all'allevamento intensivo. In Europa, per esempio, l'agricoltura è il settore che usa più risorsa idrica, con una percentuale variabile dal 50 all'80% (Figura 3).

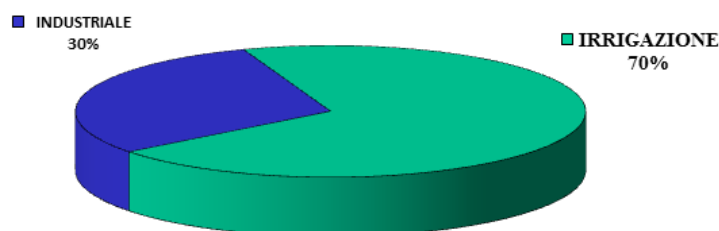


Figura 3

In particolare in Italia l'irrigazione è al primo posto fra gli usi idrici ed assorbe il 50% circa dei prelievi complessivi (di cui il 20% sono prelievi sotterranei), contro il 20% del settore civile ed il 10% per il settore energie (IRSA-CNR 1999).

Per documentare e approfondire criticamente il nostro consumo idrico quotidiano casalingo e alimentare non basterebbero un libro o una tesi dedicata. Più brevemente, però, è possibile indicare alcune cifre significative, in parte raccolte da Pearce ed in parte tratte da altre pubblicazioni relative al settore dell'allevamento e dell'industria della lavorazione dei prodotti animali. Se ipotizzassimo di bere circa 5 litri di acqua e aggiungessimo quella usata per lavarsi e per i servizi igienici⁶ si raggiungono cifre approssimativamente vicine ai 150 litri al giorno pro-capite. Nel settore dell'industria alimentare, poi, ogni prodotto ha un "costo idrico" di produzione, per esempio:

- 2000/5000 litri per un chilo di riso;
- 1000 litri per un chilo di farina;
- 140 litri per un caffè;
- 250 litri per un bicchiere di vino;

Si potrebbe andare ancora avanti con gli esempi, ma è nel settore dell'allevamento (soprattutto se intensivo) che il costo idrico di produzione si fa oltremisura sproporzionato: un chilo di pollo "costa"

⁶ E' davvero insensato quanto avviene in Italia, le cui condutture idriche alimentano con acqua potabile persino lo scarico del W.C.

3500 litri d'acqua, un chilo di carne di manzo necessita addirittura di centomila litri⁷. Ovviamente tali cifre non includono solo l'acqua consumata dagli animali per bere, ma anche quella necessaria al mantenimento dei requisiti minimi di igiene delle strutture e degli animali stessi (e, nel caso di mucche e animali da mungitura, si consuma altra acqua a perdere nei diversi processi di produzione e lavorazione del latte, arrivando al "costo idrico" di almeno 1000 litri per bicchiere di latte)⁸.

Sarebbe necessario che le politiche economiche nazionali e comunitarie, ancor meglio ancora dell'intero globo, si concentrassero sull'efficienza dei sistemi d'irrigazione inserendo una loro più sostenibile gestione come obiettivo principale.

Per quanto infatti la politica agricola comunitaria offra sostegno all'agricoltura eco-compatibile, è importante che la collettività recepisca il senso profondo di tali agevolazioni e si impegni "eticamente", prima che economicamente, a mantenere un regime costante di risparmio idrico.

1.2.4 – Gestione della risorsa e sostenibilità idrica.

Preso atto dell'ineluttabilità dei sempre più rapidi cambiamenti climatici attesi per i decenni a venire, diventa interessante approfondire le dinamiche del relativo processo di inaridimento del suolo, a maggior ragione se consideriamo le diverse declinazioni che esso potrà assumere in relazione ai diversi territori, e le connesse problematiche di equità che ne deriveranno. L'aumento della temperatura media terrestre potrebbe infatti incrementare l'evaporazione degli oceani accelerando il ciclo dell'acqua; già nel corso di questo secolo il vapore acqueo nell'atmosfera potrebbe salire di 8/10%. In presenza di tale fenomeno: aumenterà sicuramente il livello globale di precipitazioni annue; si avrà un cambiamento di traiettoria dei sistemi climatici portatori di pioggia, come cicloni dell'Atlantico; muterà la distribuzione delle precipitazioni stesse; molti luoghi situati ad una latitudine media potrebbero diventare più aridi e, allo stesso tempo, le temperature più alte potrebbero comportare un'evaporazione più rapida dell'acqua (con più rapida disidratazione del suolo); una percentuale minore di acqua raggiungerà i fiumi ed il loro equilibrio dipenderà principalmente e dalla precipitazioni. Insomma, andrebbero scomparendo le fasce climatiche temperate e anche i mari interni correrebbero rischi particolari dato il calo di portata dei fiumi che attraversano le zone continentali. Questa purtroppo non è fantascienza, ma un'ipotesi realistica suffragata da diverse teorie per molte delle quali queste possibili evoluzioni sarebbero addirittura, in parte, già in atto.

⁷ Cfr. "Water Resources: Agriculture, the Environment, and Society - An assessment of the status of water resources" di David Pimentel, James Houser, Erika Preiss, Omar White, et al. in *Bioscience*, Febbraio 1997 Vol. 47 No. 2.

⁸ Interessanti dati zootecnologici in proposito sono rinvenibili in Provincia di Massa-Carrara (1997) e su <http://www.eat-ing.net/attach/zootecnia.pdf>.

I modelli di studio di alcuni studiosi prevedono che giganteschi fiumi tropicali come il Rio delle Amazzoni, l'Orinoco in Sudamerica o il Congo in Africa si gonfieranno ancora di più. Similmente i grandi fiumi artici del nord del Canada e soprattutto in Siberia (*Ob*, *Jenisei* e *Lena*) probabilmente acquisteranno nuova acqua, ma a causa dell'umidità trattenuta dalle temperature più alte e dell'aumento delle precipitazioni sui loro bacini, incrementando la loro portata del 40%. Sicuramente ci saranno altre anomalie sparse per il mondo che vedranno soggetti fiumi e laghi: alcuni diventeranno pericolosi e imprevedibili, alternando piene e siccità più velocemente di quanto accade adesso (Tozzi 2009). Le Alpi italiane, per esempio, hanno già perso un quarto dei loro ghiacciai per lo scioglimento dei ghiacci alpini nel 2002, durante l'estate più calda mai registrata nell'emisfero boreale che contribuì a provocare inondazioni senza precedenti nell'Europa centrale.

E' qui che si colloca la nostra tesi, all'interno di un contesto legato alla necessità di una più pianificata gestione della risorsa idrica e più continua integrazione del suo monitoraggio, in una visione sia scientifica che tecnica incentrata sulla gestione sostenibile del territorio e delle sue risorse.

2 – I modelli idrologici ed idrogeologici.

La modellistica idrogeologica si sviluppa dalla modellistica più propriamente geologica, disciplina moderna legata in buona parte alla tecnologia informatica. La modellistica per definizione, infatti, è una scienza matematica che tenta di ricostruire virtualmente ed il più fedelmente possibile una situazione reale. Nel campo della geologia la modellistica rappresenta porzioni della crosta terrestre tramite modelli numerici, sviluppati principalmente nel settore della ricerca di giacimenti di idrocarburi (petrolio, gas naturale) e delle acque sotterranee. Infatti, nell'industria del gas e del petrolio, modelli geologici realistici sono richiesti come *input* simulatore del serbatoio, in modo da permettere di identificare soluzioni che offrano un più sicuro e produttivo piano di sviluppo economico. La modellistica geologica è un'applicazione relativamente recente della geologia che integra nozioni di:

- geologia strutturale;
- sedimentologia;
- stratigrafia;
- paleoclimatologia.

Per quanto riguarda la modellistica idrogeologica, si definisce modello idrogeologico una rappresentazione matematica, oggi implementata tramite strumenti informatici, dei processi del ciclo idrologico sotterraneo in grado di tenere conto delle dinamiche spaziali e temporali. Essa risulta un valido supporto ad altre discipline, come ad esempio all'ecidrologia che si occupa dello studio delle mutue interazioni fra idrologia e processi ecologici coinvolti nel ciclo dell'acqua. Lo scopo è quello di individuare soluzioni innovative rivolte a problematiche inerenti il degrado di bacini idrografici ed idrogeologici.

Un ramo dell'idrologia che si occupa, con un approccio probabilistico dei processi idrici, dell'analisi del rischio e dell'incertezza, è l'idrologia statistica. La maggior parte dei fenomeni idrologici, infatti, sviluppandosi nello spazio e nel tempo, è caratterizzata da una componente deterministica, quindi prevedibile, e da una componente casuale o aleatoria. Tali fenomeni, chiamati anche processi stocastici, in alcuni casi sono così variabili che sono studiati come puramente casuali.

Comunque, al fine di poter analizzare a fondo le basi del progetto in corso, oggetto della presente tesi di laurea, è necessario che vengano esposti alcuni concetti fondamentali di base per la corretta comprensione delle dinamiche idrologiche ed idrogeologiche; sarebbe difficile comprendere a fondo lo scopo ed il funzionamento del progetto senza fissare le leggi che regolamentano il ciclo dell'acqua dal punto di vista scientifico.

2.1 – Fondamenti ed obiettivi dell'idrogeologia.

L'idrogeologia è quella disciplina delle Scienze della Terra che studia le acque sotterranee, orientata verso il comportamento dell'acqua nel sottosuolo e dei materiali che con essa interferiscono. Si tratta fondamentalmente di una grande famiglia di discipline che comprende metodi e mezzi legati:

- alla geofisica;
- alle tecniche di perforazione e captazione;
- alla geochimica delle rocce e delle acque;
- all'idrodinamica sotterranea;
- all'idrobiologia;
- alla modellistica di tipo numerico.

In idrogeologia si distinguono due grandi categorie di acque:

- acque atmosferiche;
- acque litosferiche.

Le acque atmosferiche sono contenute appunto nell'atmosfera in forma di precipitazioni liquide (pioggia, rugiada) o solide (neve, grandine, brina).

Le acque litosferiche sono contenute nella litosfera e si possono suddividere a loro volta in acque superficiali alla crosta terrestre (fiumi, laghi, mari) e in acque sotterranee (del sottosuolo).

Le acque superficiali si dividono in due frazioni:

- acqua di evaporazione, presente nell'atmosfera;
- acqua di ruscellamento, destinata al mare.

Le acque sotterranee (Figura 4) si suddividono anch'esse in due frazioni:

- la prima, più vicina alla superficie, passa all'atmosfera come acqua di evapotraspirazione;
- la seconda penetra in profondità come acqua di infiltrazione, alimentando sorgenti, fiumi, laghi e mari.

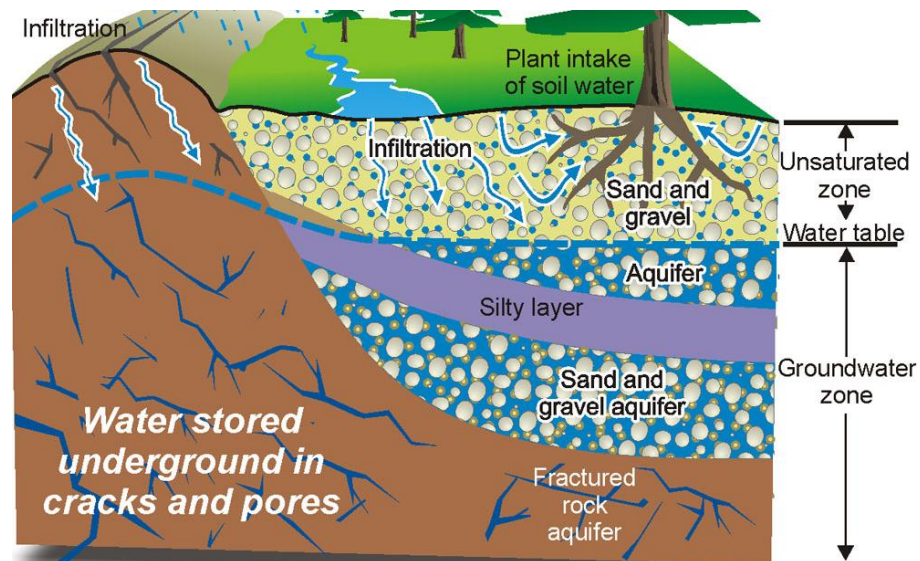


Figura 4

Il ciclo globale dell'acqua può essere suddiviso in due cicli di secondo ordine:

- ciclo oceanico;
- ciclo continentale.

La circolazione dell'acqua del ciclo globale assicura gli scambi tra l'acqua immagazzinata nelle tre forme solido, liquido e gassoso e i grandi serbatoi idrici terrestri:

- oceani;
- ghiacci;
- acque sotterranee;
- acque di superficie;
- atmosfera;
- acqua biologica;

L'insieme di tutti i serbatoi compone l'idrosfera. Il ciclo dell'acqua quindi è planetario e perpetuo, perciò per poter essere studiato è necessario frazionarlo in domini di spazio ed in tempi accessibili all'osservazione umana. Si introduce quindi il concetto di sistema idrologico, ovvero "un sistema dinamico, sequenza di spazio e di tempo, frazione del ciclo dell'acqua" (Castany 1982) definito in pratica da due componenti:

- spaziale;
- temporale.

..... per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

2.3 – Usi e tipologie di modelli idrogeologici.

A questo punto, se volessimo riunire una buona quantità di nozioni all'interno di un modello che ci rappresenti graficamente informazioni relative alla risorsa idrica di una determinata porzione di territorio, avremmo innanzitutto bisogno di un indice statistico specifico. Questo perché, come in tutte le applicazioni, le operazioni base della statistica (sommatoria, medie e indici) possono semplificare lo studio dei fenomeni, come quelli naturali, che richiederebbero un calcolo di variabili casuali continue troppo lunghe.

Per questo è stato messo a punto l'indice idrogeologico, cioè uno specifico indice statistico di tipo percentuale che definisce il potere ripartitore del suolo, cioè il carattere che determina la risorsa idrica sotterranea. L'indice idrogeologico è regolato da cinque gruppi di fattori:

- idro-geomorfologia;
- litologia;
- suolo (pedologia, vegetazione, umidità);
- superficie piezometrica;
- condizione dell'acqua e dei suoli (interventi antropici).

Tornando al modello di cui in apertura, va detto che la sua declinazione idrogeologica è una struttura matematica complessa che deve tenere in considerazione i parametri specifici di cui poco sopra ed oggi, grazie alla diffusione delle applicazioni informatiche, c'è la possibilità di creare un modello numerico sempre più complesso in grado di integrare la cartografia classica. La modellistica idrogeologica occupandosi per definizione di acque sotterranee necessita di definire i parametri che identificano l'acquifero come un sistema idrologico e idrodinamico attraverso cinque insiemi di caratteristiche ben definite:

- 1- serbatoio, spazio in cui staziona l'acqua, con forma (configurazione) e organizzazione (struttura) proprie;
- 2- dinamica di sistema, l'azione interna dei processi idrodinamici, idro-chimici, idrobiologici;
- 3- dinamica funzionale, l'azione dei processi idrodinamici, idro-chimici, idrobiologici verso l'esterno;
- 4- variabilità spaziale di tutte le precedenti caratteristiche (discretizzazione spaziale);
- 5- variabilità temporale, relativamente a un periodo o a una durata media (discretizzazione temporale).

La rappresentazione spaziale delle caratteristiche dell'acquifero può essere fatta con carte e sezioni idrogeologiche se necessitiamo di due dimensioni e/o con blocchi diagrammi per le tre dimensioni. Puntualizziamo che nella costruzione di un modello idrogeologico corretto è necessario tenere sempre

in considerazione che ogni acquifero a sua volta è sempre composto da due componenti imprescindibili:

- il serbatoio, formazione impermeabile;
- l'acqua sotterranea (libera e di ritenzione).

L'acqua libera consiste nell'acqua sotterranea mobilizzabile, liberata dalla forza di gravità, mentre l'acqua di ritenzione è trattenuta nei vuoti da forze superiori a quelle di gravità. La valutazione della capacità di un serbatoio è data da due parametri idrodinamici:

- porosità efficace (n_e), rapporto percentuale tra volume di acqua libera e volume totale;
- coefficiente di immagazzinamento (S), rapporto tra volume di acqua immagazzinato per unità di superficie dell'acquifero e la variazione del carico idraulico corrispondente.

..... Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

2.3.1 – Necessità dell'uso di un modello.

In un torrido deserto può bastare una pioggia, a volte anche solo la condensazione notturna alla superficie del suolo, per accorgersi che la vita si risveglia di nuovo rigogliosa, sia pure in quel fragile equilibrio. Per questo il ruolo dell'uomo, specie nelle aree di frontiera nelle zone che circondano i deserti, è di importanza essenziale.

Questo perché la desertificazione, in assenza di antropizzazione, è rappresentata da una dilatazione di deserti già esistenti. Risulta molto raro il caso in cui un deserto passa da condizioni umide o sub-umide a condizioni aride o semiaride o appunto desertiche. In linea di massima la mancanza di acqua nei deserti è calcolata in base a indici di aridità o umidità (carenza di acqua a disposizione dalla vegetazione) e, almeno per i deserti caldi, è quantificata per lo più in base al rapporto fra la quantità di pioggia che cade effettivamente al suolo in un anno e l'evapotraspirazione potenziale. Questi indici non hanno valore assoluto ma vengono spesso utilizzati per confrontare misure all'interno di una stessa area geografica.

Ovviamente fenomeni di antropizzazione “inconsapevole” delle esigenze idriche del territorio occupato possono avere effetti involuti, talora anche irreversibili. E' per questo che è assolutamente necessario approntare delle linee guida rigorose per capire, monitorare e gestire la risorsa idrica in un contesto geologico sempre differente nello spazio e mutevole nel tempo: un modello, appunto. Il modello in questione sarà tanto più efficace quanto meno avrà pretese generalizzatrici e quanto più si adatterà alla mutevolezza dell'ecosistema che di volta in volta viene preso in considerazione nei diversi territori oggetto di studio Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

3 – I Sistemi Informativi Territoriali.

3.1 – SIT & GIS.

Un Sistema Informativo Territoriale (SIT) è il "complesso di uomini, strumenti e procedure (spesso informali) che permettono l'acquisizione e la distribuzione dei dati nell'ambito dell'organizzazione e che li rendono disponibili, validandoli, nel momento in cui sono richiesti a chi ne ha la necessità per svolgere una qualsivoglia attività" (Mogorovich, 1988). Il *GIS* (*Geographic Information System*) è, invece, un articolato strumento tecnico di cui ci si avvale in un SIT che ha lo scopo di gestire porzioni di territorio attraverso applicazioni informatiche. Brevemente questa disciplina si avvale di tre pratiche fondamentali:

- gestione dell'informazione;
- georeferenziazione dei dati;
- automatizzazione dei processi.

Un *GIS* può essere definito, più nel dettaglio, come un sistema informativo basato sull'uso di calcolatori che permette di memorizzare, analizzare e visualizzare un insieme di dati territoriali, usati da un attore per un preciso scopo. I dati, detti metadati, hanno specifiche caratteristiche spaziali e sono associati ad attributi che ne arricchiscono l'informazione, al fine di poter meglio pianificare e risolvere problemi.

L'informazione spaziale che caratterizza questi sistemi è riferita ad oggetti nello spazio che risultano essere in una qualche relazione tra loro; si inizierà a parlare di territorio nel momento in cui questo spazio di riferimento corrisponde allo spazio reale. Le informazioni spaziali vengono racchiuse all'interno di un database che dal punto di vista grafico trasferisce, tramite un *software* specifico, le informazioni in maniera stratificata su un supporto cartografico digitale georeferenziato. Si sottolinea l'importanza di poter manipolare i dati attraverso uno strumento hardware potente ed un *software* progettato appositamente per l'applicazione che siamo interessati ad implementare.

Per la realizzazione di un sistema informativo territoriale è necessario intraprendere una serie di operazioni standard, avvalendosi tipicamente di una tecnica *top-down* di progettazione. Queste operazioni costituiscono il cosiddetto ciclo di vita di un SIT e successivamente dovranno essere in parte ripercorse per poter mantenere il sistema aggiornato ed in uno stato di miglioramento continuo.

Distinguiamo alcune fasi preliminari che permettono di chiarire ad anteriori quali sono gli scopi della progettazione SIT e quali informazioni si hanno a disposizione per procedere con l'analisi:

- inquadramento tematico territoriale;
- studio di fattibilità;
- analisi dei requisiti;
- progettazione concettuale;
- rassegna dei dati e degli strumenti.

.....Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

3.2 – Disponibilità dei dati oggi nel contesto *GIS*.

Ad oggi, una sempre maggiore diffusione delle tecniche *GIS* permette una panoramica vasta di strategie progettuali e di scelta del *software* per il professionista.

La disponibilità dei dati stessi appositamente realizzati per il contesto *GIS* e/o pronti ad essere acquisiti aumenta continuamente. Questa diffusione è stata alimentata da recenti evoluzioni della comunità scientifica geografica che soprattutto nell'ultimo decennio si è impegnata a trasferire l'informazione geografica dal supporto cartaceo a quello digitale.

L'avvento della cartografia numerica ha permesso da un lato un *continuum* temporale tra la produzione di cartografia ed informazione geografica destinata solo ai professionisti e quella destinata agli utenti, dall'altro una contrapposizione tra le vecchie tecniche cartacee di conservazione dei dati molto più dispendiose e le moderne acquisizioni in tempo reale (tramite sistema *GPS*), nettamente più speditive ed economiche. Una disciplina strettamente correlata è la fotogrammetria, ormai anch'essa trasformata in numerica, che prevede la trasposizione direttamente delle foto in formato digitale grazie fondamentalmente alle stesse strumentazioni digitali.

La cartografia numerica ha altri importanti vantaggi, oltre alla velocità di realizzazione di una mappa, si può sottolineare il risparmio di spazio e di materiali.

Quando si lavorava sul cartaceo erano necessarie diverse tavole, spesso trascrizioni di porzioni della mappa o nuove realizzazioni per il deterioramento dei materiali, ora l'informazione numerica è strutturata a livelli (stratificata). La stratificazione dei livelli permette di poter combinare carte tematiche con estrema velocità senza l'utilizzo di lucidi o altro materiale cartaceo.

Un altro fattore di diffusione dei dati è legato alla normativa europea, attraverso la direttiva dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale in Europa, chiamata *INSPIRE* (2007). Essa rappresenta un esempio unico di approccio regionale, rivolto ai 27 stati membri dell'unione europea in materia ambientale e geografica.

Brevemente menziona che ogni stato membro è tenuto ad implementare una sua struttura di dati territoriali nazionale, coordinando quelle di livello sub-nazionale; lo scopo è di creare un'infrastruttura unica che metterà a disposizione dati geografici, metadati e servizi attraverso un portale *online*. Il vantaggio fondamentale è l'interoperabilità del sistema che si vuole creare, grazie al riutilizzo, al mantenimento e all'aggiornamento della struttura stessa (geoportale). La cartografia numerica, l'interoperabilità e la tecnologia avanzano ormai di pari passo nel contesto dei sistemi informativi territoriali, verso una visione condivisa e legata al concetto di *open data*.

Il movimento *open data* si propone l'obiettivo di rendere immediatamente accessibili a chiunque i dati primari per la ricerca, senza limitazione di *copyright*, brevetti o altri meccanismi di controllo (al pari di altre filosofie legate al concetto *open*). Una chiara definizione di partenza di cosa siano l'*open*

data e i correlati concetti di *open content* e *open information* è stata formulata dall'*Open Knowledge Foundation (okfn.org)*:

- da un lato si tratta di un assetto di trasparenza amministrativa, strettamente connesso con forme di cittadinanza attiva o democrazia diretta;
- dall'altro si può riferire ad una sempre più ampia apertura scientifica.

A complemento di questi due presupposti, potremmo collocare un terzo elemento, che si riferisce strettamente alla metainformazione e che comprende: i cataloghi delle biblioteche, i *database*, gli archivi aperti e le basi della conoscenza stessa. La distinzione tra dato e informazione comunque può essere semplificata come segue: il dato si ferma a costituire la materia prima che, una volta elaborata, può generare un'informazione ben strutturata.

I dati a loro volta possono essere distinti in base a codifica, sintassi, formato e supporto di archiviazione. Un dato può derivare da raffigurazioni della realtà ed essere successivamente interpretato per creare informazione, cioè la conoscenza prima che essa stessa sia elaborata (mappatura del territorio, immagine satellitare, ecc.). Un dato può provenire da un'osservazione sperimentale e solo successivamente venire interpretato ed analizzato, oppure può essere rappresentato da formule matematiche, chimiche, biologiche che tentano di codificare la realtà secondo alcuni specifici criteri scientifici. Il metadato, invece (etimologicamente significa "oltre il dato"), consiste in un dato più strutturato che descrive altri dati cercando di conferire loro fedeli caratteristiche che ne aiutino l'interpretazione. Il dato si dice infine aperto quando la sua stessa distribuzione soddisfa condizioni come:

- l'accesso;
- la redistribuzione;
- il riutilizzo;
- l'assenza di restrizioni;
- l'integrità;
- la non discriminazione⁹.

3.3 – Presupposti per l'integrazione tra *GIS* e modelli.

La realtà che noi percepiamo attraverso i sensi può essere considerata come un insieme di oggetti con certe proprietà, e che interagiscono tra di loro. Un sistema informativo territoriale ha lo scopo di poter rappresentare questi oggetti, chiamati entità, e le loro relazioni in maniera più fedele possibile al mondo reale. Anche se una rappresentazione della realtà non potrà mai essere perfettamente fedele, in ambito scientifico si è sempre cercato di ridurre al massimo il margine di errore. In questa "sfida" l'uomo ha individuato come strumento più efficace la matematica, i cui concetti, assieme a quelli

⁹ Per approfondimenti inerenti la classificazione dei dati cfr. <http://www.opendatafoundation.org/>

fisici, sono diventati uno strumento essenziale per la comprensione della natura, del territorio e per la rappresentazione delle entità del mondo reale e dei loro reciproci meccanismi di interazione. Lo strumento matematico che si occupa di risolvere questo problema è la modellazione (o modellistica) ed il suo scopo è proprio quello di poter trattare i problemi del mondo reale tramite la matematica.

L'interazione tra Modelli e *GIS* risulta a questo punto ovvia: un *GIS* cerca di rappresentare una porzione di territorio reale e, tramite un modello, di integrare le varie interconnessioni delle entità che lo compongono.

Nel settore dei SIT possiamo rinvenire l'esistenza di due tipologie di modelli:

- un modello che descrive i dati;
- un modello che descrive i fenomeni.

Un modello che descrive i dati, indipendentemente dalle sue applicazioni future, è incentrato sulle caratteristiche spaziali, spesso non considerando la componente temporale; esso si conclude fondamentalmente con la costruzione di un *database*. Un modello che descrive i fenomeni considera, invece, quasi sempre le interazioni tra oggetti diversi e risulta meno codificato del precedente. In entrambi i casi un modello produce un "programma" e può essere concepito in tre stadi:

- 1) concettuale (astrazione della realtà);
- 2) logico (matematico);
- 3) fisico.

.....Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

4 – Un *GIS* come supporto/interfaccia ad un modello idrogeologico.

Il processamento di dati geografici, tramite *GIS*, spesso inizia proprio dall'elaborazione di un modello digitale del terreno e lo sviluppo dei dati idrologici dalla definizione del bacino e dei suoi sottobacini:

- delimitazione di bacini, corsi d'acqua partendo dall'analisi del modello digitale del terreno;
- calcolo dei parametri fisici (area, pendenze, lunghezze dei corsi d'acqua, ecc.);

Spiegata la peculiarità di uno strumento *GIS* di rappresentare il territorio attraverso dati georeferenziati e attributi caratterizzanti gli elementi reali, ed essendo la modellistica idrogeologica interessata alla descrizione dei flussi delle acque sotterranee, è evidente come queste due discipline possano fondersi in maniera più che efficace. Come è già stato spiegato, le varie tipologie di modelli idrologici considerano spesso e volentieri la componente temporale come parametro principale per lo studio delle acque. Dal punto di vista spaziale, invece, le stesse tipologie di modelli potrebbero talvolta risultare meno efficaci. Entrano in gioco a questo punto le *GIS science* che offrono un alto potenziale di funzionalità basate sulla componente spaziale. Loro scopo principale è quello di processare la componente spaziale dei dati idrologici per poi trasformarla in una informazione

modificabile, esportabile, e visualizzabile, simulando l'afflusso ed il deflusso e facendo girare i modelli tramite un *software* geografico. L'integrazione tra *software GIS* ed idrogeologia si basa fondamentalmente sulla:

- memorizzazione dei dati in un *geoDB*, funzionalità delle *query* sul *DB* stesso e delle numerose *utility* del *software GIS*;
- delegazione delle elaborazioni spaziali alla componente *GIS* e alle sue *utility*;
- rappresentazione in *output* della componente spaziale e potenzialità per l'utente di strumenti grafici semplificati, ma complessi per controllare il modello.

4.1 – Utenza per un *GIS* idrogeologico.

Inoltre perché un modello sia idoneo al suo scopo è necessario comprendere in fase progettuale per quale tipologia di utenti verrà realizzato. Il progetto oggetto di questa tesi ha come presupposto quello di essere orientato proprio all'utente, cercando di permettere un uso più eterogeneo possibile nel campo delle scienze dell'acqua, cercheremo di elencare alcune suddivisioni delle utenze destinate a tale uso. In ambiente *GIS* è possibile individuare tre macro tipologie di utenti in funzione dei propri obiettivi e del livello di interazione con gli strumenti per la gestione e la manipolazione dei dati geografici. Riportiamo in proposito una breve descrizione delle categorie di utenti individuate da *G.E.Sherman* (2008) seguendo lo schema concettuale approntato da *C.Schifani* (2010):

- base (visualizzazione, consultazione e interrogazione di dati geografici);
- intermedio (riproiezione, modifica *CAD*, analisi di *overlay* e calcolo sugli attributi dei dati);
- avanzato (analisi topologiche, calcoli di reti, *map-algebra*, interpolazione ed altre analisi).

Questa prima delimitazione permette la più attenta definizione di profili per l'uso di *software GIS* da parte di utenti base e specialisti, regolandosi anche sulle offerte di mercato. Sempre facendo riferimento ad un'altra schematizzazione definita da *Sherman* proposta per gli applicativi *software* in base al livello di utenza, possiamo distinguere la performance dei *software GIS* in base alla:

- potenzialità di calcolo e tipologia di algoritmi implementati in campo *vector*;
- potenzialità di calcolo e tipologia algoritmi destinati al mondo *raster*;
- integrazione di strumenti e regole topologiche;
- potenzialità dei client *OGC*;
- efficacia dell'interfaccia grafica (dal punto di vista dell'utente);
- disponibilità di documentazione di supporto;
- disponibilità e trasparenza degli algoritmi;
- stabilità del *software* in ambiente di base.

Il progetto si propone di realizzare strumenti accessibili da differenti tipologie di utenti, lo scopo è quello di ottenere un contesto di semplice uso e contemporaneamente completo e potente, attirando tutte le classi di professionisti del settore.

4.2 – Vantaggi e difficoltà.

Le problematiche idriche, idrologiche ed idrogeologiche fanno chiaramente emergere la necessità di strumenti innovativi e solidi per la gestione di una risorsa così fondamentale per la vita. Lo scenario attuale del pianeta sotto crescente pressione antropica di tutte le risorse naturali è in crisi. I cambiamenti climatici e la sostenibilità ecologica, come abbiamo visto, necessitano di sempre maggior attenzione. Per questa serie di motivi l’Agenzia Europea dell’Ambiente ha emanato recentemente differenti raccomandazioni in proposito¹⁰, tra cui la *EU Water Framework Directive*¹¹, evidenziando la necessità di una nuova serie di iniziative da parte dei paesi membri circa le metodologie di gestione dell’acqua. Questo non è altro che uno stimolo per la definizione di nuove metodologie efficienti ed efficaci come il progetto oggetto della seguente tesi.

Nel contesto italiano esistono numerose figure che si occupano del controllo e del governo dell’acqua, sia livello regionale che distrettuale e non raramente sono stati utilizzati strumenti superati o spesso inadeguati per la realizzazione ed il mantenimento di una struttura aggiornata. In Italia, ferma restando la continua evoluzione della materia, il servizio idrico integrato è suddiviso in distretti così detti *idrografici* e dopo il D.Lgs. N.152 del 2006 i distretti idrografici italiani risultano essere 8. Questa è la loro suddivisione:

- distretto idrografico delle Alpi orientali (39385 kmq);
- distretto idrografico Padano (74115 kmq);
- distretto idrografico dell’Appennino settentrionale (39000 kmq);
- distretto idrografico del Serchio (1600 kmq) (pilota);
- distretto idrografico dell’Appennino centrale (358000 kmq);
- distretto idrografico dell’Appennino meridionale (68200 kmq);
- distretto idrografico della Sardegna (24000 kmq);
- distretto idrografico della Sicilia (26000 kmq).

Ognuno di questi distretti è gestito attraverso un Piano di Bacino distrettuale che rappresenta uno strumento tecnico/operativo mediante il quale sono pianificate le azioni e le norme d’uso in rapporto a determinate caratteristiche fisiche ed ambientale della porzione di territorio direttamente interessata:

- conservazione e difesa del suolo;

¹⁰ Si veda il materiale disponibile sul sito eea.europa.eu, con particolare attenzione alle pagine dedicate specificatamente alla risorsa idrica (cfr. a titolo di esempio <http://www.eea.europa.eu/themes/water/water-resources/policies-and-measures-to-promote-sustainable-water-use>).

¹¹ *Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy*, testo completo disponibile su <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0060:EN:NOT> .

- corretta utilizzazione della risorsa idrica.

.....Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

4.3 – Esperienze e tentativi di integrazione tra GIS e modelli.

Alcune forme di innovazione strettamente correlate alla problematica idrica che permettono spesso di riflettere su nuove soluzioni. Vediamo brevemente qualche esempio di applicazione:

- *NetSyMoD (Network Analysis-Creative System Modelling-Decision Support)* è un sistema di supporto alle decisioni fornito dal Consorzio di Bonifica della regione Veneto che si occupa di fornire alternative progettuali legati alle aziende agricole ad all'irrigazione più in generale. La metodologia può essere suddivisa in due fasi: una raccolta delle preferenze dei vincoli e delle scale di valori del tessuto socio-economico interessato per un'analisi conoscitiva delle informazioni ed una valutazione modellistica e quantitativa di stampo partecipativo attraverso una simulazione dei processi idrologici (Giupponi e Fassio 2007).
- *MUSHROOM (Multiple Users Service for Hydro-geological Risk Open & Operational Management)* è un progetto europeo realizzato da società private ed enti pubblici italiani, spagnoli ed inglesi per la previsione e la gestione di emergenze idrauliche ed idrogeologiche. Si tratta fondamentalmente di uno strumento di raccolta in tempo reale di grandezze idro-meteorologiche ed idrologiche che sono inserite in un *database* e che vengono gestite tramite un GIS dedicato all'analisi ed alla valutazione del rischio (MondoGIS 43).
- *CANARY* (già incontrato al capitolo primo) progetto sviluppato da una società privata e dall'agenzia per la protezione ambientale degli U.S.A., grazie all'uso di un *software open source (Canary Event Detection Software)*, permette di monitorare in tempo reale i sistemi di acqua pubblica e rilevare prontamente ogni tipo di minaccia. I ricercatori di questo progetto hanno realizzato algoritmi numerici per analizzare i dati provenienti da sensori multipli e distinguere tra la variabilità naturale dell'acqua e dei modelli insoliti che indicano un problema. Le informazioni vengono confrontate e aggregate ogni 5 minuti, e il sistema è in grado di dare l'allarme dopo circa 30 minuti che la sostanza contaminante raggiunge il primo sensore. Nel 1993 un'epidemia di criptosporidiosi a *Milwaukee* ha accelerato indirettamente la morte di decine di cittadini ed è costata più di 96 milioni di dollari di spese mediche e perdita di produttività. Il progetto *Canary* in quel caso avrebbe potuto, secondo quanto affermato dagli sviluppatori, modificare questa evoluzione degli eventi (<https://software.sandia.gov/trac/canary>).

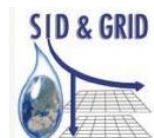
PARTE SECONDA

SID&GRID

5 – Il progetto.

5.1 – Innovazione del progetto SID&GRID.

“Il progetto di ricerca SID&GRID (Simulazione e sistemi IDroinformatici per la Gestione delle Risorse IDriche) prevede la realizzazione di uno strumento per la simulazione quantitativa combinata del ciclo dell’acqua nelle sue componenti superficiale e sotterranea” (C. Schifani 2010). Il progetto è stato finanziato dalla regione Toscana con i fondi POR-FSE 2007-2013 ed ha lo scopo di fornire agli enti pubblici e alle società che si occupano della pianificazione della risorsa idrica un’innovazione funzionale che copra tutte le necessità relative alla questione.



L’innovazione del progetto emerge da alcune delle linee guida fondamentali che sono state stabilite in sede di partenza dello stesso e sono legate fundamentalmente alle dinamiche spazio temporali del ciclo idrologico, gestito parzialmente tramite i bilanci idrici attualmente diffusi. Il progetto è basato sul disaccoppiamento (ed il successivo accoppiamento) dei sistemi delle acque superficiali e sotterranee, unicamente per la parte idrogeologica si innesca il procedimento di trasformazione dei codici *MODFLOW*. La posizione centrale dell’uso della modellazione numerica congiuntamente ai Sistemi Informativi Territoriali rappresenta una strada più rigorosa e completa per

affrontare le problematiche legate alla gestione della risorsa idrica. Il progetto prevede la realizzazione di una serie di strumenti informatici che permetteranno alle società, preposte alla gestione delle informazioni e dei dati relativi alle acque, di:

- acquisire;
- archiviare;
- organizzare;
- elaborare;
- visualizzare;
- distribuire.

I risultati che ci si aspetta di ottenere con tale progetto sono:

- la diffusione di nuove tecniche di gestione della risorsa idrica;
- l'integrazione di una serie di strumenti informatici per la risorsa idrica;
- la disponibilità di maggiori dati interoperabili circa l'idrogeologia;
- un'informazione più completa.

Inoltre SID&GRID vuole essere una soluzione operativa destinata ad un più ampia gamma di utilizzatori. Tipicamente infatti solo professionisti specializzati nel settore geologico, idrogeologico o idraulico avrebbero le competenze per poter integrare informazioni di questo tipo formulando un modello completo per una zona analizzata. SID&GRID offre invece la possibilità di integrare tali informazioni tramite un *software* più intuitivo ma allo stesso tempo performante e professionale.

Un altro punto di forza di SID&GRID è l'interoperabilità tra le varie discipline, che è ormai un presupposto necessario per la realizzazione di analisi del territorio efficaci. Professioni come il geologo, l'ingegnere, il pianificatore e molte altre affini ad uno stesso contesto non viaggiano più in parallelo come materie rigorosamente distinte, necessitano di integrarsi a vicenda arricchendosi e anzi risultando meno rigorose e più disponibili allo scambio di informazioni.

SID&GRID è inoltre predisposto per essere un progetto parzialmente partecipativo da parte della pubblica amministrazione e da utenti del settore, che a vario titolo possono essere interessati anche solo a inserire dati su rilievi o aggiornamenti del sistema idrico. Uno degli obiettivi del progetto è infatti sviluppare e rendere operativo un *Decision Support System* con *software open source* che possa essere usato in qualità di strumento condiviso per la gestione e la pianificazione della risorsa idrica da parte di:

- enti pubblici;
- società private;
- professionisti;
- comunità.

.....Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

5.2 – Strumenti e tecniche di SID&GRID.

Il progetto si propone di trasformare modelli attualmente funzionanti e creati in linguaggio *Fortran* negli anni 80 negli Stati Uniti per analizzare i flussi sotterranei e le proprietà idriche del suolo, in geoalgoritmi *Java*. Trasformando i modelli usati dall'*USGS (United State Geological Service)* in un linguaggio a oggetti si ha la possibilità di utilizzare teorie consolidate nel campo dell'idrogeologia e della modellistica ambientale ed, allo stesso tempo, integrarle con operazioni *GIS* oggi più diffuse a livello mondiale. Gli strumenti informatici utilizzati sono basati sulle tecnologie *open source* attualmente diffuse, con particolare attenzione al *software gvSIG*. A supporto del *software* d'ambiente viene utilizzata una potente libreria, inizialmente implementata come complemento aggiuntivo del *software GRASS: SEXTANTE*. Ci si avvale quindi anche di un ambiente di sviluppo per la programmazione in *Java*. Spiegheremo comunque meglio in seguito le funzionalità e le caratteristiche di questi strumenti.

Per scambiare ed aggiornare in tempo reale gli avanzamenti dello stato di sviluppo del progetto il team è collegato ad un *server* centrale, avente sede presso il CNR di Pisa sezione ISTI, tramite un'interfaccia aggiuntiva di *Eclipse (software per la programmazione)* che permette di connettere il proprio *client* al *server* principale.

I formati dei dati che il *framework* di SID&GRID è pronto a recepire sono innumerevoli, sia per quanto riguarda il popolamento del *DB* sia per quanto concerne l'uso da parte degli utenti finali, gli strumenti realizzati hanno il compito di permettere una copertura il più totale possibile per l'inserimento di dati spesso eterogenei. I formati, infatti, provengono da differenti fonti che hanno differenti formattazioni e strutture, anche se possono partire da delle centraline che gestiscono già di per sé *DB*, non è detto che queste centraline usino un formato ad esse comune.

Risulta necessaria quindi un'uniformazione per l'inserimento dei dati in tabella grazie soprattutto all'uso di campi e record eterogenei nel nome e nel tipo.

6 – L'architettura.

L'architettura di SID&GRID (Figura 16), come visto in precedenza, ha come presupposto principale quello dell'essere *user-oriented* ed è costituita da alcune componenti fondamentali:

- 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 ed 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 l'interoperabilità dei dati anche via *web*, attraverso la gestione dei livelli di utenza ed i relativi privilegi di accesso alle basi informative.

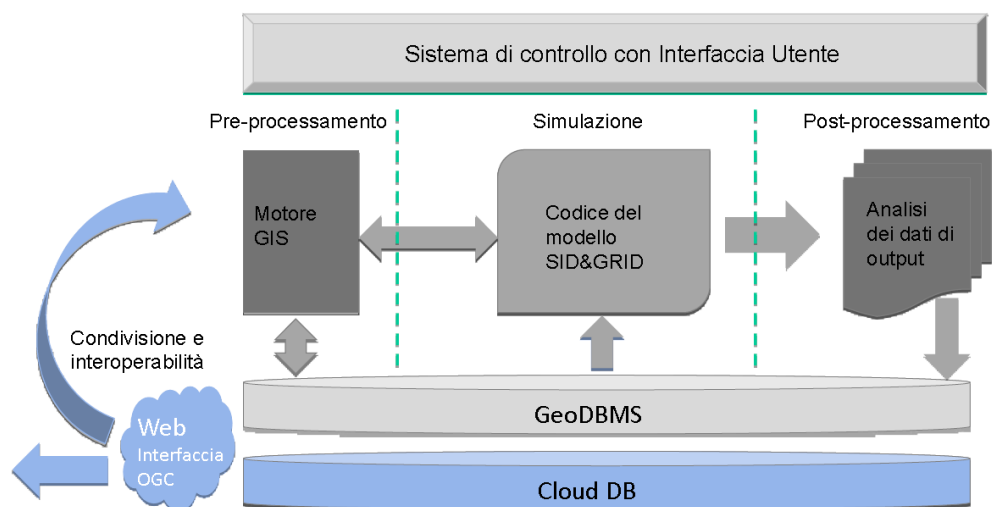


Figura 16

.....Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

6.1 – Il *MODFLOW* dell'*USGS*.

Dal punto di vista idrogeologico *MODFLOW* è un modello a differenze finite, che permette di realizzare una simulazione del flusso di acque sotterranee nelle tre dimensioni spaziali (X,Y,Z) incorporando modelli bi e tridimensionali. Si tratta di un'applicazione idrogeologica ampiamente sviluppata ed utilizzata dall'*USGS* che offre la possibilità di simulare:

- caratteristiche proprie del sistema idrogeologico (flussi da fiumi, da corpi idrici superficiali, ecc.);
- flussi di tipo artificiale e naturale esterni (pozzi, evapotraspirazione, drenaggi);
- differenti tipologie di acquifero (libero, confinato, semiconfinato);
- anisotropia nelle caratteristiche idrauliche dell'acquifero.

MODFLOW permette dunque la simulazione tridimensionale di acqua sotterranea (a densità costante) attraverso un mezzo poroso (il suolo). Questa simulazione è in grado di tenere in considerazione una serie di condizioni al contorno, di carico idraulico generali e di carico idraulico iniziali tramite un'equazione. Per risolvere quest'equazione sono stati sviluppati vari metodi di calcolo che forniscono soluzioni più o meno approssimate. Una metodologia risolutiva dell'equazione può essere denominata appunto "metodo delle differenze finite" in cui il sistema continuo preso in esame viene sostituito da un set finito di punti discreti sia nello spazio che nel tempo. A questo punto

vengono calcolate equazioni algebriche lineari e dalla loro risoluzione si ottengono valori di carico idraulico per ogni punto del sistema. Questi valori rappresentano quindi un'approssimazione alla distribuzione del carico idraulico, che risulta essere variabile nel tempo.

Risulta quindi importante, per capire il funzionamento di questo metodo di analisi idrologica e successivamente comprenderne l'inserimento di tali metodologie nel progetto SID&GRID, il concetto di discretizzazione. Si può affermare, infatti, che in *MODFLOW* la risorsa idrica di una porzione di territorio sotterranea presa in esame venga discretizzata nelle tre direzioni spaziali:

- in righe sul piano X;
- in colonne sul piano Y;
- in strati sul piano Z.

Fondamentalmente l'area di studio viene suddivisa in un numero finito di celle (Figura 17) che contengono un punto (nodo), in corrispondenza del quale viene calcolato il carico idraulico.

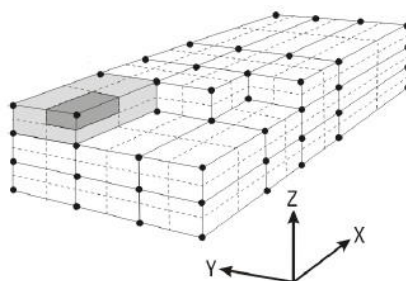


Figura 17

Utilizzando il metodo delle differenze finite, quindi, è necessaria la distinzione tra:

- discretizzazione spaziale;
- discretizzazione temporale.

A sua volta il tempo verrà anch'esso suddiviso in intervalli discreti che in questo caso chiameremo *timestep*. Se consideriamo che la somma di tutti i flussi *input/output* dalle celle deve risultare uguale alla variazione di *storage* nella cella, l'obiettivo della simulazione è predire una distribuzione del carico idraulico in un tempo successivo ad una specifica condizione iniziale. A questo punto *MODFLOW* utilizza un metodo di calcolo numerico iterativo per ottenere la soluzione del sistema di equazioni ottenute per ogni *timestep*. Questo calcolo non viene costruito necessariamente per tutte le celle, ma piuttosto *MODFLOW* suddivide la tipologia di celle in tre categorie:

- celle a carico costante;
- celle inattive o celle *no-flow* (senza flusso *input/output*);
- celle a carico variabile (ovvero le restanti celle della griglia).

Celle inattive o a carico costante vengono in genere utilizzate per modellizzare i confini del sistema idrogeologico.

Facendo un passo indietro, come visto in precedenza, *MODFLOW* discretizza lo spazio in orizzontale e definisce:

- un numero di righe (X);
- un numero di colonne (Y);
- una loro ampiezza.

Lo spazio verticale viene invece definito attraverso degli strati o per meglio dire attraverso un numero finito di *layers* (Z) grazie ad alcuni metodi di implementazione che comportano spesso degli errori. Questi errori vengono in parte compensati ricombinando i dati e applicando in pratica una sorta di ricombinazione degli stessi metodi.

.....Per il resto del capitolo potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

6.2 – *Software open source* e la scelta di *gvSIG*.

La tecnologia *GIS* è entrata nel panorama italiano dell'*IT* (*Information Technology*) alla fine degli anni '80 e per gran parte degli anni '90 sia in Italia che nel mondo è rimasto dominato prevalentemente da prodotti proprietari. Anche per quanto riguarda la pubblica amministrazione, che dovrebbe essere il settore più aperto alla possibilità di risparmio ed ottimizzazione delle risorse finanziarie, solo nel nuovo millennio si inizia a dare ossigeno ad un mercato per le *GIS science* più prolifico e più dedicato ad alternative rispetto al *software* proprietario. In Italia grazie anche al Protocollo d'Intesa del 1996 (*IntesaGIS*, cioè un accordo approvato dalla Conferenza Stato Regioni e Province Autonome che coinvolge le diverse Amministrazioni Centrali ed organismi statali, le Regioni e Province Autonome, i Comuni, le Province, le Comunità Montane e le Aziende per la gestione di pubblici servizi) si diffondono metodologie più omogenee per la raccolta dei dati territoriali destinati alla produzione di database geografici. Più in generale nel contesto europeo, tramite la direttiva dell'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale in Europa *INSPIRE* (2007), viene stimolata la necessità di usare prodotti più economici e più versatili delle già consolidate, ma ormai prolisse soluzioni proprietarie.

Un ulteriore passo in avanti è rappresentato dalla nascita dell'*OpenGIS Consortium*, attuale *Open Geospatial Consortium* (*OGC*) una organizzazione internazionale *no-profit* costituita da 280 membri tra governo, industrie ed università che ha lo scopo di:

- definire specifiche tecniche per i servizi geospaziali e di localizzazione;
- sviluppare ed implementare standard per i dati geografici aperti;
- diffondere metodologie per la diffusione e l'interscambio dei dati.

Gli standard attualmente ideati e raccolti, hanno tutti forte relazione con i concetti degli standard *ISO 19100* (in particolare *ISO/TC211*), e sono attualmente un numero considerevole. Alcuni dei più importanti riguardano servizi come:

- il *web map service (WMS)* per la produzione di mappe idonee alla visualizzazione web;
- il *web processing service (WPS)* per la gestione di servizi *input/output* di elaborazione;
- il *web feature service (WFS)* per la manipolazione di codici sorgente di dati geografici;
- il *web coverage service (WCS)* per lo scambio di dati geospaziali sul web;
- il *coordinate transformation service (CT)* per la conversione tra coordinate geografiche;
- il *sensor observation service (SOS)* per la misurazione di dati telerilevati;
- il *geography markup language (GML)* per la codifica di features geografiche.

Di fronte ad un panorama in evoluzione come quello degli strumenti geografici e cartografici le scienze dei sistemi informativi territoriali intraprendono gradualmente, anche per quanto riguarda il *software*, una strada che porta sempre più all'uso di prodotti *open source* ed il progetto SID&GRID intende seguirle. Che sia per servizi di *mapping/webmapping*, di *editing* o di gestione dei database si può osservare che, anche se i produttori commerciali di *software* condividono in parte il mercato con l'*open source*, è proprio questo che sta trasformando la rete e la tecnologia informatica in generale.

La necessità di realizzazione di geoportali e le attuali dimensioni *open* hanno fatto riflettere molto su quale fosse la scelta più idonea per SID&GRID, e la scelta migliore per un progetto dedicato alla condivisione ed alla diffusione di tecniche per la gestione della risorsa idrica è stata individuata in una corona di prodotti *open source* completa ed interoperabile. In particolare si è scelto di adottare uno strumento distinto per l'archiviazione dei dati geografici ed un altro per la loro restituzione ed elaborazione. SID&GRID si basa quindi su una piattaforma *GIS* in cui *SEXTANTE* svolge il ruolo di archivio delle librerie di analisi spaziale interfacciandosi con *GRASS* e *gvSIG* per la parte relativa all'elaborazione e la restituzione grafica. Infine per quanto riguarda la componente *database (geoDBMS)* viene utilizzato *PostgreSQL + PostGIS* come *object-relation database system*, tutto sviluppato con linguaggio di programmazione *Java*.

Vediamo più nel dettaglio il perché di queste scelte.

SEXTANTE (sextantegis.com) è una libreria di dati spaziali scritti in *Java*, lo scopo principale è quello di fornire una piattaforma per la facile implementazione e utilizzo di funzionalità di *geoprocessing* (manipolazione dati spaziali). *SEXTANTE* (*Sistema EXTremeno de ANalisis TErritorial*) è stato sviluppato presso l'università di *Extremadura* in Spagna da *Victor Olaya* e diffuso a partire dal 2008; attualmente contiene più di 300 algoritmi *GIS* sia di tipo *raster* che *vector*. Una delle sue caratteristiche fondamentali è che, pur essendo gratuito e distribuito con licenza *MIT* (licenza di *software* libero ibrida e permissiva, cioè permette il riutilizzo nel *software* proprietario a condizione che la licenza sia distribuita con tale programma, es.: *PuTTY*), si integra attraverso dei *bindings* con gran parte dei *software GIS* in circolazione, che siano essi *open*



source o proprietari. La *GUI (Graphic User Interface)* di *SEXTANTE* è basata su quattro elementi fondamentali (Figura 18):

- *toolbox*;
- graphical modeler;
- *command-line interface*;
- *history manager*.



Figura 18

SEXTANTE può essere esteso attraverso l'uso di servizi *WPS* e l'integrazione di *GRASS* installato nel proprio *software* d'ambiente *GIS*.

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) è un *software* libero *GIS*, rilasciato dal 1999 con licenza *GNU GPL* (la licenza più diffusa nel campo del *software* libero che assicura all'utente libertà di uso, copia, modifica e distribuzione). *GRASS* (grass.fbk.eu) nasce all'inizio degli anni '80 come progetto dell'esercito statunitense, viene poi abbandonato per perseguire lo sviluppo di *software* commerciali lasciando l'ultima versione (4.1) di pubblico dominio. Attualmente il suo sviluppo e perfezionamento continuo è avanzato prevalentemente da volontari, ma ha comunque sede fisica presso l'Istituto Agrario di San Michele dell'Adige (TN) già Fondazione *Edmund Mach* e coordinatore *Markus Neteler*. La principale caratteristica di questo programma è quella di essere suddiviso in moduli che permettono la gestione, l'elaborazione, il modellamento spaziale e la visualizzazione di dati geografici bi- e tri-dimensionali sia tramite comandi testuali che attraverso interfaccia grafica. *GRASS* ha la possibilità di essere installato su sistemi operativi sia *Windows* che *UNIX* e di interfacciarsi con diversi tra i *software GIS* più diffusi, tra cui prodotti *open source* come *QGIS* o *gvSIG*.



gvSIG (Generalitat Valenciana Sistema de Informacion Geografica) è un *software GIS open source* con precisione cartografica distribuito anch'esso con licenza *GNU GPL*. Il programma ha la possibilità di gestire dati geografici *vector* e *raster* e di connettersi a server con standard *OGC* implementando quindi servizi come: *WMS*, *WCS*, *WFS*. *gvSIG* (gvSIG.org) è nato nel 2003 in Spagna, da una società privata ed inizialmente dedicato alla Comunità Valenzana, grazie ad un finanziamento con fondi dell'Unione Europea per lo sviluppo regionale. Il programma è scritto in linguaggio *Java* e possiede un linguaggio di *scripting* basato su *jython*, utilizza inoltre potenti librerie standard *GIS* come *Geotools* o *Java Topology Suite (JTS)* e supporta la maggior parte dei formati *raster* e *vector* attualmente diffusi in ambito geografico, cartografico e *CAD*. Oltre ad essere distribuito in versioni installabili sia su *Windows* che su *UNIX OS*, dispone di una versione



mobile che gira su gran parte delle piattaforme *smartphone* in circolazione attualmente. Tra le varie estensioni per *gvSIG*, realizzate dai vari gruppi di sviluppo, ricordiamo ovviamente quella per *SEXTANTE* e vedremo più avanti come risulta fondamentale la possibilità di collegarsi a database in ambiente *PostgreSQL*.

PostgreSQL (postgresql.org) è un database relazionale ad oggetti rilasciato con licenza libera *BSD* (licenza permissiva approvata da *OSI* che permette di generare prodotti di pubblico dominio modificabili senza restrizioni) che offre alcune caratteristiche uniche che lo pongono per alcuni aspetti all'avanguardia nel settore dei database. La sua progettazione nasce a *Berkeley* nel 1982, ma viene fondamentalmente liberato come *open source* dal 1994 da *Andrew Yu* e *Jolly Chen* nella versione 6; essi si occupano in effetti di aggiungere un interprete per il diffuso linguaggio di *query* su *DB SQL*, che ne permetterà la sua stessa diffusione mondiale e sul web. Spesso è diffuso l'uso di un applicativo multipiattaforma, *pgAdmin*, che permette l'amministrazione e la gestione in modo semplificato, ovvero tramite interfaccia grafica, del *DB*.



6.3 – Vantaggi e svantaggi rispetto alle strutture proprietarie.

Attraverso questa breve elencazione e descrizione dei prodotti in uso nel progetto e abbastanza diffusi nel campo del *GIS open source* si vuole confermare la versatilità e l'interoperabilità che caratterizza queste strutture, integrate o integrabili rispetto alla realtà dei *software* proprietari. Anche se esistono diversi prodotti nel commercio attuale delle *GIS science* estremamente validi e spesso apparentemente insostituibili, il *software open* sta permettendo una vera e propria conversione ad aziende, società e spesso anche enti pubblici per la sua facilità e completezza d'uso, ed anche per l'aspetto economico che non è da sottovalutare in un momento di particolare come quello della crisi degli ultimi tempi. Chiaramente l'aspetto economico può essere un importante fattore da considerare solo quando l'efficienza del prodotto alternativo equivale o supera le aspettative. Ebbene il fattore di integrazione di questi prodotti di natura differente, come per esempio *gvSIG* e *PostgreSQL*, alleggerisce il carico di lavoro distribuendo i comandi da eseguire su un'unica soluzione interfacciabile, evitando conversioni di formato, passaggi di cartelle o altre operazioni spesso lunghe e dispendiose.

Un altro vantaggio di questa famiglia di programmi risulta essere la loro natura multipiattaforma. Spesso i prodotti proprietari sono sviluppati e perfezionati per girare esclusivamente su un unico *software* di base: *Microsoft Windows* piuttosto che *Solaris* o altri. Esistono in realtà prodotti commerciali nati con funzionalità multipiattaforma, ma sono rari e spesso superati perché poco usati e quindi poco aggiornati. Programmi come quelli scelti dal progetto *SID&GRID* sono installabili indipendentemente dal sistema operativo, o meglio esistono in versioni apposite, quando necessario, per le principali piattaforme in uso oggi.

7 – Il contesto tecnologico.

7.1 – Java come linguaggio preferenziale per SID&GRID.

Java è un linguaggio di programmazione ad oggetti (*object-oriented programming*) di alto livello, nato nel 1991, presso un team della *Sun Mcrosystem* capeggiato da *James Gosling*. Prende il suo nome riferito al sinonimo di caffè che si dice fu molto bevuto dai partecipanti di una lunga riunione del team; essi cercavano di realizzare un linguaggio in grado di funzionare con tutta la vasta gamma di chip allora diffusi tra gli elettrodomestici. Venne poi più avanti capito che il linguaggio era anche perfetto per la molteplicità di applicazioni destinate al *web*. *Java* viene, quindi, creato per soddisfare principalmente quattro scopi:



- essere orientato agli oggetti;
- essere indipendente dalla piattaforma;
- contenere strumenti e librerie per il networking;
- eseguire codice da sorgenti remote in modo sicuro.

Per capire meglio la struttura di questo linguaggio di programmazione ad oggetti e la sua scelta per il progetto SID&GRID è necessario introdurre alcuni brevi concetti relativi alla programmazione più in generale. La programmazione orientata agli oggetti è una metodologia che considera un programma come costituito da oggetti, essi possono agire come singole entità o interagire con altri, proprio come nel mondo reale. Si tratta di un'astrazione e possiamo fare un parallelismo alle stesse argomentazioni che abbiamo esposto precedentemente per il concetto di modellazione, possiamo dire che si tratta quindi di una modellazione della realtà destinata alla programmazione. Si è parlato anche di linguaggio ad alto livello inteso come un linguaggio che si contraddistingue dal linguaggio macchina direttamente eseguibile dal computer e che può essere avviato da esso in maniera automatica astruendo le caratteristiche fisiche della macchina in cui si opera (è un po' anche il principio che ha fatto partire in precedenza la programmazione in *Fortran*). Per completare questa breve introduzione a *Java* è necessario esporre la funzionalità di un altro elemento base per la realizzazione di codice *Java*: il compilatore. Un compilatore è un programma che traduce un programma scritto in linguaggio ad alto livello in un programma scritto a basso livello. Una volta compilato un programma è pronto per essere eseguito quante volte si vuole, a questo punto distinguiamo:

- programma o codice sorgente (source code) per il programma di *input* per il compilatore;
- programma o codice oggetto per il programma in linguaggio.

Per la realizzazione di codice *Java* è necessario suddividere il codice stesso in pacchetti (*package*) che riuniscono singoli file *.class* o più propriamente classi. Una classe è un costrutto di un linguaggio di programmazione usato come modello per creare oggetti. Il modello comprende a sua volta attributi e metodi (operazione) che saranno condivisi da tutti gli oggetti istanziati (istanze). La classe è l'unità fondamentale di *Java* e possiamo definirla più semplicemente anche come una sorta di stampo per gli

attributi o i comportamenti di una serie di oggetti. Introduciamo a questo punto i tre principi fondamentali della programmazione ad oggetti:

- incapsulamento;
- polimorfismo;
- ereditarietà.

L'incapsulamento consiste nel nascondere tutti i dettagli della definizione di una classe che non sono necessari per usare le istanze create da quella classe. Si tratta di una forma di *information hiding* (letteralmente nascondere le informazioni), una pratica che consente di progettare un metodo in modo che possa essere utilizzato senza alcun bisogno di comprendere i dettagli del codice che lo implementa.

L'ereditarietà in Java permette di definire una classe più generale ed in seguito classi più specializzate che aggiungono nuovi dettagli alla classe generale. Questa tecnica permette di risparmiare molto lavoro, quindi tempo, perché la classe specializzata eredita tutte le proprietà della classe generale ed il programmatore deve solo realizzare le nuove caratteristiche.

Il polimorfismo ha la possibilità di modificare la definizione dei metodi nella classe derivata (o sottoclasse) e far sì che questi cambiamenti siano effettivi anche per il codice della classe base. Questo principio è strettamente legato al concetto di *binding* dinamico: dove per *binding* in generale si indica il processo in cui l'invocazione di un metodo viene associata ad una definizione specifica del metodo:

- *binding* statico se l'associazione viene prodotta al momento della compilazione del codice;
- *binding* dinamico se l'associazione viene prodotta quando il metodo è invocato.

Il compilatore *Java* abbiamo visto non traduce il programma nel linguaggio macchina specifico del computer su cui è stato compilato, ma in un linguaggio detto *bytecode*. Questo linguaggio non è specifico di nessun computer, risulta piuttosto un linguaggio macchina di una macchina virtuale (in questo caso *Java Virtual Machine*) che dona per così dire a *Java* la preziosa caratteristica della portabilità. Si tratta di uno dei motivi cardine per la scelta di questo linguaggio all'interno del progetto SID&GRID. Compilato il programma *Java* in *bytecode* è possibile eseguire il programma su qualsiasi computer dotato di macchina virtuale *Java* senza bisogno di ricompilarlo. Per questo è possibile inviare tranquillamente codici *Java* attraverso *Internet* o comunque in una comunicazione diretta tra computer. Per sottolineare la diffusione e la popolarità che hanno contraddistinto gli ultimi anni di evoluzione di *Java* si riporta un estratto di uno studio della *TIOBE Programming Community Index*¹². Esso fornisce un indice effettivo dello studio statistico circa l'utilizzo reale del linguaggio di programmazione. Questa documentazione è evinta da una raccolta di dati proveniente dal web grazie all'uso dei più utilizzati motori di ricerca. L'indice è aggiornato mensilmente (Figura 19) ed è uno

¹² Cfr. tiobe.com.

strumento utile per intraprendere e/o verificare una decisione strategica per l'avviamento di un nuovo progetto, oppure la verifica dell'efficienza di un lavoro in corso.

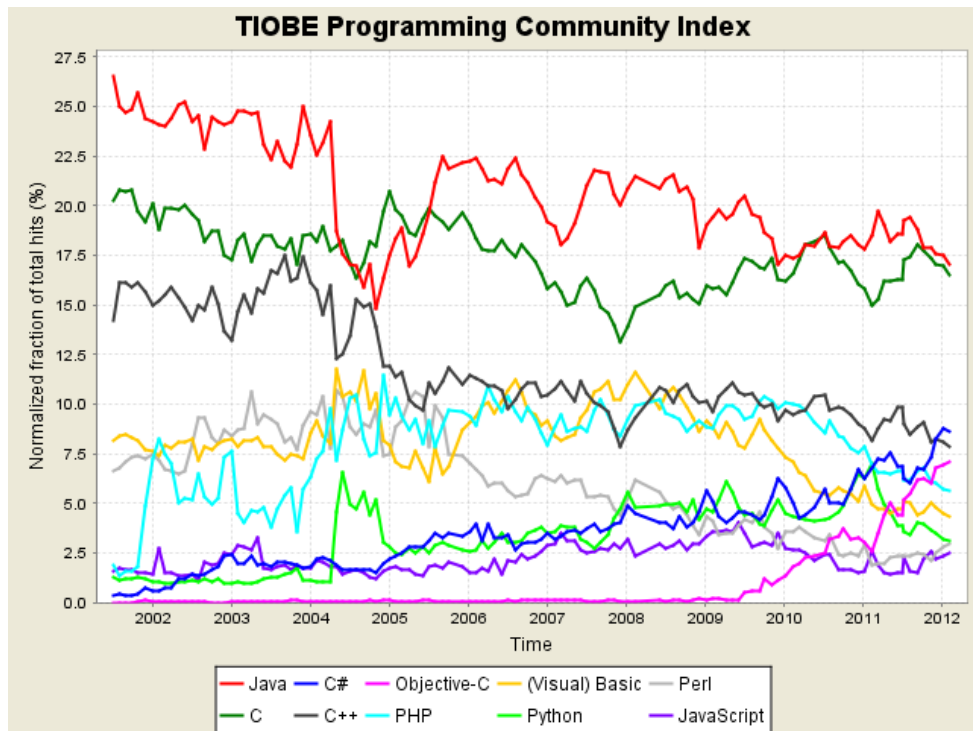


Figura 19

Come ben si può capire osservando il grafico *Java* risulta il vincitore assoluto con un indice molto alto ed una prima posizione mantenuta dal 2006 ad oggi. Per quanto riguarda l'aspetto di congiunzione tra il linguaggio *Java* ed il progetto SID&GRID è importante sottolineare, infine, che si necessita di un singolo traduttore per ogni algoritmo necessario per l'interpretazione del modello idrologico ed idrogeologico.

Successivamente questi traduttori formeranno un'unica soluzione unendosi in un modello base.

7.2 – Software dell'USGS.

Ci sono molteplici interfacce grafiche realizzate per *MODFLOW* si tratta di programmi che hanno la funzione di aiutare l'*input* dei dati da parte dell'utente al fine di generare modelli di *MODFLOW*. Possono essere suddivise tra interfacce non commerciali libere (la cui autorizzazione ha generalmente un limite per scopi di lucro, di ricerca o educativi) e programmi commerciali. I programmi commerciali di *MODFLOW* sono usati tipicamente dai governi per le sue applicazioni ai problemi nell'ambiente dell'acqua freatica. Si tratta di versioni professionali che variano da un minimo di 1000 dollari ad un massimo di 7000 circa. Tutte le versioni di questi programmi funzionano su sistemi operativi *Microsoft Windows*, a parte qualche vecchia versione che era stata compilata per piattaforme *UNIX*.

Tra i *software* liberamente scaricabili ne esiste uno in particolare che risulta utile analizzare ai fini di questa trattazione: *ModelMuse*¹³. Si tratta di un'interfaccia grafica (*GUI*) per il *MODFLOW-2005* dell'*USGS* che fornisce strumenti per la creazione degli *input* e degli *output* per lo studio dei flussi. I *tool* permettono all'utente di inserire i dati relativi alla definizione dei parametri per la discretizzazione spaziale e temporale in maniera abbastanza libera, permettendo di simulare il modello dei flussi idrici tramite le proprie esigenze. Attraverso l'insegnamento nell'uso di questo programma, il progetto *SID&GRID* ha previsto delle giornate formative ed integrative al *software open source*, il cui programma è ancora *in itinere*. La maggiore comprensione delle operazioni idrologiche ed idrogeologiche progettate per i programmi dell'*USGS* ed il parallelismo con quelle del nuovo sistema *open source* è un pregio molto apprezzato, che ha attirato anche gli investimenti di alcuni Enti Pubblici e alcune società private Per l'ultima parte della tesi potete contattarmi su ander2712@hotmail.com

¹³ <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/ModelMuse/ModelMuse.html>