

## Un sistema “Cloud Computing Server” per analisi 3D del terreno

Oreste Tommasi

GeoMind Srl (Abaco Group), Via Carducci 64/D, San Giuliano Terme (PI)  
Tel. 050 9911062, Fax 050 9911063, email: [tommasi@geomind.it](mailto:tommasi@geomind.it)

### Riassunto

*DbMAP Cloud Computing Server* è un modulo per effettuare analisi ed elaborazioni avanzate su dati di elevazione del terreno; dispone di una varietà di funzionalità che vanno dall'analisi idrografica all'analisi di visibilità, e offre capacità di calcolo ad alte prestazioni in grado di operare su *raster* di enormi dimensioni. Questo modulo dispone inoltre di una interfaccia grafica 3D interattiva e facile da usare, per mezzo del programma client *DbMAP 3D Flyer*, con il quale è possibile ad esempio impostare il calcolo del bacino di una diga, di un bacino di drenaggio, di mappe di visibilità, ecc. con pochi click di mouse; anche i risultati sono visualizzati in 3D. Questo modulo può anche essere utilizzato come puro servizio web, interamente integrabile come componente *WPS* in sistemi OGC compatibili.

### Abstract

*DbMAP Cloud Computing Server* is a module for advanced processing and analysis on terrain elevation data. Spanning from hydrography to visibility analysis, it offers a range of high performance computing capabilities which can operate on huge rasters. It offers an interactive and easy to use graphical 3D interface through the *DbMAP 3D Flyer* client program, which allows the calculation of dam basins, drainage basins, visibility maps, etc. with a few mouse clicks; the results are also visualized in 3D. At the same time, it can be used as a pure service, fully integrated in *OGC* compliant systems as a *WPS* component.

### 1. Introduzione

Le caratteristiche di elevazione del terreno rivestono un ruolo fondamentale nella nostra vita, sia a livello individuale, sia a livello sociale. L'elevazione e la pendenza determinano i bacini idrografici, le reti idrologiche e le zone di inondazione; le caratteristiche di elevazione del territorio influenzano la progettazione delle reti di trasporto, e determinano l'idoneità di un luogo per applicazioni specifiche. L'analisi del terreno basata su modelli digitali di elevazione è ormai divenuta una prassi comune in idrologia (Wilson, Gallant, 2000).

La disponibilità di nuove tecniche per l'acquisizione di dati di elevazione ad alta risoluzione (esempio: *LiDAR*) consente di costruire modelli del terreno particolarmente accurati, su cui effettuare analisi estremamente dettagliate.

Generalmente, l'analisi 3D del terreno viene condotta per mezzo di software desktop e workstation dedicate; i dati del modello del terreno, tipicamente espressi per mezzo di *DEM (Digital Elevation Model)*, valori di elevazione su una griglia regolare di punti), si trovano in locale rispetto agli applicativi che effettuano l'analisi; ciò è dovuto a questioni di efficienza di accesso, in quanto i dati di elevazione utilizzati possono avere dimensioni molto rilevanti. In questo articolo si descrive un'impostazione *server-based*, realizzata per mezzo della suite *DbMAP 3D* di GeoMind/Abaco, per effettuare analisi 3D del terreno anche attraverso un'interfaccia Web, e quindi consentendo di condividere funzionalità avanzate di calcolo sul terreno in maniera flessibile ed efficiente.

## 2. Architettura del sistema

Sebbene il modulo *Cloud Computing Server* possa essere utilizzato in una varietà di configurazioni, in questo articolo ci si concentra sull'architettura di un sistema che permette la condivisione di servizi avanzati di calcolo attraverso il Web.

Questo sistema, come mostrato schematicamente in Figura 1, è caratterizzato da:

- un modulo client 2D/3D, che permette di impostare i parametri di analisi e calcolo, definire le zone d'interesse, ecc., ossia che permette di definire le *query* di calcolo; lo stesso modulo client è poi in grado di mostrare l'output direttamente nella vista 2D/3D, come geometrie, raster o in formato numerico, a secondo dei casi;
- un Server capace di supportare ed erogare servizi WPS; nel caso preso in esame, si è utilizzato il server *deegree* (<http://www.deegree.org>), un progetto open source implementato in Java, e in grado di supportare lo standard WPS 1.0.0;
- il modulo di calcolo *Cloud Computing Server*, che si interfaccia con *deegree* come fornitore di servizi di calcolo specifici;
- una base dati di elevazione (DEM) su cui effettuare i calcoli; per efficienza di accesso, conviene che i DEM siano accessibili localmente al *Cloud Computing Server*.

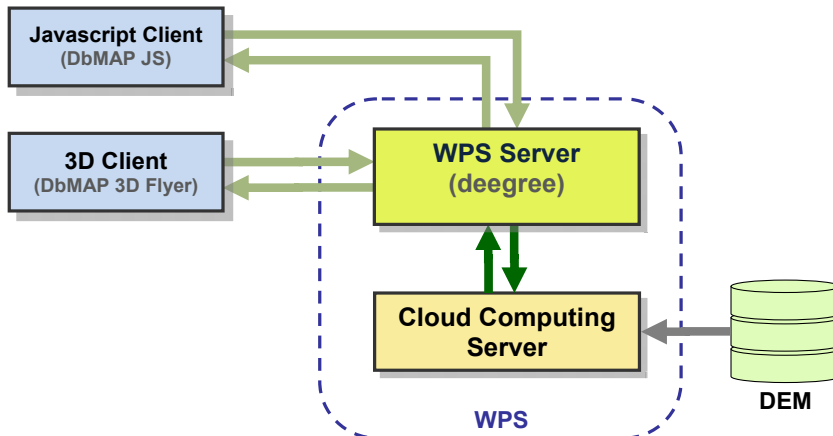


Figura 1 – Diagramma del sistema *Cloud Computing Server* in configurazione WPS.

Oltre ad effettuare le elaborazioni, il modulo *Cloud Computing Server* fornisce direttamente al server WPS tutte le funzionalità e le informazioni necessarie per rispondere alle chiamate *GetCapabilities*, *DescribeProcess* ed *Execute* previste dallo standard (per ulteriori dettagli sullo standard WPS si veda <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>).

## 3. Ottimizzazioni

Il modulo *Cloud Computing Server* è in grado di gestire richieste multiple contemporaneamente. In generale, il sistema è impostato in modo da processare contemporaneamente, su *thread* separati, tante richieste quanti sono i *core* della CPU del computer. Non risulta conveniente parallelizzare oltre il numero di core della CPU, in quanto gli effetti di concorrenza ridurrebbero sensibilmente l'efficienza complessiva. Tuttavia, poiché il *Cloud Computing Server* può operare per mezzo di una rete (*cloud*) di computer (ognuno dei quali ospita il modulo di calcolo), tutti facenti capo a un singolo modulo master direttamente collegato al server WPS, è possibile scalare a piacimento il numero di richieste contemporanee effettivamente supportate dal sistema. Al di là delle considerazioni generali, una ulteriore ottimizzazione delle performance del sistema richiede un'analisi del caso specifico, nonché della natura dei dati DEM (risoluzione, estensione, ecc.).

Per quanto riguarda l'accesso ai dati DEM, come già detto tipicamente presenti in locale, i *thread* di calcolo contemporaneamente attivi non accedono a tali dati "selvaggiamente", ma l'accesso ai dischi è opportunamente gestito in modo da evitare inefficienze di concorrenza.

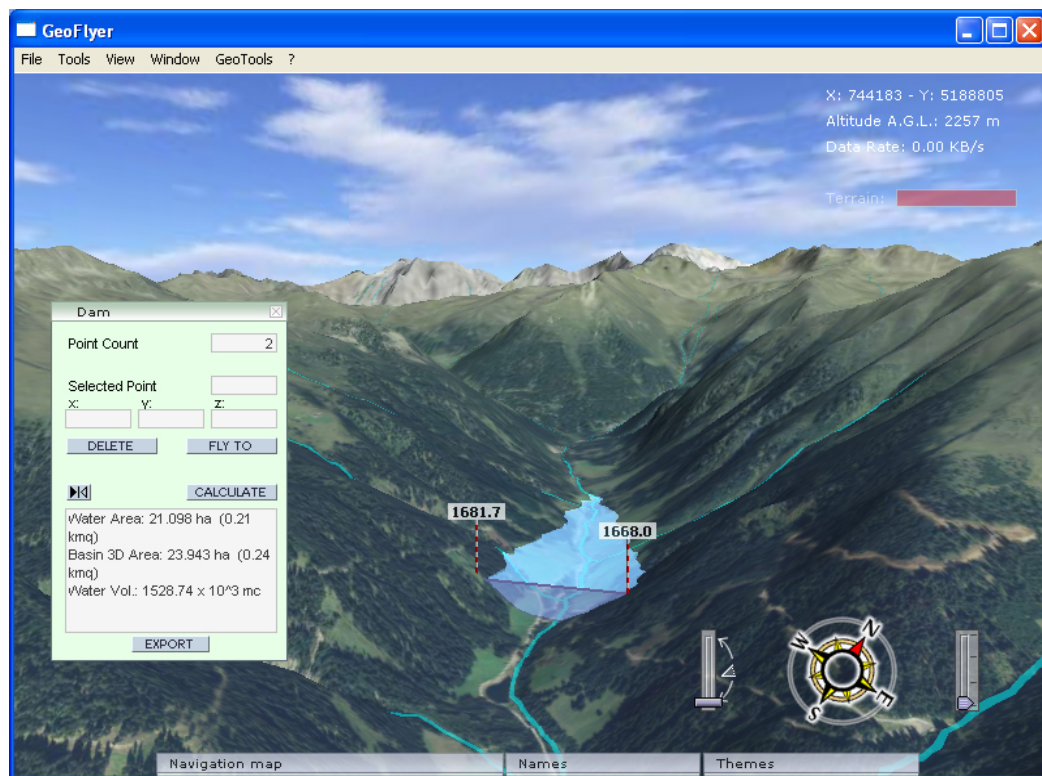


Figura 2 – Esempio di calcolo del bacino di una diga. Il risultato, oltre che visivo, riporta superficie e volume dell'invaso.

#### 4. Interfaccia grafica 3D

Il fatto di essere facilmente integrabile in un sistema WPS rende il modulo *Cloud Computing Server* interoperabile, e quindi utilizzabile con qualsiasi interfaccia utente, sia questa implementata all'interno di un browser o in un applicativo specifico. Nell'esempio preso in considerazione, si è utilizzata un'interfaccia grafica 3D costituita dal software *DbMAP 3D Flyer*. I vantaggi di questa interfaccia utente dal punto di vista della facilità di impostazione dei parametri per mezzo di pochi click del mouse direttamente sul terreno visualizzato in 3D, e dell'efficacia di visualizzazione dei risultati è evidente.

Ad esempio, per il calcolo del bacino di una diga (Figura 2), lo sbarramento viene definito per mezzo di due click sul terreno; il risultato del calcolo viene mostrato direttamente nella finestra 3D. Analogamente, per il calcolo di un bacino idrografico, avendo definito la relativa sezione di chiusura (sempre per mezzo di un paio di click del mouse), l'area del bacino calcolato viene mostrata sul terreno in 3D (Figura 3).

Il *Cloud Computing Server* contiene diverse altre funzionalità (analisi volumetriche, calcoli di pendenza e aspetto, profili di altitudine, analisi di visibilità, ecc.); essendo a sua volta impostato in maniera modulare, le sue funzionalità possono essere estese sviluppando degli opportuni *plug-in*.

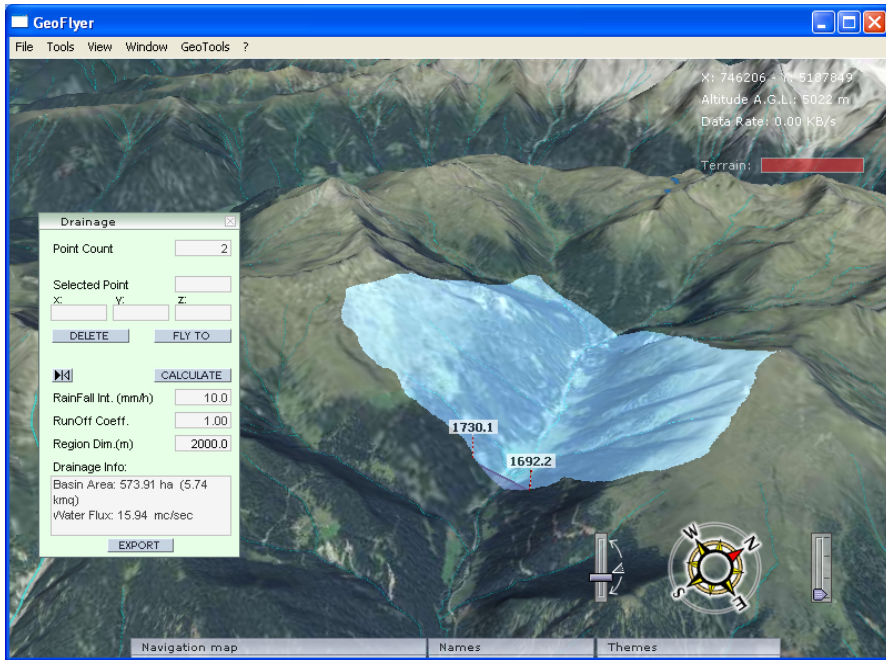


Figura 3 – Esempio di calcolo di un bacino idrografico, avendo definito la sezione di chiusura; il risultato è mostrato in semitrasparenza sul terreno.

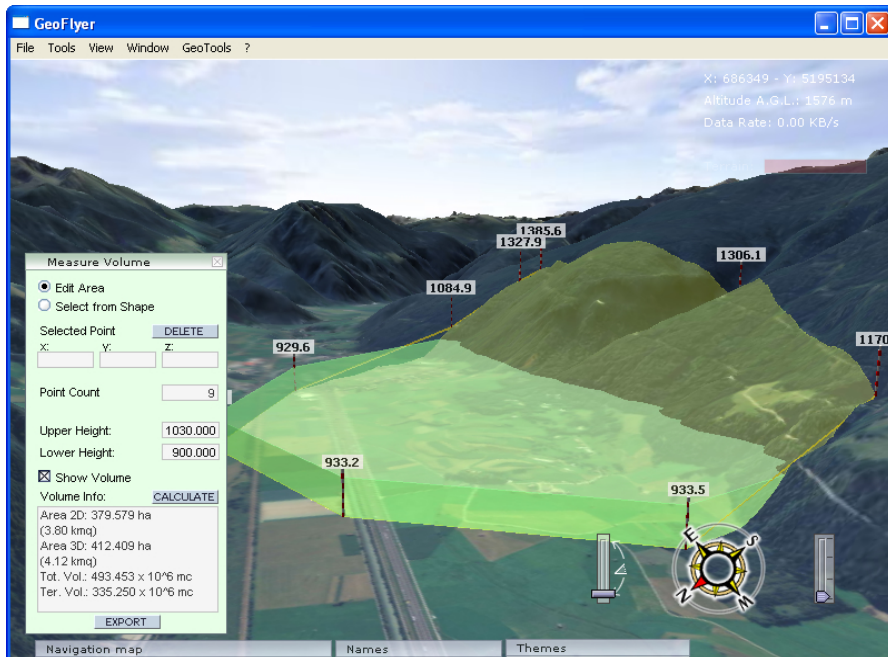


Figura 4 – Esempio di analisi volumetrica su un poligono definito dall'utente o proveniente da una base dati.

### 5. Esempio di algoritmo di analisi 3D: calcolo del bacino idrografico

Per un sistema server come quello descritto, che deve cioè essere in grado di rispondere a richieste multiple, l'efficienza di calcolo riveste un ruolo di primaria importanza. Per completare la discussione considereremo quindi, a titolo di esempio, un algoritmo corrispondente ad una delle funzionalità presenti nel *Cloud Computing Server*, analizzandone brevemente l'approccio sia dal punto di vista della qualità dei risultati sia dell'efficienza computazionale.

Il calcolo di un bacino idrografico su un terreno rappresentato per mezzo di un DEM (griglia regolare) consiste nel mettere in relazione i vari punti della griglia secondo le regole di deflusso definite dalle proprietà di pendenza in ciascun punto. In altri termini, avendo definito una sezione di chiusura, il corrispondente bacino idrografico è l'insieme di punti che forniscono un contributo di deflusso sui punti della sezione di chiusura.

Uno degli approcci utilizzati nella soluzione di questo problema (O'Callaghan e Mark, 1984) è quello che utilizza 8 possibili direzioni di versamento (metodo D8, Figura 5): per ogni punto del DEM si considerano gli 8 punti adiacenti, e il deflusso avviene nella direzione del punto che ha l'elevazione minima. I difetti dell'approccio D8 derivano dalla discretizzazione del flusso soltanto in una delle otto possibili direzioni, separate da un angolo di 45°; la risultante rete idrografica che ne deriva presenta evidenti condizionamenti da questo limite sulle possibili direzioni (Figura 6).

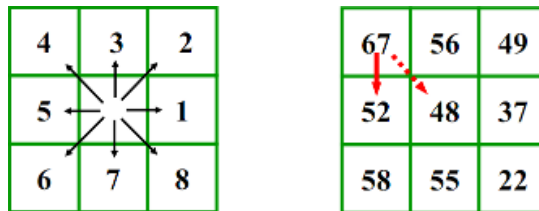


Figura 5 – Modello D8 per il calcolo della direzione di deflusso. In questo modello il deflusso avviene in direzioni discretizzate, verso il punto a quota inferiore.

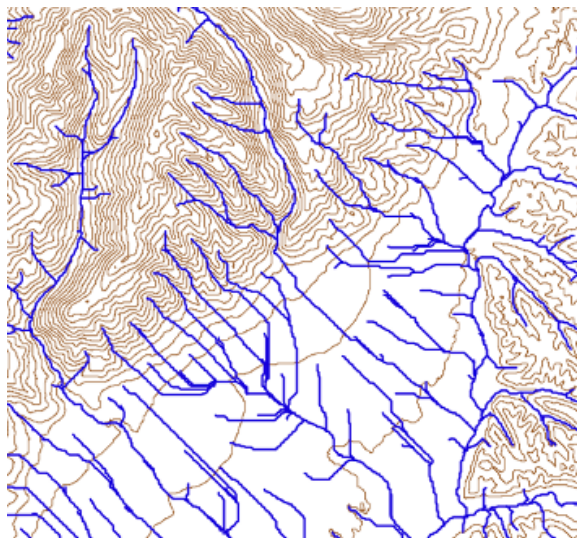


Figura 6 – Rete idrografica calcolata con il metodo D8; è evidente il condizionamento di direzionalità dovuto al fatto di avere soltanto 8 direzioni possibili di deflusso.

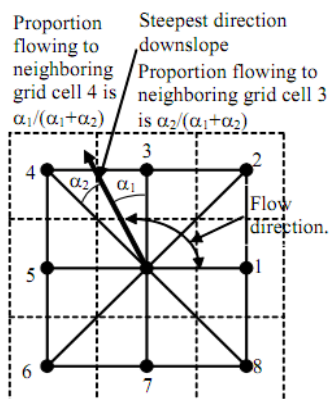


Figura 7 – Modello  $D_\infty$  con direzioni di deflusso multiple (Tarboton, 1997).

Un approccio più raffinato prevede di considerare la direzione di deflusso come variabile con continuità (Tarboton, 1997); si parla in questo caso di modello  $D_\infty$ , in quanto esistono infinite direzioni di deflusso possibili. Secondo il metodo descritto in (Tarboton, 1997) la direzione di deflusso in un punto individua comunque due celle, tra le 8 primi vicine, che ricevono un contributo dal punto considerato; tale contributo dipende linearmente dall'angolo della direzione di deflusso (Figura 7). Per ogni punto è quindi possibile considerare i contributi cumulativi provenienti da tutte le altre celle. Il modulo *Cloud Computing Server* utilizza un approccio derivato da (Tarboton, 1997), in cui la direzione di propagazione è ancora di tipo  $D_\infty$ , ma il contributo viene assegnato per intero da cella a cella. In altre parole, ogni linea di deflusso viene calcolata "esattamente" a partire dai punti dello spartiacque, ma passa per intero attraverso i punti che meglio li approssimano. Questa impostazione consente una costruzione diretta dei bacini idrografici a partire dalla definizione delle linee di deflusso. In Tabella 8 è riportata una descrizione dell'intero algoritmo usato nel *Cloud Computing Server* per il calcolo di un bacino idrografico data una sezione di chiusura. Si veda anche la Figura 9 per la visualizzazione dei risultati intermedi e finali.

N	Fase di elaborazione	Descrizione
1	Calcolo punti di spartiacque	I punti di spartiacque sono definiti dall'aver una delle seguenti proprietà: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sono dei massimi relativi, oppure</li> <li>- Posseggono più direzioni di deflusso (es.: sella)</li> </ul>
2	Calcolo linee di deflusso primarie e definizione dei sottobacini	A partire dai punti in prossimità dei punti di spartiacque, si tracciano le linee di deflusso; una linea di deflusso termina in un minimo relativo, oppure incontra un'altra linea di deflusso; in questo ultimo caso le due linee di deflusso si uniscono a costituire un sottobacino (che potrà accogliere ulteriori linee di deflusso).
3	Calcolo linee di deflusso secondarie e completamento dei sottobacini	Per i punti che non sono ancora stati assegnati a nessun sottobacino, a partire da quelli a quota maggiore si ripete lo step precedente, finché tutti i punti del DEM sono stati assegnati a un sottobacino. Al completamento di questa fase, alcuni sottobacini sono direttamente in contatto con la sezione di chiusura; ogni altro sottobacino è definito dall'aver un punto di minimo relativo (altrimenti dovrebbe defluire in un altro sottobacino).
4	Fusione dei sottobacini	Sui sottobacini non in contatto con la sezione di chiusura si effettua un'operazione di traboccamento, ossia si cerca il minimo tra i punti di bordo del sottobacino, e lo si fa riversare nel bacino adiacente. Se un punto di traboccamento si trova sul bordo del DEM (o dell'area presa in esame), il sottobacino non viene fuso con nessun altro. Al termine di questa fase, il risultato sarà il bacino idrografico cercato (in contatto con la sezione di chiusura) ed altri bacini che hanno come chiusura o il bordo del DEM, o la linea di costa (o qualsiasi altra chiusura definita).

Tabella 8 – Descrizione di massima dell'algoritmo utilizzato per il calcolo del bacino idrografico data una sezione di chiusura.

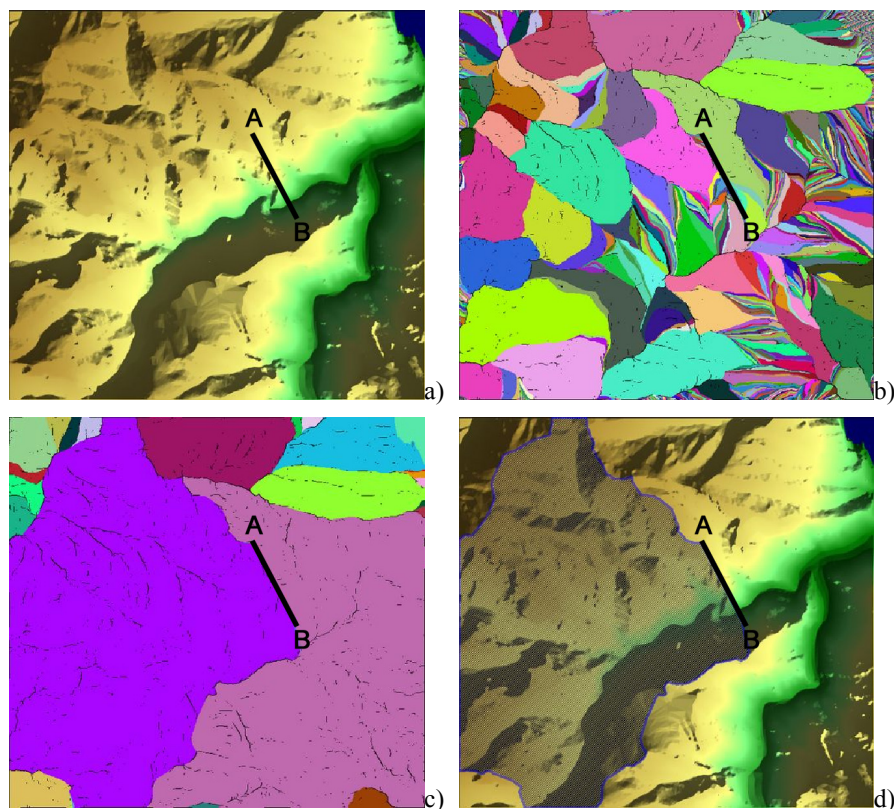


Figura 9 – Varie fasi del calcolo di un bacino idrografico; a) definizione della sezione di chiusura (segmento AB); b) calcolo dei sottobacini; c) fusione dei sottobacini; d) sovrapposizione del bacino idrografico sul DEM originale.

## 6. Conclusioni

In questo articolo si è illustrato un sistema per il processing di dati di elevazione del terreno che utilizza un approccio di tipo server, in modo fornire servizi avanzati di calcolo in modalità condivisa, senza la necessità di trasferire su ciascuna workstation i dati da elaborare. L'utilizzo del protocollo WPS garantisce l'interoperabilità; la possibilità di utilizzare interfacce utenti con visualizzazione 3D rende il sistema di facile utilizzo e di immediato feedback. Fra le funzionalità a disposizione, si è illustrato l'algoritmo per il calcolo dei bacini idrografici.

## 7. Bibliografia

O'Callaghan J. F. e Mark D. M., (1984), "The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28: 328-344

Tarboton D. G., (1997), "A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models," *Water Resources Research*, 33(2): 309-319

Wilson J. P., Gallant J. C., (2000), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley and Sons, New York, 479 pagine.