

## TELERILEVAMENTO COME STRUMENTO PER LA PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO: IL PROGETTO ENHYGMA

Michela VELLICO (\*), Federico CAROLLO (\*), Simone RINALDO (\*),  
Paolo STERZAI (\*), Gaspare ANDREELLA (\*), Alessandro PAVAN (\*),  
Nicola CREATI (\*), Paolo PAGANINI (\*), Carla PIETRAPERTOSA (\*)

(\*) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), Borgo Grotta Gigante 42/c,  
34010 Sgonico (TS), Italy, tel: +39 040 2140429, fax: +39 040 327307, e-mail: mvellico@ogs.trieste.it

(\*\*) European Project Consulting s.r.l., Dueville (VI), Italy,  
tel: +39 0444 169000, e-mail: federico.carollo@epcsrl.eu

(\*\*\*) Infracom Italia S.p.A, Padova, Italy, tel: +39 049 8064339, e-mail: Simone.Rinaldo@infracom.it

(\*\*\*\*) Ingegneria Andreella, Feltre (BL), Italy, e-mail: studio.andreella@alice.it

(\*\*\*\*\*) CNR-IMAA – Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, 85050 Tito Scalo, Potenza, Italy,  
tel: +39 0971 427111, fax: +39 0971 427271, e-mail: pietra@imaa.cnr.it

### Riassunto

Il progetto ENHYGMA, sviluppatosi nell'ambito dell'INTERREG III B CADSES Neighbourhood Programme, ha interessato il bacino del fiume Tisza, nel territorio ungherese. Sono stati acquisiti dati telerilevati su di una superficie di 200 km<sup>2</sup> lungo il tratto del fiume che si estende dall'abitato di Mindszent alla città di Szeged, utilizzando tre diverse metodologie: *Lidar*, iperspettrale e ortofoto digitali. A partire dal DTM ad alta precisione ricavato dai dati *Lidar* si sono ricostruite tridimensionalmente sezioni ed aree golenali, punto di partenza per una modellazione idraulica bidimensionale. Le ortofoto sono state inserite in un *WebGIS* creato ad hoc per gli scopi del progetto; vi fanno parte anche diverse mappe di copertura del suolo, realizzate integrando dati iperspettrali e dati satellitari, e mappe di rischio idraulico. Il telerilevamento si rivela uno strumento indispensabile per studi di carattere idrologico – ambientale.

### Abstract

*ENHYGMA project was borne under the sponsorship of INTERREG III B CADSES Neighbourhood Programme; it interested the Tisza basin, in Hungary. 200 km<sup>2</sup> of remote sensing data were acquired over the river, from Mindszent to Szeged. Three different methodologies were used: Lidar, hyperspectral and digital orthophotos. Three-dimensional sections were computed from high definition DTM obtained by the Lidar dataset: a bidimensional hydraulic model was calculated. Orthophotos were inserted into a dedicated WebGIS; land cover maps created from hyperspectral and satellite data integrated analysis are part of this WebGIS, such as hydraulic risk maps. Remote sensing is a fundamental and powerful instrument to investigate environment and hydraulic basins.*

### Il progetto

Il progetto ENHYGMA, sviluppatosi nell'ambito dell'INTERREG III B CADSES Neighbourhood Programme, ha interessato il bacino del fiume Tisza, nel territorio Ungherese. Scopo del progetto è stato favorire lo scambio transnazionale di tecnologie in tema di gestione integrata delle risorse idriche, con l'obiettivo di migliorare gli strumenti per la gestione ambientale e la pianificazione territoriale. Si è voluta ideare e sperimentare una metodologia che consenta il corretto utilizzo delle risorse idriche in aree fluviali a rischio esondazione.

Il progetto è stato ideato e promosso dall'Unione Veneta Bonifiche (Venezia), che vi ha partecipato

in qualità di Lead Partner. Gli altri *partners* sono stati: Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale - OGS (Trieste), Envitest Environment Protection.kft (Ungheria), Agricultural University of Athens (Grecia), Geodetski Institut Slovenije (Slovenia) e Povodi Odri, Statni podnik (Repubblica Ceca).

### **I rilievi**

OGS ha acquisito dati telerilevati su di una superficie di 200 km<sup>2</sup> lungo il tratto del fiume Tisza che si estende dall'abitato di Mindszent alla città di Szeged. Il box del rilievo è stato fissato concordemente da tutti i *partners* del progetto e su suggerimento specifico delle autorità locali, al fine di includere le aree maggiormente sensibili al rischio esondazione e quindi più significative per rispettare le finalità del progetto. Sono state utilizzate tre diverse tecniche di telerilevamento, per potenziare la quantità di informazioni disponibili e realizzare un'analisi quanto più dettagliata possibile della zona di indagine. I rilievi sono stati pianificati con cura, impostando dei parametri adeguati al *target* da rispettare; si sono svolti utilizzando un elicottero (AS350 B2), nelle giornate del 30 e 31 marzo 2007. La superficie è stata coperta secondo quattro diversi box.

La prima metodologia utilizzata è il *Lidar*, fondamentalmente per la precisione che consente di raggiungere nella mappatura di grande dettaglio della topografia del terreno. Il sistema utilizzato è stato un *Lidar* Optech ALTM 3100®, in grado di emettere un raggio laser operante nell'infrarosso ad una frequenza modulabile compresa tra i 33 e i 100 kHz, e in grado di registrare fino a quattro diversi echi di risposta. Per il presente rilievo è stata impostata una densità di punti pari a 2 punti/m<sup>2</sup> e si è acquisito ad un'altezza di 1000 m dal suolo.

Il dato *Lidar* è stato poi elaborato e classificato. La classificazione è un'operazione indispensabile (Årsson, 1999) per poter ottenere dati omogeneamente riferiti a specifiche classi che abbiano un significato reale, ovvero corrispondente ad elementi fisici presenti al suolo.

Si sono acquisiti inoltre dati iperspettrali, al fine di poter ricavare informazioni importanti sulla natura e lo stato della vegetazione presente nell'area; il dato iperspettrale consente inoltre di classificare il dato laser con maggior dettaglio. Il sensore utilizzato è un iperspettrale AISA Eagle 1K® fabbricato dalla ditta finlandese Specim; acquisisce in modalità pushbroom fino ad un massimo di 244 bande nel campo del Visibile Vicino Infrarosso. Per il presente rilievo si è scelto di impostare un numero di bande pari a 63, privilegiando una maggiore risoluzione del dato. Il dato iperspettrale è stato acquisito contemporaneamente al dato *Lidar*.

Le fasi di *processing* del dato iperspettrale hanno riguardato innanzitutto la correzione radiometrica, ovvero l'ottenimento del valore di radianza dal dato acquisito. Successivamente il dato è stato corretto geometricamente e geocodificato sulla base del DTM del *Lidar*; il *software* utilizzato è PARGE®, che non utilizza i tradizionali metodi polinomiali di ricampionamento dell'immagine (Schläpfer et al., 1999) ma si basa su un calcolo condotto *pixel per pixel*, che tiene conto delle variazioni d'assetto dell'aeromobile.

Durante l'acquisizione sono state scattate anche delle foto aeree da cui sono state generate le ortofoto. La camera digitale utilizzata è una Rollei 6008db, avente una risoluzione di 4080 x 4076 pixel. L'ortorettifica è stata eseguita in maniera semiautomatica utilizzando il *software* Terraphoto®, prodotto dalla ditta finlandese Terrasolid. Viene adottato un approccio di georeferenziazione ed ortorettifica mediante la determinazione dell'angolo di ripresa, l'identificazione di punti di omologhi (*tie points*) fra immagini adiacenti dotate di un certo *overlap*, e la stima dei valori di *roll*, *pitch* e *heading* del sistema; le immagini aeree vengono ortorettificate utilizzando un modello digitale del terreno ricampionato su maglia regolare.

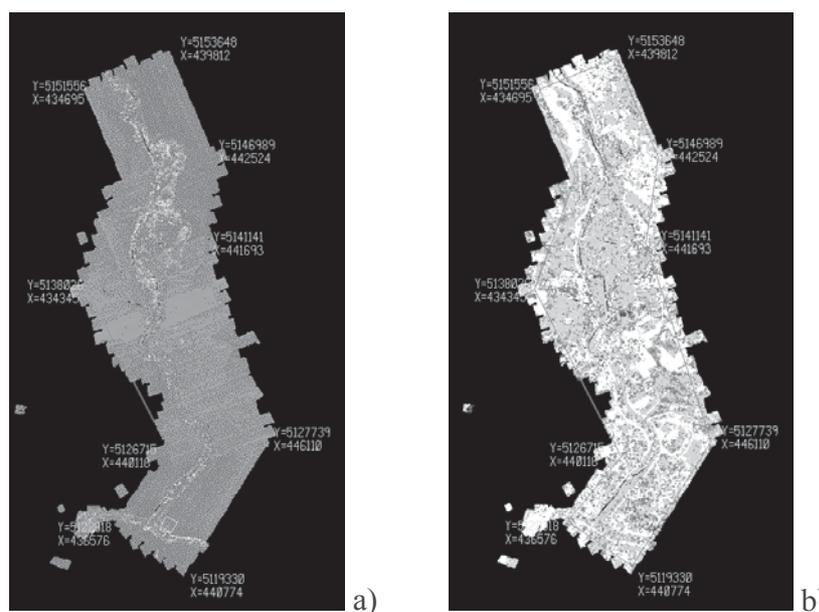


Figura 1 – Box di acquisizione - Lidar data visualizzati per: a) elevazione – b) intensità di riflessione del segnale.

### La modellazione idraulica

L'estrema precisione posseduta dai dati *Lidar* ha portato alla creazione di un dettagliato DTM (Modello Digitale del Terreno), che rappresenta la superficie terrestre e quindi si rivela indispensabile per il progetto, in particolar modo nella fase di modellazione idraulica del territorio indagato. Il DTM è stato realizzato a partire dalla classe *ground*, ovvero la classe corrispondente ai soli punti ricadenti sul terreno, epurata dalla presenza di edifici, vegetazione e manufatti in genere (Axelsson, 2000). Sono stati utilizzati i *software* Terrascan® e Terramodeler®, prodotti dalla ditta finlandese Terrasolid. Il dato *Lidar* corrispondente alla classe *ground* era stato precedentemente corretto mediante l'applicazione del geoido locale ungherese HGTUB2000, (Tóth et al., 2000). Tale correzione è stata indispensabile, in quanto solo un modello basato su quote geoidiche simula correttamente i fenomeni reali e quindi fornisce risultati scientificamente corretti.

E' stato inoltre acquisito con strumentazione *multibeam* il fondo di un tratto di fiume lungo all'incirca 5 km, posto nei pressi della città di Szeged, nodo nevralgico per i fenomeni di piena accaduti negli anni passati; i dati *multibeam* sono complementari ai dati *Lidar*, in quanto restituiscono le informazioni di superficie del fondale, altrimenti non deducibili. Un dataset così completo ha consentito di aumentare la precisione del modello idraulico localmente generato.

Grazie alla ricostruzione tridimensionale di sezioni ed aree golenali, avvenuta a partire dal DTM, è stato implementato il modello idraulico mono e bidimensionale del fiume Tisza a moto vario attraverso il *software* TUFLOW® prodotto da WBM Oceanics Australia. TUFLOW è un programma per la simulazione di deflussi mono e bidimensionali nello studio di piene e maree. Il completo algoritmo di soluzione 2D, creato da Stelling (Stelling, 1984) e sviluppato da Szymon e Szymon (Szymon e, 1999), risolve equazioni bidimensionali di continuità e conservazione della quantità di moto per superfici libere. Il *software* è stato sviluppato come progetto di ricerca dalla WBM Oceanics Australia e dall'Università di Queensland nel 1999. Il progetto è stato successivamente ampliato aggiungendo una connessione dinamica 2D/1D (Szymon e, 1999). I successivi miglioramenti dal 1999 ad oggi si sono focalizzati sulle strutte idrauliche, modellazione del flusso, connessione tra le strutture 2D/1D e l'utilizzo del GIS per la gestione dei dati (Szymon e, 2001).

Nell'ambito del presente progetto, tutti i dati riguardanti la topografia e le grandezze idrauliche caratteristiche degli oggetti sono stati inseriti nel modello mediante tematismi GIS. Per le serie

temporali come gli idrogrammi e per i dati non georiferiti come la geometria delle sezioni d'alveo o le caratteristiche delle opere idrauliche, si sono utilizzati files di testo. Per collegare i dati GIS, i dati non georiferiti, le serie temporali e per gestire le simulazioni, sono stati creati appositi files di testo. I dati idrologici acquisiti hanno poi permesso di elaborare e parametrizzare le differenti portate di picco ed i relativi idrogrammi di piena del fiume Tisza associate ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Nell'ambito del presente progetto, tutti i dati riguardanti la topografia e le grandezze idrauliche caratteristiche degli oggetti sono stati inseriti nel modello mediante tematismi GIS. Per le serie temporali come gli idrogrammi e per i dati non georiferiti come la geometria delle sezioni d'alveo o le caratteristiche delle opere idrauliche, si sono utilizzati files di testo. Per collegare i dati GIS, i dati non georiferiti, le serie temporali e per gestire le simulazioni, sono stati creati appositi files di testo. I dati idrologici acquisiti hanno poi permesso di elaborare e parametrizzare le differenti portate di picco ed i relativi idrogrammi di piena del fiume Tisza associate ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Il modello ha restituito i risultati delle simulazioni nei domini mono e bidimensionale secondo diverse tipologie di files.

Nella figura 2a si riporta una simulazione idraulica relativa all'evento centenario presso località Mindszent, circa 30 km a Nord di Szeged. La zona modellata con il modulo monodimensionale si differenzia nettamente da quella modellata con il modulo bidimensionale, dove sono visualizzati anche i vettori velocità; i valori di altezza d'acqua sul piano campagna sono indicati in scala di blu.

L'output fornito dal modello ha permesso, poi, di perimetrare le aree allagate associate ai differenti tempi di ritorno e realizzare, grazie ad una procedura GIS dedicata, che prevede l'interpolazione spaziale dei dati di copertura del suolo con quelli della pericolosità idraulica, una dettagliata mappa del rischio idraulico (vedi Figura 2b).

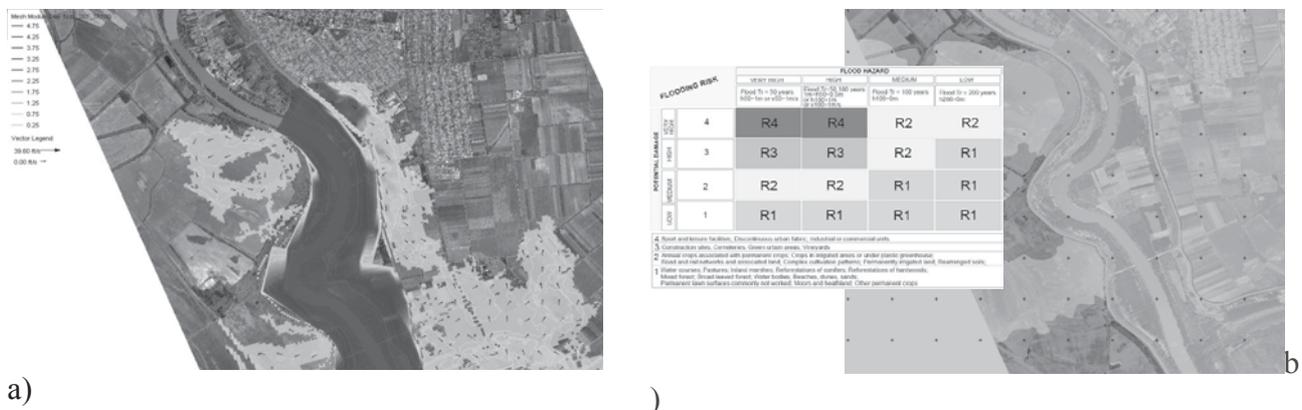


Figura 2 – a) Evento di piena con  $tr=100$  anni - Inviluppo dei tiranti idraulici e delle velocità risultanti dalla simulazione – b) Stralcio della mappa del rischio idraulico.

### Le mappe

Il modello di analisi per la realizzazione della carta di copertura del suolo, che costituisce un dato di base per la modellazione tridimensionale, si è basato sulla classificazione di immagini satellitari (set multi-temporale SPOT) e di ortofoto aeree mediante tecniche integrate "pixel oriented" e "object oriented" costruite su logica fuzzy.

Il set multi-temporale è composto da una scena del 18 luglio 2006 (sensore HRG – SPOT5) e da una scena del 27 Giugno 2006 (sensore HRVIR – SPOT4). Suddette immagini sono state sottoposte ad una serie di pre-elaborazioni al fine di renderle geometricamente sovrapponibili e radiometricamente confrontabili. I valori di Digital Number dei singoli pixel di ogni scena sono stati convertiti in valori di radianza, in modo da conferire ai dati un'unica scala radiometrica. Le

immagini di radianza sono state successivamente convertite in riflettanza al “top” dell’atmosfera (*TOA – Top Of the Atmosphere*) attraverso la normalizzazione della radiazione solare, permettendo in tal modo di ridurre la variabilità tra le diverse scene (Hill, 1991).

Il modello di classificazione si basa su un sistema “aperto” a motore inferenziale, fondato sui criteri della logica *fuzzy*, implementato sfruttando la tecnologia *software eCognition*©. Il modello ha permesso di interfacciare in maniera ottimale gli oggetti generati dalla segmentazione delle ortofoto aeree e la classificazione del *dataset* satellitare di sintesi

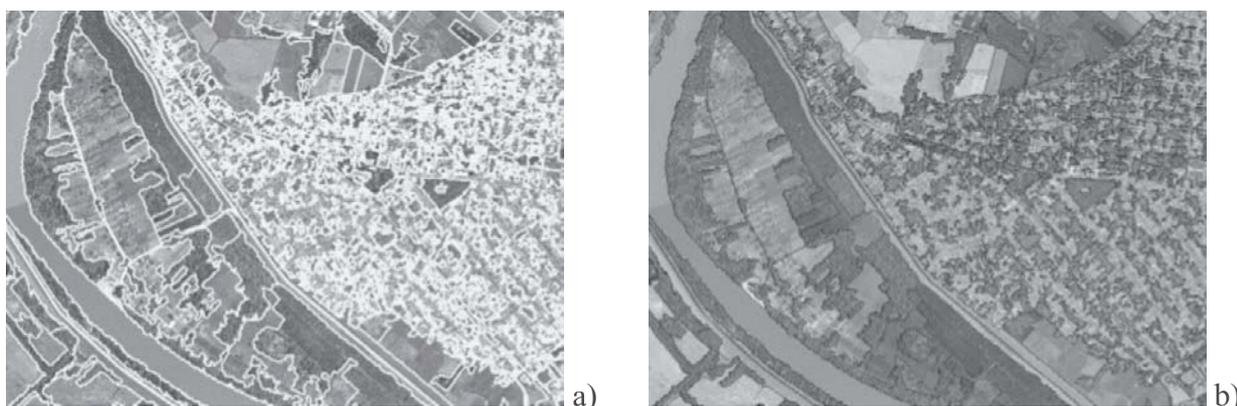


Figura 4 – a) risultato della segmentazione (scale factor 35; shape factor 0,3; compactness 0,7) – b) dettaglio della carta di copertura del suolo (III livello CORINE LC).

I dati iperspettrali acquisiti, elaborati ed interpretati hanno consentito di raffinare il dettaglio delle mappe create; in particolar modo si sono presi in considerazione i valori dell’indice NDVI. Esso viene calcolato dalla combinazione delle radianze ( $\rho$ ) in un canale del rosso (RED) e nel vicino infrarosso (NIR), secondo la formula:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad [1]$$

Questo indice assume valori compreso tra  $-1$  e  $+1$ . Valori negativi indicano la presenza di acqua nel terreno; valori prossimi allo zero corrispondono a infrastrutture o edifici. Valori di poco superiori allo zero indicano suoli secchi, tra 0.4 e 0.7 rilevano la presenza di vegetazione; solo la vegetazione molto densa raggiunge valori di NDVI superiori a 0.7-0.8. L’indice NDVI si rivela indispensabile, quindi, nella generazione di mappe di uso del suolo, ma anche nella valutazione dei parametri in input per la modellistica idraulica.

## II WebGIS

I prodotti realizzati nel corso del presente progetto, sono stati archiviati in un Sistema Informativo Territoriale dedicato, denominato *InformCity*, accessibile attraverso il portale web di ENHYGMA al seguente indirizzo: <http://www.enhygma-cadses.eu/WebGIS.htm#>. *InformCity* opera via web (*WebGIS*), ed è sviluppato con l'utilizzo di tecnologie OpenSource (PHP, HTML, Javascript, PostgreSQL), che consentono di affrontare in modo integrato diversi aspetti della gestione del territorio. Attraverso questo *WebGIS* è possibile visualizzare ed interrogare:

- La cartografia di base: limiti amministrativi, toponimi, foto aeree;
- Il modello digitale del terreno ed i punti quotati;
- I dati risultati del modello idraulico: sezioni trasversali, carte del rischio, carte del danno potenziale, etc.;
- La carta della copertura del suolo.

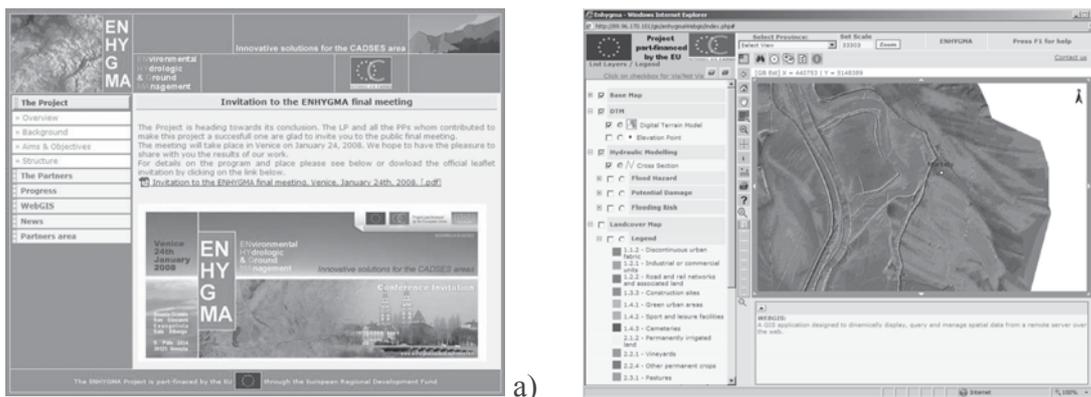


Figura 5 – a) Pagina web del progetto ENHYGMA (<http://www.enhygma-cadses.eu>). - b) WebGIS del progetto ENHYGMA (<http://www.enhygma-cadses.eu/webgis.htm#>).

## Conclusioni

La metodologia *Lidar* si è rivelata fondamentale nella realizzazione di un DTM di grande dettaglio, dal quale si è potuto procedere a modellazioni idrauliche locali impensabili con l'utilizzo delle classiche tecniche topografiche. Inoltre l'integrazione di tecniche di analisi satellitare e di metodologie aeree iperspettrali ha fornito informazioni complementari utili ai fini del raffinamento del processo (maggiore dettaglio del pixel, maggior numero di bande ecc.). L'approccio usato per la realizzazione della carta di copertura del suolo, implementato con tecnologia *eCognition*®, ha permesso di superare i limiti metodologici di classificazione impostati esclusivamente sulla radiometria del pixel, migliorando significativamente la qualità dell'elaborazione e l'accuratezza dei risultati ottenuti. In termini generali, si conferma una valutazione positiva delle tecniche di segmentazione multirisoluzione e di classificazione *object-oriented* per la produzione di cartografie di copertura del suolo per aree naturali e seminaturali (Chirici et. al., 2006).

## Bibliografia

- Axelsson, P., (1999), "Processing of laser scanner data – algorithms and applications", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54: 138-147.
- Axelsson P., (2000), "DEM Generation from Laser Scanner data Using Adaptive TIN Models", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII: B4.
- Chirici G., Barbati A., Corona P., Lamonaca A., Marchetti M., Travaglini D., (2006), "Segmentazione di immagini telerilevate multirisoluzione per la derivazione di cartografie di uso/copertura del suolo multiscala", *Rivista italiana di telerilevamento*, 37: 113-136.
- Hill J., (1991). "A quantitative approach to remote sensing: sensor calibration and comparison.", *C.R. (eds)*, 97-110.
- Schläpfer D., Schaepman M.E., Itten K.I., (1998), "GCP-Calibrated Auxiliary Data", *Imaging Spectrometry IV*, San Diego, SPIE 3438: 334-344.
- Stelling G.S., (1984), *On the Construction of Computational Methods for Shallow Water Flow Problems*, Rijkswaterstaat Communications, No. 35/1984, The Hague, The Netherlands.
- Syme W.J., (1991), *Dynamically Linked Two-Dimensional / One-Dimensional Hydrodynamic Modelling Program for Rivers, Estuaries & Coastal Waters*, William Syme, M.Eng.Sc (100% Research) Thesis, Dept of Civil Engineering, The University of Queensland, May 1991.
- Syme, W.J., (2001), "Modelling of Bends and Hydraulic Structures in a Two-Dimensional Scheme", *Conference on Hydraulics in Civil Engineering*, Hobart, November 2001.
- Tóth Gy., Rózsa Sz. 2000: New Datasets and Techniques – an Improvement in the Hungarian Geoid Solution, Paper presented at Gravity, Geoid and Geodynamics Conference, Banf, Alberta, Canada.