# INTEGRAZIONE DI RILIEVI BATIMETRICI E LASER SCANNER AEREO NELL'AREA DEI COLLI ALBANI

Valerio BAIOCCHI (*), Marco ANZIDEI (**), Alessandra ESPOSITO (**), Ulisse FABIANI (*), Grazia PIETRANTONIO (**), Federica RIGUZZI (**)

(*) DITS - Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "La Sapienza", via Eudossiana, 18 - 00184 Roma
tel. +390644585068, fax +390644585515, e-mail: valerio.baiocchi@uniromal.it
(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione CNT, via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma
tel. +390651860266, fax +39065041303, e-mail: pietrantonio@ingv.it

**Riassunto**

I Colli Albani sono un complesso vulcanico del Quaternario, situato circa 15 km a SE di Roma, che occupa un'area grossolanamente compresa tra le latitudini 41.6-41.9 Nord e le longitudini 12.5-12.9 Est. Esso riveste particolare interesse presso la comunità geofisica per alcune sue peculiari caratteristiche ascrivibili ad una attività vulcanica residua.

Nell'ambito di un progetto finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile per lo studio delle deformazioni nell'area dei Colli Albani, sono stati recentemente realizzati un rilievo batimetrico del lago di Albano e un rilievo laser scanner aereo dei crateri di Albano e Nemi.

Il presente lavoro si è articolato in 2 fasi. In una prima fase si è verificata l'accuratezza del DEM ottenuto da laser scanner aereo mediante confronto con rilievo cinematico GPS. Si è voluto in particolare testare se utilizzare un DEM in formato *TIN* o in formato *Grid* potesse portare significative differenze in termini di accuratezza e precisione. In una seconda fase del lavoro è stata portata a termine un'integrazione dei dati LIDAR e batimetrici al fine di ricavare un modello digitale del terreno che potesse permettere analisi geomorfologiche sull'intero edificio vulcanico.

**Abstract**

The Colli Albani are a Quaternary volcanic complex located about 15 km SE of Rome, comprised in an area of latitudes 41.6-41.9 N and longitudes 12.5-12.9 E. It has recently developed particular interest in the geophysical community for some peculiar characteristics imputable to a residual volcanic activity.

In the framework of a project financed by the Department of the Civil Protection devoted to the study of the Colli Albani deformations, we have recently realized a bathymetric survey of the Albano lake and an airborne laser scanner survey of the Albano and Nemi craters.

The present work is composed by two phases. In a first phase the accuracy of the DEM achieved by the laser scanner is verified through a comparison with a GPS kinematic survey. In particular, our aim is to test if the use of DEM in different formats, *TIN* or *Grid*, could lead to meaningful differences in terms of accuracy and precision. In a second phase of the work, we merged the LIDAR and bathymetric data with the purpose to achieve a complete digital terrain model of the area that could allow in the next future geo-morphological analyses of the whole volcanic structure.

**Dati disponibili**

Recentemente sono stati realizzati un rilievo batimetrico del lago di Albano e un rilievo laser scanner aereo dei crateri di Albano e Nemi nell'ambito di un progetto finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile per lo studio delle deformazioni nell'area dei Colli Albani. Da precedenti

sperimentazioni era inoltre disponibile un rilievo GPS cinematico interessante parte della medesima area.

**Rilievo batimetrico**

Nel mese di Novembre 2006 è stato condotto presso il Lago Albano (Roma) un rilievo batimetrico di dettaglio. Il lago è posto a 293 metri s.l.m, è lungo circa 3,4 Km e largo 2,2 Km, con una superficie di 6 $Km^2$ circa. Per il rilievo sono stati utilizzati due differenti ecoscandagli: multibeam Reason Seabat 8125 (fino a profondità non superiori ai 100 m, frequenza operativa di 455 kHz, 240 beams, 40 impulsi per secondo, larghezza della scansione di 120°) e Reason Seabat 8101 (frequenza operativa di 240 kHz, 101 beams, ampiezza di 1.5°x1.5°, fascio variabile da 150° a 210°, fino al fondo del bacino vulcanico).

Le linee di navigazione sono state pianificate con andamento sub-parallelo all'asse longitudinale del bacino, secondo una serie di transetti circa paralleli alla costa, distanziati in modo da ottenere la copertura totale dell'area da indagare attraverso la sovrapposizione di dati su transetti adiacenti.

Il posizionamento dell'imbarcazione è stato realizzato con un GPS in modalità RTK modello ASHTECH Aquarius-02, con correzione differenziale mediante modem GSM ed interfacciato con il software di navigazione THALES PDS 2000.

Il ricevitore GPS utilizzato come stazione di riferimento è stato collocato su un caposaldo appositamente materializzato presso la riva del lago (ALBA), le cui coordinate sono state calcolate con accuratezza centimetrica rispetto alla stazione permanente INGR.

Tutte le profondità misurate sono riferite al livello dell'acqua, stimato, al momento dell'esecuzione del rilievo, pari a 336.7 metri rispetto all'ellissoide di riferimento WGS84.

I dati acquisiti e registrati nel formato SIMRAD EM3000 sono stati successivamente elaborati con l'ausilio del software Caris HIPS (Hydrographic Information Processing System) secondo le seguenti fasi:

- Filtraggio dei dati di navigazione (in particolare salti di navigazione)
- Filtraggio dei dati di profondità, mediante l'applicazione di filtri basati su parametri statistici
- Applicazione delle correzioni di quota
- Produzione di una griglia pesata (weighted grid) sulla base dei dati filtrati

Questi dati sono stati quindi trattati con CARIS Marine GIS per la produzione delle carte batimetriche e per l'estrazione dei profili batimetrici.

I rilievi batimetrici multibeam hanno quindi permesso di ricostruire con grande dettaglio l'andamento topografico e le caratteristiche morfologiche del fondo e delle sponde del bacino vulcanico investigato. La profondità massima registrata raggiunge i 167,5 m in corrispondenza del fondo del cratere centrale.

I dati così ottenuti sono stati interpolati su una griglia regolare con passo di 2 metri.

**Rilievo laser scanning**

Il rilievo laser scanning aviotrasportato è stato eseguito mediante sistema Optech ALTM 3033 che ha la caratteristica di distribuire uniformemente i punti rilevati lungo la fascia da rilevare grazie all'andamento a "zig-zag" della traccia a terra; infatti altri sistemi LIDAR, rilevando lungo una traccia sinusoidale, originano una disomogeneità nella densità dei punti concentrandoli sui bordi della strisciata. Il rilievo è stato eseguito in 13 strisciate con una ricopertura trasversale del 30%, da una quota di circa 1200 m e con un'accuratezza teorica stimabile quindi in 15 cm.

L'apparecchiatura utilizzata per la presente sperimentazione emette un raggio laser nelle lunghezze d'onda dell'infrarosso e quindi, sorvolando le zone coperte dai laghi, può rilevare solo l'interfaccia aria-acqua; si noti che alcune strumentazioni LIDAR specifiche per rilievo di fondali, mediante l'emissione di un ulteriore raggio laser nel campo del verde, permettono anche il rilievo di fondali non molto profondi (Milli, Surace, 2006).

Il posizionamento dell'aeromobile, istante per istante è stato eseguito mediante sistema integrato

GPS – inerziale ed è riferito al sistema WGS84.
I dati grezzi ottenuti hanno subito una serie di "filtraggi". Dapprima sono stati eliminati i punti "anomali", facilmente riconoscibili in quanto molto più alti o molto più bassi rispetto ai punti circostanti: i primi possono essere dovuti ad oggetti che non sono sul terreno, quali volatili o linee elettriche, mentre i secondi sono dovuti a riflessioni multiple. Eliminati questi punti, si è ottenuto un modello della superficie (DSM) che comprende la vegetazione ed i manufatti.
Per ottenere il modello digitale del terreno (DEM) la vegetazione è stata eliminata sfruttando i doppi echi che si originano in corrispondenza della vegetazione stessa: infatti una parte del raggio riesce ad attraversare, nella maggior parte dei casi, le chiome della vegetazione e ad originare un secondo eco in corrispondenza del terreno. Tale metodologia permette di discriminare coperture vegetali dell'altezza di qualche metro, per coperture più basse la ridotta differenza tra i due echi non permette di discriminare con certezza il terreno. Successivamente, applicando opportuni algoritmi di editing, si è individuata, sulla base di un forte gradiente presente nei dati, la presenza degli edifici e dei manufatti. Tale operazione è stata dapprima eseguita in automatico e poi si è proceduto ad un suo raffinamento in maniera manuale.
I punti sparsi così ottenuti sono stati consegnati in un formato ASCII del tipo .xyz. Successivamente tali punti sparsi sono stati interpolati su una griglia regolare con passo di 1 metro.
Si noti che per i punti sparsi sono state fornite solo le quote ellissoidiche WGS84, mentre per quelli grigliati sono disponibili anche le quote ortometriche.

**Rilievo GPS**
Il rilievo GPS cinematico, realizzato per una precedente sperimentazione (Baiocchi et al., 2000), è stato eseguito mediante due ricevitori *Trimble 4700* con antenne *Micro-centered L1/L2,* montate su un autoveicolo mediante piastra magnetica. I due ricevitori, acquisendo contemporaneamente hanno permesso un reciproco controllo interno dei dati acquisiti.
Le misure sono state differenziate rispetto a 3 stazioni GPS permanenti secondo la seguente strategia:

- calcolo della media delle coordinate delle tre stazioni per ogni epoca
- calcolo della mediana delle coordinate delle tre stazioni per ogni epoca
- calcolo delle differenze tra le medie e mediane calcolate (tenendo presente le esigenze di precisione sono state scartate tutte le epoche per le quali tale differenza era maggiore di 1m)
- calcolo degli scarti rispetto alle medie calcolate

La soluzione finale ottenuta è caratterizzata da scarti quadratici medi pari a circa 30 cm in planimetria e 60 cm in quota.

**Confronto tra *Grid* e *TIN***
Come è noto, i modelli digitali del terreno possono essere strutturati in vari formati tra cui i più diffusi sono i formati a griglia regolare (*Grid)* ed i formati a triangoli irregolari (*TIN).*
I formati *TIN* sono sicuramente più efficienti in quanto adattano la dimensione della maglia alla densità dei punti originali che non vengono modificati. I modelli *Grid,* al contrario, modificano le quote dei punti originali ed hanno un passo costante non adattabile alla densità delle informazioni originali ed alle repentine variazioni morfologiche. Ciò nonostante i formati *Grid* rimangono i più utilizzati in quanto la loro regolarità permette una più facile implementazione nei software di elaborazione.
Tutto ciò premesso, allo scopo di verificare quale dei due formati sia in grado di descrivere meglio l'andamento del terreno nel caso di dati provenienti da rilievo laser scanning, si è proceduto alla realizzazione di due modelli, *TIN* e *Grid* ed al loro confronto con le quote misurate nel corso del rilievo GPS cinematico. Tale confronto è stato realizzato utilizzando il modulo "Terrain analyst" dell'Intergraph, all'interno del quale sono stati realizzati i modelli *TIN* e *Grid* a partire, rispettivamente dai punti sparsi e dai dati già grigliati. Si noti che si è scelto di lavorare in quote

ellissoidiche WGS84: tali quote erano disponibili sia per i punti GPS che per i punti LIDAR sparsi e grigliati. L'intera area di studio è stata suddivisa in una serie di riquadri (Fig. 1) per ognuno dei quali è stato realizzato un modello *TIN* ed uno *Grid* utilizzando l'interpolazione di default (bilineare). Nelle posizioni planimetriche corrispondenti ai punti acquisisti con il GPS sono state calcolate le quote sui modelli *TIN* e *Grid*, sempre utilizzando l'interpolazione bilineare.

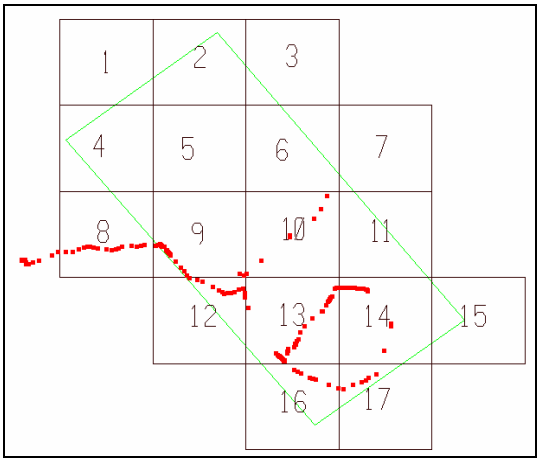


*Figura 1 – Traccia dell'area acquisita dal LIDAR (verde) suddivisa in 17 riquadri e punti acquisiti tramite rilievo GPS cinematico (rosso)*

| Riquadro | *TIN* | | | *Grid* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Media (m) | Mediana (m) | Sqm (m) | Media (m) | Mediana (m) | Sqm (m) |
| 10 | -1.31 | -1.19 | 1.10 | -0.90 | -0.99 | 1.16 |
| **12** | **-8.24** | **-1.84** | **13.30** | **-7.71** | **-1.23** | **13.20** |
| 13 | -0.64 | -0.63 | 1.02 | -0.04 | -0.01 | 1.01 |
| 14 | -0.66 | -0.65 | 0.62 | -0.04 | -0.04 | 0.64 |
| 16 | -0.32 | -0.30 | 0.83 | 0.20 | 0.21 | 0.92 |
| 17 | -2.85 | -2.86 | 1.69 | -2.19 | -2.15 | 1.60 |
| 9 | -0.64 | -0.41 | 2.09 | -0.13 | 0.12 | 2.11 |
| **TOTALE (senza 12)** | **-0.69** | **-0.61** | **1.47** | **-0.12** | **0.01** | **1.49** |

*Tabella 1 – Risultati del confronto tra GPS e modelli TIN, Grid*

Il software ha permesso di gestire i due modelli ed il confronto utilizzando le stesse procedure ed interpolazioni e permettendo quindi di evidenziare le sole differenze dovute alla strutturazione dei dati o alla interpolazione preliminare operata sul modello *Grid*; il *TIN* infatti, come già detto, non dovrebbe subire interpolazioni nel corso della sua realizzazione.
I risultati dei confronti sono presentati in tabella 1, dalla quale si nota come sia per il *Grid* che per il *TIN* i risultati peggiori si ottengono nel riquadro 12. Dopo opportuna analisi dei dati, ci si è resi conto che tali discrepanze sono dovute al fatto che nella zona ricoperta da tale riquadro, il veicolo aveva percorso un ponte molto alto che è quindi "presente" nel rilievo cinematico, mentre è stato "rimosso" dal DEM LIDAR. Eliminati i dati relativi a tali punti, sono stati calcolati i valori di media, mediana e scarto quadratico medio complessivi delle differenze 'modello-GPS', dai quali si evince che, contrariamente a quanto ci si poteva attendere, nel caso in esame utilizzando i modelli *TIN* non si ha un significativo miglioramento, ma un lieve peggioramento rispetto al formato *Grid*; si potrebbe ipotizzare la presenza di un effetto sistematico introdotto dall'utilizzo del modello TIN. Una prima analisi dei risultati, che necessitano di successive investigazioni ed approfondimenti,

sembrerebbe quindi indicare che le interpolazioni bilineari su maglia quadrata riescono a modellare l'andamento del terreno meglio di quanto non faccia un'interpolazione planare all'interno di una maglia triangolare.
Si noti comunque che sia il modello *TIN* che il *Grid* introducono un "rumore" con conseguente degrado della precisione: a fronte di uno scarto quadratico medio delle quote GPS di circa 60 cm e di un'accuratezza teorica dichiarata per le quote LIDAR di circa 15 cm, si ottengono infatti scarti quadratici medi delle differenze dell'ordine di 1,5 m.

**Fusione dei modelli batimetrico e LIDAR**
Per future analisi geomorfologiche e vulcanologiche è di particolare interesse poter visualizzare insieme il modello batimetrico ed il modello LIDAR. Per rendere possibile tale integrazione, i dati relativi ai due rilievi, originariamente a risoluzioni diverse (1 metro per il laser scanner, 2 metri per la batimetria), sono stati resi "compatibili" scegliendo di utilizzare un DEM *Grid* con passo di 1 metro: per preservare la precisione originaria dei dati laser sono stati infittiti artificialmente quelli della batimetria.
I risultati della batimetria sono in fase di studio, ciò che si può osservare da una prima analisi è che il fondo del lago presenta una morfologia pianeggiante, come era facilmente prevedibile a causa dell'accumulo di detriti.

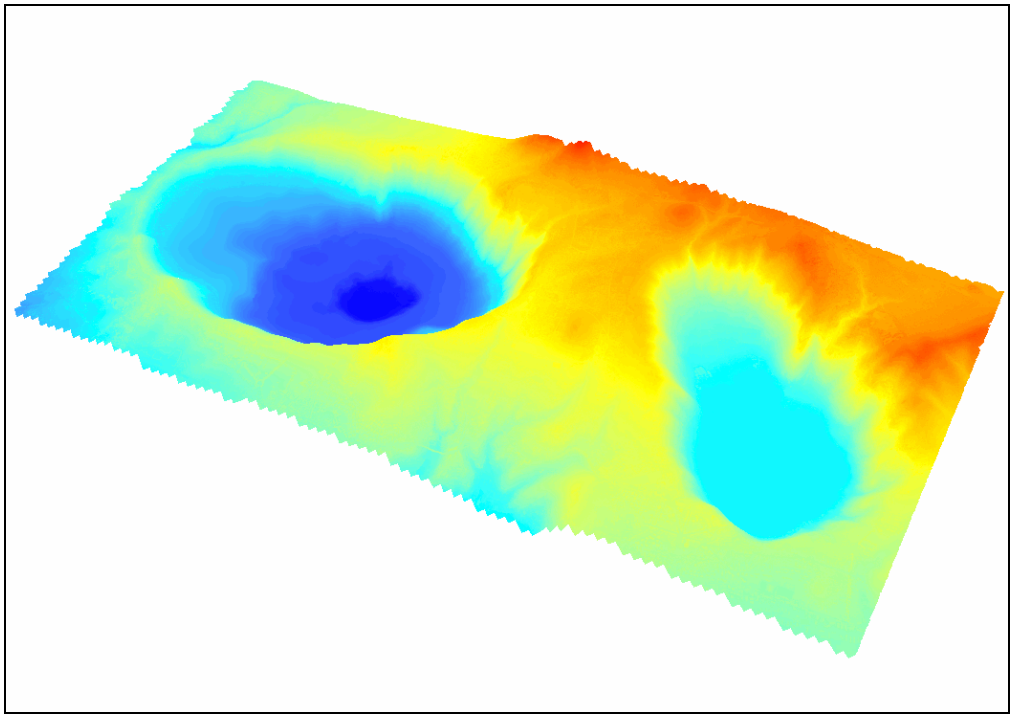

*Figura 2 – Fusione dei modelli del terreno e del fondale per il lago di Albano (a sinistra). Per il lago di Nemi (a destra) non è disponibile il rilievo batimetrico.*

**Conclusioni**
In questo lavoro si è voluta verificare l'accuratezza del DEM dell'area dei Colli Albani ottenuto da laser scanner aereo mediante confronto con rilievo GPS cinematico. Si è voluto in particolare testare se utilizzare un DEM in formato *TIN* o in formato *Grid* potesse portare significative differenze in termini di accuratezza e precisione.
Sulla base del confronto con i dati GPS presi come riferimento, si può affermare che l'utilizzo del formato *TIN* non ha portato in questo caso i miglioramenti attesi, ma anzi un lieve peggioramento rispetto all'utilizzo del formato *Grid*. Da un'analisi preliminare dei risultati ottenuti si può

ipotizzare che l'utilizzo del formato *TIN* introduca un sistematismo. Avendo i dati medesima origine e avendo utilizzato medesime modalità di confronto, l'effetto potrebbe essere da addebitare al software di gestione ed in particolare ad una probabile migliore approssimazione del terreno da parte dell'algoritmo bilineare, utilizzato per interpolare le quote all'interno della maglia quadrata del *Grid*, rispetto all'interpolazione planare all'interno della maglia triangolare del *TIN*.
Infine, l'integrazione del modello del terreno ottenuto dal LIDAR e del modello del fondale del lago di Albano ottenuto da rilievo batimetrico ha fornito un prodotto che potrà essere molto utile per futuri studi geomorfologici, geofisici ed archeologici dell'area in esame.

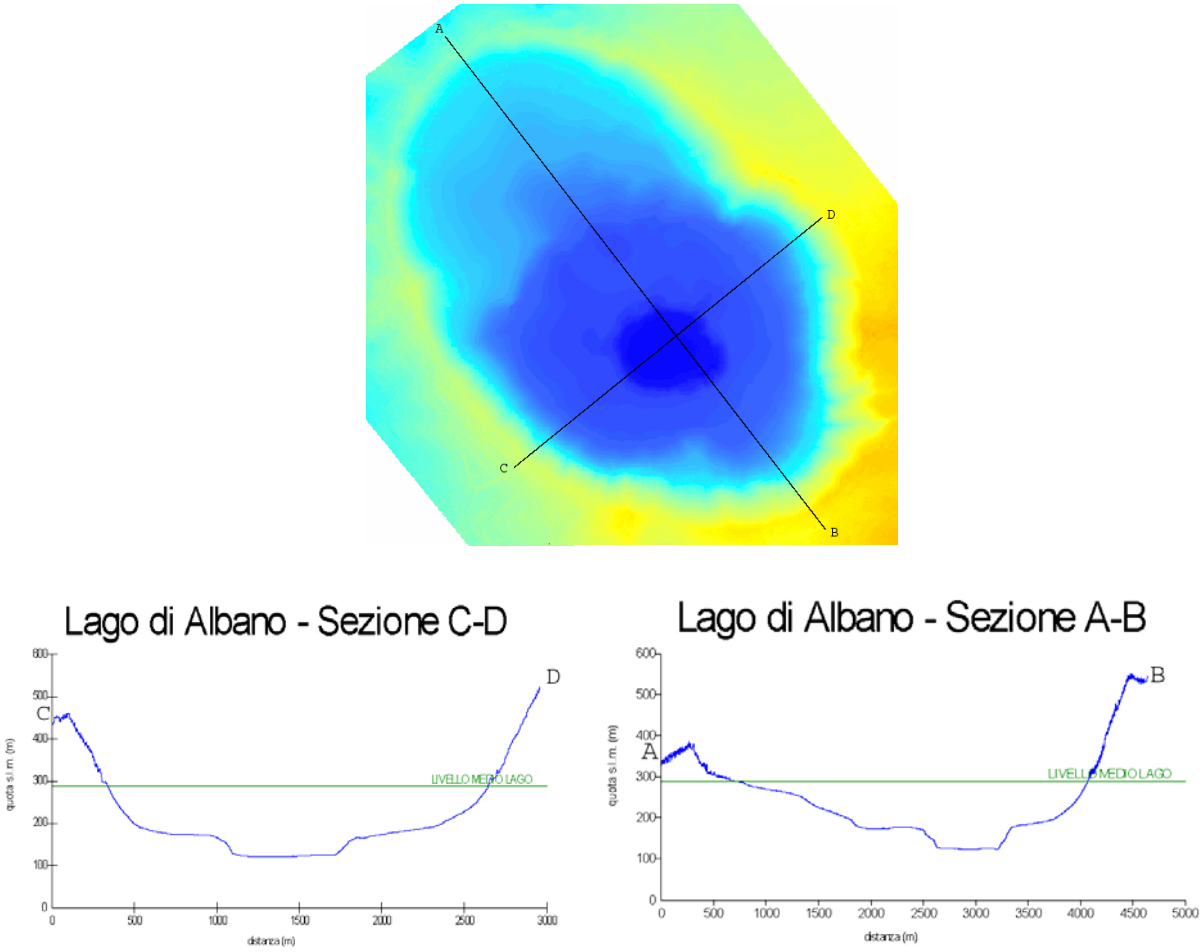


*Figura 3 – Profili trasversale e longitudinale del lago di Albano*

**Bibliografia**

Al-Bayari O., Dubbini M., Lenzi V. (2005), "Qualità del GPS cinematico nel rilievo Airborne Laser Scanning", *Bollettino della SIFET*, n. 3.
Baiocchi V., Crespi M., Dai Pra A. (2000), "Generazione di DEM da basi cartografiche e loro validazione", *Atti della IV Conferenza Nazionale ASITA.*
Coren F., Sterzai P., Maso M., Paganini P. (2003), "Integrazione di dati laser scanner e multibeam per la generazione di DTM ad alta risoluzione: studio del fiume Brenta", *Atti della VII Conferenza Nazionale ASITA.*
Milli M., Surace L. (2006), "Tecniche innovative e tradizionali a confronto nella realizzazione di rilievi batimetrici costieri: un caso di studio", *Bollettino della SIFET*, n. 2.
Wack R., Wimmer A. (2002), "Digital Terrain Models from Airborne Laserscanner Data – a Grid Based Approach", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*.