

INTEGRAZIONE DI DATI LASER SCAN E MULTIBEAM PER LA GENERAZIONE DI DTM AD ALTA RISOLUZIONE: STUDIO DEL FIUME BRENTA

Franco Coren(*), Paolo Sterzai(*), Massimo Maso (**), Paolo Paganini(*)

(*) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - Borgo Grotta Gigante 42/c 34010 Trieste
tel. 04021401, e-mail fcoren@ogs.trieste.it

(**) Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico – Dorsoduro 3593, 30123 VENEZIA
tel. 041-714444-714343, fax 041-714313, e-mail: sistema.informativo@adbve.it

Riassunto

Questo lavoro riassume i principali risultati di un progetto effettuato lungo una parte del fiume Brenta (Italia nordorientale) e propone al contempo una metodologia di rilevamento integrato laser-scan e multibeam. In generale, negli ultimi anni vi è stata una crescente domanda di rilievi topografici di dettaglio su vaste zone di aree golenali e fluviali con precisioni e risoluzioni elevate soprattutto al fine di aumentare l'accuratezza dei modelli idraulici e di caratterizzare oggettivamente elementi morfologici tridimensionali dell'alveo (rugosità, indice di ostruzione, ecc.). Rilievi così accurati possono essere ottenuti tramite integrazione di metodologie differenti come LiDAR (laser detection and ranging) e Multibeam. Il LiDAR permette la generazione di modelli digitali del terreno molto dettagliati anche se l'impossibilità per il LASER di penetrare la sezione liquida obbliga ad usare in integrazione un sistema batimetrico dedicato come il Multibeam. Il lavoro di rilievo lungo il fiume Brenta è stato svolto con una elevata integrazione di sistemi che ha visto l'impiego di un laser scan Optech ALTM 3033 integrato con la telecamera digitale ROLEI DB 44 Metric da 16 Mpixel per la realizzazione di ortofoto, una camera digitale per di ripresa coassiale al laser e di un sistema multibeam Kongsberg Simrad EM 3000. La camera digitale serve a fornire una documentazione visiva grezza della zona rilevata ed è utile soprattutto nella fase di classificazione del dato mentre la camera DB44 permette di realizzare ortofotocarte digitali, rettificata utilizzando i modelli digitali derivati dai dati laser scan. Il prodotto finale, ottenuto tramite fusione dei dati laser scan e multibeam, mette in risalto in modo dettagliato le caratteristiche morfologiche delle zona investigata e ne descrive la morfologia in maniera dettagliata sia nella porzione emersa che in quella bagnata.

Abstract

The planning and development of territorial basin plans calls for an instrument capable of correctly describing the geometry and altimetry of the ground being analysed, (i.e. a precise DTM); in addition high-resolution and accurate digital elevation model are suitable for improving the performance of flood models by providing a more reliable initial boundary condition. The demand for such a precision and resolution can be obtained by integration of different methodologies as LiDAR (laser detection and ranging) and multibeam. LiDAR allows the generation and understanding of the 3D structure of obstructions (i.e. surface roughness, vegetation, buildings, and other structures) to yield the friction coefficient over the various parts of a floodplain. The main limit of LiDAR is its inability to retrieve data from submerged areas; to avoid this lack of information in submerged area the acquisition of the bottom 3D model can be done using multibeam technology. This paper presents and discusses an integrated project performed along a portion of the Brenta River (Northeastern Italy). The study aimed at acquisition, processing and evaluation data

and images obtained through an Optech ALTM 3033 airborne laser scanner system integrated with a digital camera ROLEI DB 44 METRIC, and the bathymetric scanning acquired using Kongsberg Simrad EM 3000W multibeam sonar. The final product, obtained with the fusion of data, describes extensively the physiographic features of the target area, provides a precise, complete and dense topographic model of the main branch of the Brenta River.

Introduzione

L'obiettivo principale del progetto descritto in questo lavoro prevedeva la realizzazione di un modello digitale di elevazione in altissima risoluzione lungo il fiume Brenta (Figura 1a) (Veneto Italia) fra le cittadine di Limena a sud e Bassano del Grappa a nord (Figura 1b). L'acquisizione delle misure di elevazione è stata condotta mediante impiego estensivo di laser a scansione e multibeam per quanto riguarda la sezione bagnata e solamente lungo il tratto in cui il battente d'acqua raggiungeva una profondità sufficiente. Obiettivi secondari del progetto erano costituiti dalla misura di 42 sezioni normali in alveo e la copertura completa dell'area mediante ortofoto digitali con una risoluzione di 0.2 metri.

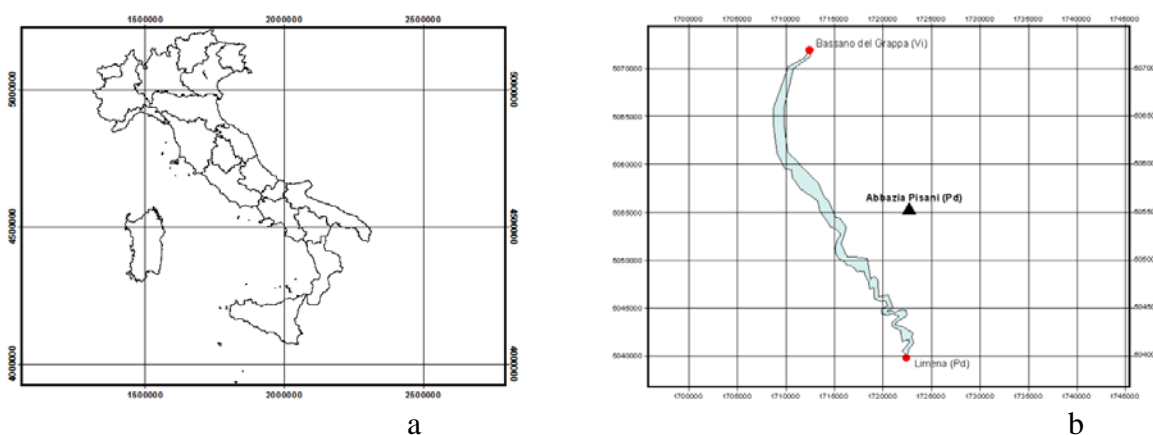


Figura 1. a – Inquadramento geografico dell'area di indagine; b- dettaglio dell'area di indagine.

Acquisizione laser scan

Il rilievo è stato condotto impiegando un sistema laser scan Optech 3033 ALTM (Airborne Laser Terrain Mapping), strumento che permette la generazione di modelli topografici in altissima risoluzione. Il sistema consiste in un laser infrarosso, un sistema inerziale, un sistema ottico ricevitore, un sistema GPS ed un rack di controllo che permette il funzionamento e l'interfacciamento di tutti queste componenti; l'insieme è montato a bordo di un elicottero AS350. Il funzionamento del sistema è relativamente semplice, un laser infrarosso (1064 nm) emette impulsi diretti verso uno specchio oscillante che dirige il raggio perpendicolarmente alla direzione di volo dell'aeromobile in un settore che ha una semiapertura massima di 20° off nadir. La combinazione del moto di avanzamento dell'aeromobile e di scansione dello specchio determina la copertura al suolo delle misure. Il rollio, beccheggio ed imbardata del sistema (orientazione) viene misurata con una frequenza di 200 Hz da un sistema inerziale costituito da una terna di giroscopi laser. Il laser scan ALTM 3033 opera con una frequenza di impulsi pari a 33 kHz misurando per ogni singolo impulso la prima ed ultima riflessione misurabile per un totale di 66000 punti al secondo ai quali viene anche associato il valori di ampiezza di retrodiffusione. La prima riflessione determina, una volta epurata dai valori spuri (outliers), la classe di valori associabili al modello digitale di superficie (DSM) che rappresenta in pratica l'insieme di coordinate che descrivono la superficie limite per una radiazione ottica incidente. L'ultima riflessione è generalmente associabile al terreno nudo (bare ground); anche se per ottenere un dato correttamente (in senso statistico)

associabile al terreno, si devono utilizzare algoritmi specifici di classificazione. In figura 2 è riportato il modello digitale della superficie deriva da primo impulso senza cioè alcuna classificazione ma successivamente ad una interpolazione su matrice regolare (Axelsson, 2000) mentre in figura 3 è riportato il modello digitale del terreno (ground) successivamente alle operazioni di classificazione (Maas & Vosselman, 1999).

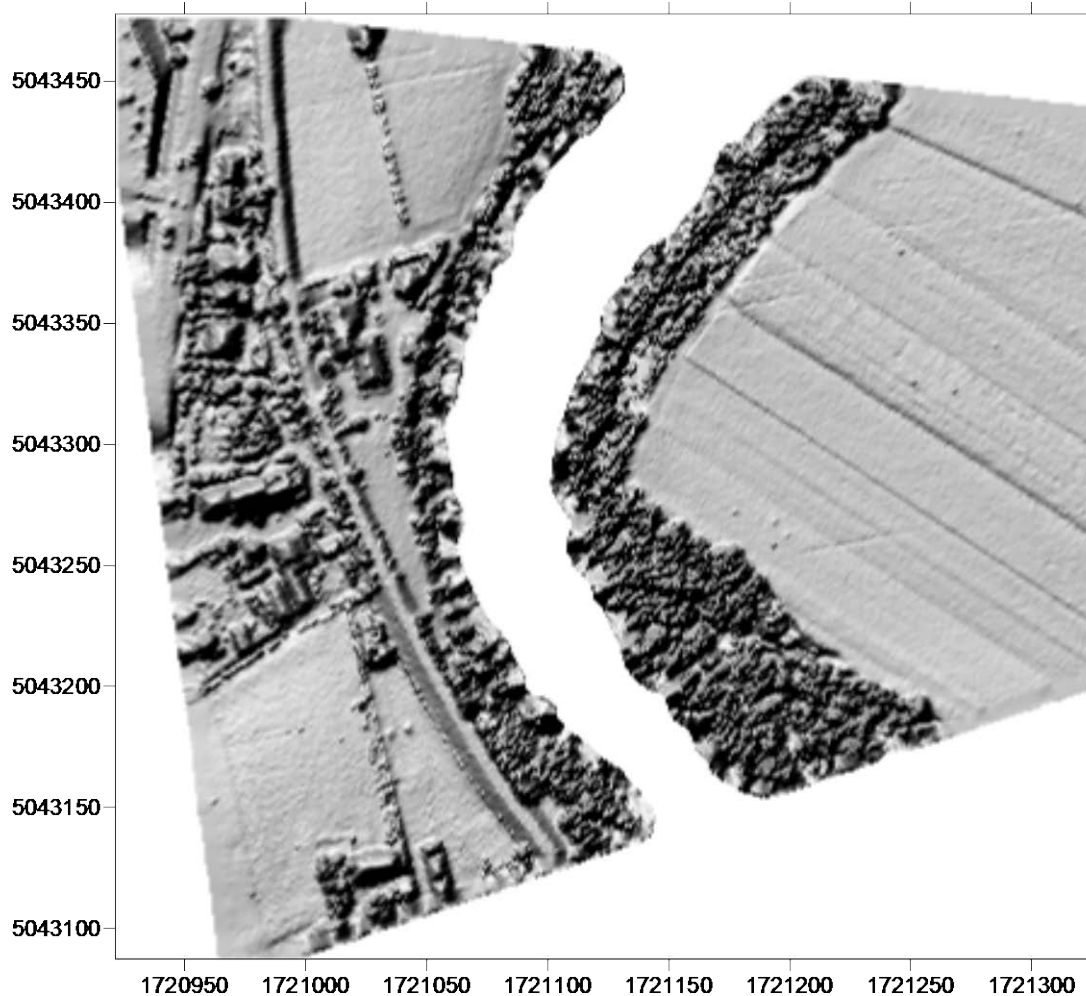


Figura 2. Rappresentazione ombreggiata del modello digitale della superficie (DSM) derivante dal primo impulso laser. I dati laser sono stati ricampionati su di una matrice regolare con spaziatura pari a $1 \times 1 \text{ m}^2$.

Acquisizione Multibeam

Il sistema impiegato lungo l'asta fluviale è un multibeam adatto piccole profondità d'acqua quale il Kongsberg Simrad EM 3000 che può operare in battenti d'acqua compresi fra 0.5 a oltre 100 metri. Specificità di questo sistema portatile è l'utilizzo di un sistema inerziale giroscopico a fibra ottica (per la misura dell'orientamento del sensore) interfacciato con un calcolatore SUN e SGI; un sistema multiparametrico CTD (Conductivity, Temperature and Depth, conducibilità, temperatura e profondità) per la definizione del campo di velocità dell'acqua. Il multibeam EM 3000 opera a in una banda di frequenze centrata sui 300 kHz generando dei fasci sonici aventi una aperture nominale di 1.5° e spaziate di 0.9° . Il metodo di misura della distanza tra il trasduttore ed il fondo si basa sull'integrazione fra l'analisi della fase interferometrica del segnale retrodiffuso dal fondo in integrazione con l'informazione di ampiezza dello stesso. Il sistema apporta in tempo reale alla

misura di distanza sensore-fondo-sensore le correzioni necessarie a compensare il movimento dell'imbarcazione utilizzando il sistema inerziale; la velocità del suono nell'acqua deriva da misure CTD. Grazie a questo metodo di misura e ad un sofisticato trattamento numerico, l'EM 3000 esegue misure batimetriche con una precisione fino a 5 cm RMS.

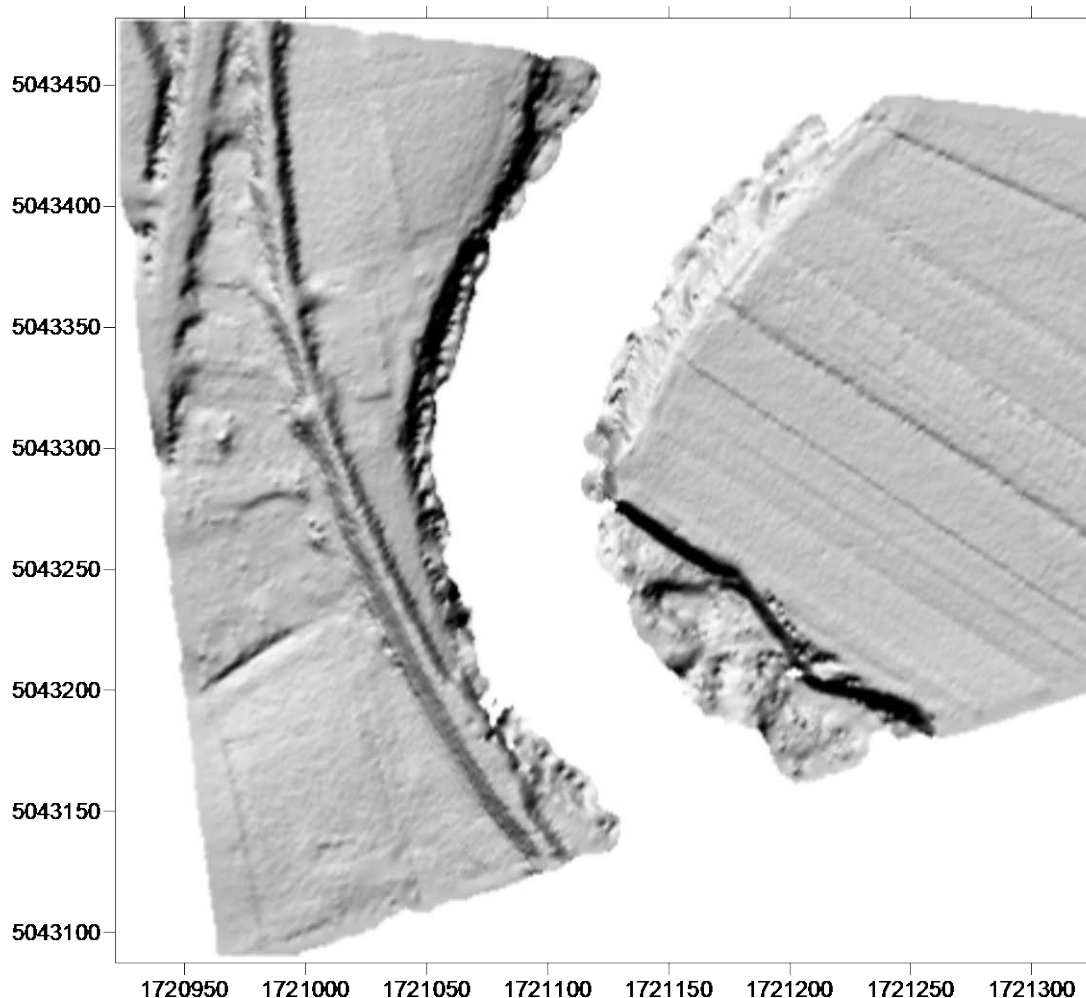


Figura 3. Rappresentazione ombreggiata del modello digitale del terreno derivante dalla classificazione del volume totale di dati. I dati laser sono stati ricampionati su di una matrice regolare con spaziatura pari a 1x1 m².

L'accuratezza della misura di profondità è di 10 cm rms alla massima frequenza di rilevamento che è di 9 Hz (ping rate pari a 0.11), la massima copertura ottenibile è di 10 volte la profondità d'acqua (swath coverage). Il rapporto fra la larghezza dello swath la profondità dell'acqua si riduce all'incrementare del battente a causa dell'attenuazione dell'onda sonora (300 kHz). In generale la risoluzione è sufficiente per mappare strutture sottomarine di piccola e media scala con dimensioni minime di poco inferiori al metro (Clarke et al. 1996).

Il sistema di riferimento

I dati laser scan vengono geocodificati in funzione della soluzione della traiettoria del velivolo che è determinato tramite misure GPS cinematiche. Il sistema di riferimento nativo è quindi il WGS84 ed le corrispondenti elevazioni sono riferite all'ellissoide. Le quote determinate mediante ALS (airborne laser scan) sono state trasformate in ortometriche per tramite di un modello geoidico

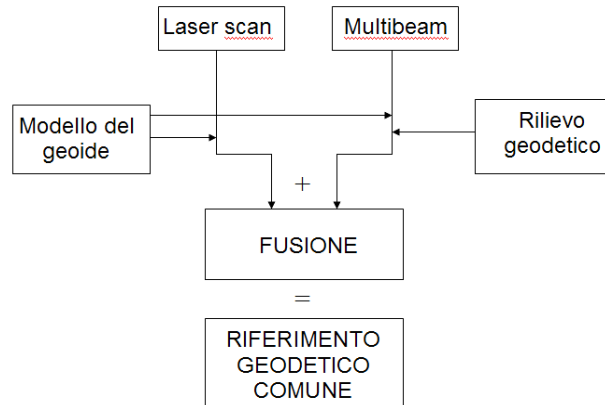


Figura 4 . Il concetto di fusione di dati laser scan e multibeam.

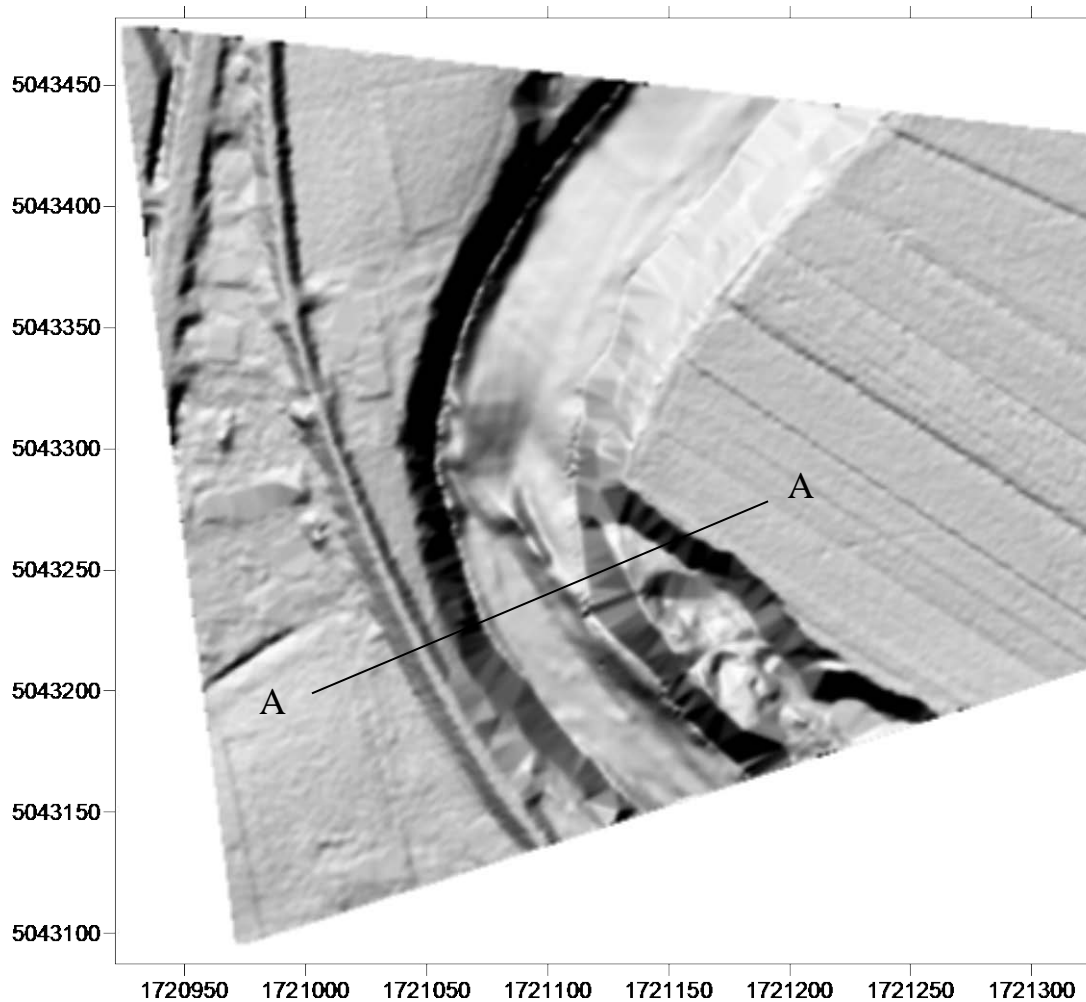


Figura 5. Rappresentazione ombreggiata del modello digitale terreno derivato da misure laser scan (ALS – airborne laser scan) e multibeam successivamente alla fusione del dato. Tutti e due i dati sono stati ricampionati su di una matrice regolare con spaziatura pari a $1 \times 1 \text{ m}^2$. Nella figura è riportata la traccia della sezione (A-A) rappresentata in figura 6.

ottenuto dall'interpolazione delle separazioni ellissoide-geoide derivate dai punti IGM-95 (Surace, 1997) presenti nell'area. Il dato multibeam (altimetrico) è stato riferito a dei caposaldi realizzati lungo il fiume con una spaziatura di circa 2 km e realizzati mediante livellazione GPS a partire da punti IGM-95; il DEM risultante è stato successivamente corretto altimetricamente per lo stesso modello di geoide utilizzato per il dato laser scan (Figura 4). Una volta effettuate le correzioni geodetiche i due dati sono pronti per essere fusi in un unico sistema di riferimento e costituiscono un insieme omogeneo di dati che descrive la superficie del terreno (figura 5). Il modello così ottenuto può essere agevolmente utilizzato per modellazioni o analisi specifiche (figura 6).

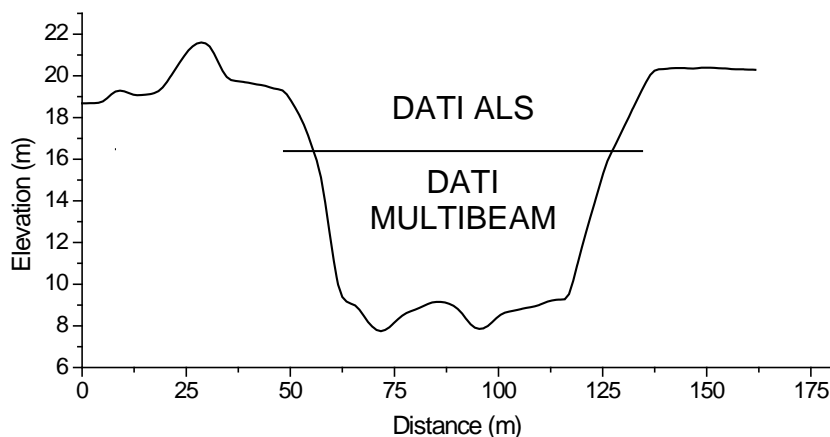


Figura 6. Sezione A-A derivata dal modello digitale del terreno successivamente alla fusione fra dati laser scan e multibeam.

Conclusioni

Il lavoro presentato dimostra che allo stato attuale esistono metodologie di rilevamento estensivo che integrate possono fornire dei modelli digitali del terreno in alta risoluzione (avvero con risoluzione submetrica) di aree fluviali. La risoluzione submetrica in planimetria e decimetrica in elevazione associata ad una densità di punti di oltre 1 al metro quadro permette di ottenere prodotti che sono indirizzabili alle più sofisticate analisi idrauliche e morfologiche. Una analisi seppur sommaria delle caratteristiche di accuratezza dei due sistemi indica l'importanza di utilizzare modelli geoidici sempre più accurati e spettralmente compatibili con lunghezze d'onda dell'ordine di qualche chilometro che al momento non sono disponibili se non per aree limitate.

Bibliografia

- Axelsson P., 2000. Dem generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *IAPRS*, Vol. 33, Part 2.
- Clarke J.E.H., Mayer L.A., Wells D.E., 1996. Shallow-water imaging multibeam sonars: a new tool investigating seafloor processes in the coastal zone and on the continental shelf; *Marine Geophysical Researches*, V18, p.607-629.
- Maas H.-G., Vosselman G., 1999. Two algorithms for extracting models from raw laser altimetry data. *ISPRS J. Photogrammetry. Remote Sensing*, Vol. 54, No. 2-3, pp. 153-163. *TerraScan Manual 2000*.
- Surace L., 1997. La nuova rete geodetica nazionale IGM-95: risultati e prospettive di utilizzazione – *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 3/97, pagg. 357-378.

