

# CONFRONTO SPERIMENTALE TRA DTM DA LASER SCANNER, DTM FOTOGRAMMETRICI E GEOMETRIE RESTITUITE: IL TEST ESEGUITO IN ALTO ADIGE

Armando CAVAZZINI(\*), Franco GUZZETTI (\*\*), Gottfried OTEPKA (\*\*\*),  
Giorgio ZANVETTOR (\*\*\*\*)

(\*) CGR s.p.a. – Parma – cgrit@tin.it

(\*\*) DIAR - Politecnico di Milano – franco.guzzetti@polimi.it

(\*\*\*) AVT ZT GmbH – Imst (Austria) – otepka@avt.at

(\*\*\*\*) Provincia Autonoma di Bolzano – giorgio.zanvettor@provincia.bz.it

## Riassunto

Il lavoro espone gli esiti dei confronti metrici eseguiti fra DTM della stessa porzione di territorio, ottenuti con metodi ed in tempi differenti: con laser scanner, con metodo fotogrammetrico semi automatico, da restituzione a grande scale. Le tre fonti di dati derivano da procedimenti assolutamente indipendenti; gli esiti dei confronti sono quindi interessanti per il loro riscontro applicativo. In particolare si è voluto approfondire lo studio delle differenze delle geometrie rilevate con laser scanner nei confronti delle geometrie tridimensionali ottenute per stereoretituzione nell'ambito della produzione di DB topografico alla scala 1:5000.

L'ipotesi operativa che ne deriva è quella di utilizzare metodi integrati in funzione della tipologia di territorio, servendosi delle breakline corrispondenti alle feature di restituzione per risolvere l'incertezza planimetrica del DTM da laser scanner e, al contrario, ottenere validi e accurati DTM in zone montuose e boschive dove il metodo fotogrammetrico denota le sue più evidenti carenze.

## Abstract

The work shows the comparison between three different DTM of the same land: the first obtained with a laser scanner survey, the second obtained with a digital photogrammetric approach at 1:5000 scale and the third coming from a traditional cartographical work at 1:1000 scale.

The test is based on the differences' metric evaluation of the different DTM, checking different terrain typologies (urban, agricultural and woods) in planimetric and altimetric characteristics.

The results suggest a new integrated approach for the land shape's survey.

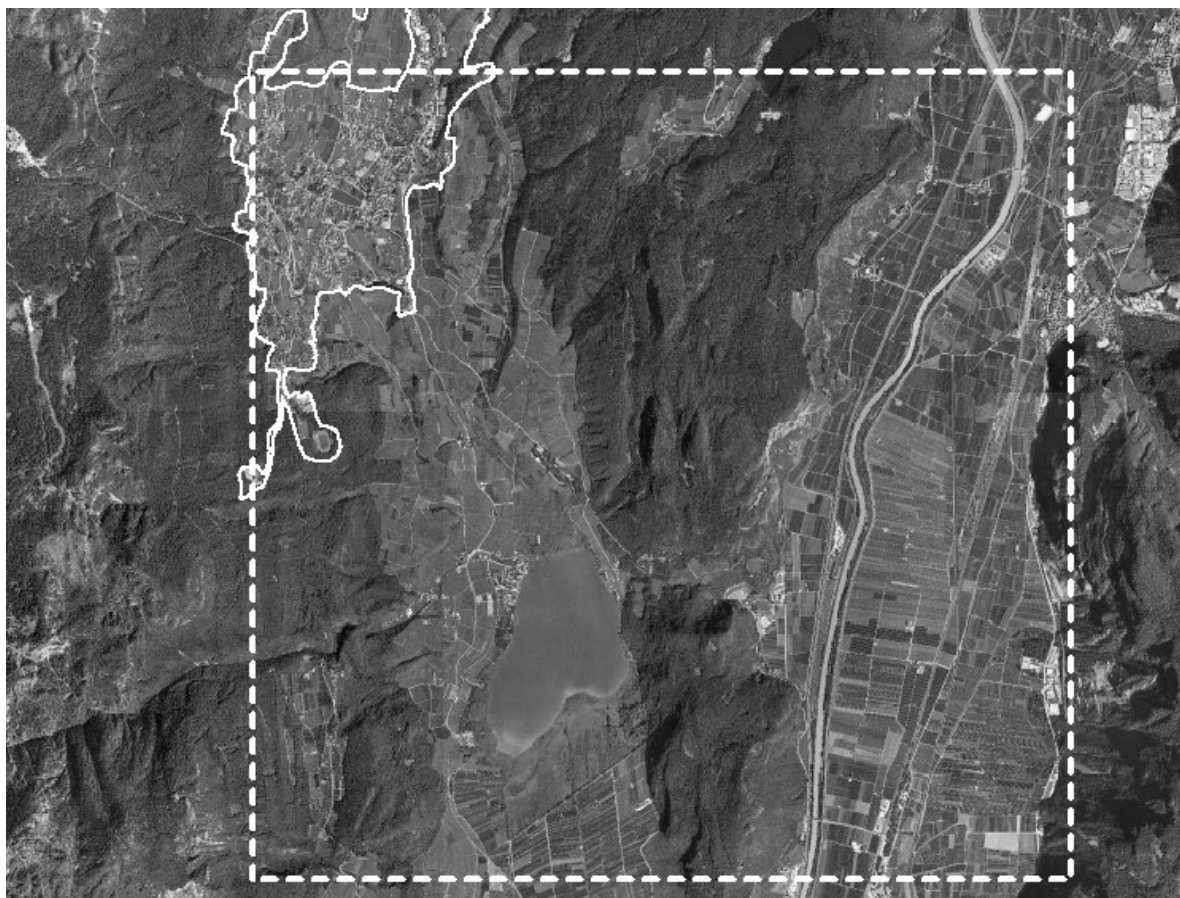
## Introduzione

L'utilizzo del laser scanner aereo si sta sempre più diffondendo quale metodo per rilevare la morfologia del territorio. Diverso è però rilevare l'alveo di un fiume, per cui è richiesto un lavoro di alta precisione ma localmente limitato e con scarse richieste di accuratezza planimetrica, rispetto ad attivarsi per la realizzazione di un DTM di vasti territori, magari di regioni intere, per cui il dato altimetrico deve essere congruente con le informazioni planimetriche, in genere ottenute con la classica produzione cartografica alla scala 1:5000 e 1:10000.

Nel 2004 è stata bandita una gara per la realizzazione del DTM di tutta la Provincia Autonoma di Bolzano con tecnologia laser scanner (nel seguito DTM1); l'appalto è stato vinto dalla CGR di Parma (in raggruppamento con la società Toposys tedesca). Le riprese dovevano essere svolte in periodi differenti: in inverno e senza neve le zone a bassa quota in cui c'è vegetazione caduciforme ed in estate, sempre compatibilmente con la copertura nevosa il più possibile limitata, nelle zone a quota più alta. Il sorvolo è stato eseguito ed è stato terminato nell'estate di quest'anno, ed i dati

finali delle ultime riprese sono in fase di elaborazione per la consegna finale del modello (prevista entro l'anno).

Le elaborazioni per ricavare il modello digitale delle superfici ed il modello digitale del terreno sono state svolte dal Johanneum Research Institute di Graz, cui era stato dato anche l'incarico di collaudare il dato grezzo fornito (le imprese aggiudicatrici erano responsabili dell'acquisizione del dato grezzo con le accuratezze richieste). Le prescrizioni del lavoro differivano a seconda della zona da rilevare: nelle zone vallive (coperte dalla vecchia cartografia alla scala 1:5.000 visto che la nuova è in produzione), è stata prevista una densità di 4 punti per ogni cella di 2,5 x 2,5 metri; nelle zone non coperte da tale cartografia ma la cui quota del terreno sia inferiore a 2000 metri, la densità prevista era di 8 punti per ogni cella di 5 x 5 metri, infine per le aree a quota superiore a 2000 metri era previsto un rilievo con una densità di punti pari ad almeno 3 per cella di 5 x 5 metri. Dal momento che la quota del terreno influenza fortemente la densità dei punti, e che con questa tecnologia basta una piccola variazione di quota per cambiare fortemente tale valore, per non complicare e spezzettare ulteriormente un piano di volo già particolarmente complesso si è scelto di uniformare le aree non mappate garantendo ovunque, indipendentemente dalla quota di volo, il raggiungimento della densità richiesta di 8 punti nella cella di 5 x 5 metri. In tal modo ne deriva un migliore modello anche alle quote superiori a 2000 metri. La fase di volo è stata eseguita dalla CGR che ha installato sui propri aerei il proprio sensore Optech 3033, con cui è stato acquisito circa l'85% del dato, ed il sensore Toposys Falcon II, con cui è stato rilevato il restante 15% (rappresentato prevalentemente dalla valle dell'Adige). A consuntivo le densità di punti acquisite sono risultate molto maggiori rispetto a quelle preventivate per effetto della grande sovrapposizione tra le strisciate.



*Figura 1 – Uno stralcio di ortofoto che individua il territorio preso in considerazione per il test; l'area tratteggiata è relativa al confronto con il DB topografico alla scala 1:5000 mentre a linea continua è indicata l'area confrontabile con il DB topografico alla scala 1:1000*

Dal 2003, sempre in Alto Adige, è partito un grosso lavoro di produzione di database topografico alle scale 1:5000 e 1:10000. Il lavoro corrispondente alla parte centrale del Sud Tirolo è stato consegnato e caricato nel Geodatabase provinciale; con un nuovo appalto sono recentemente stati assegnati i lotti est e ovest che sono attualmente in avanzata produzione

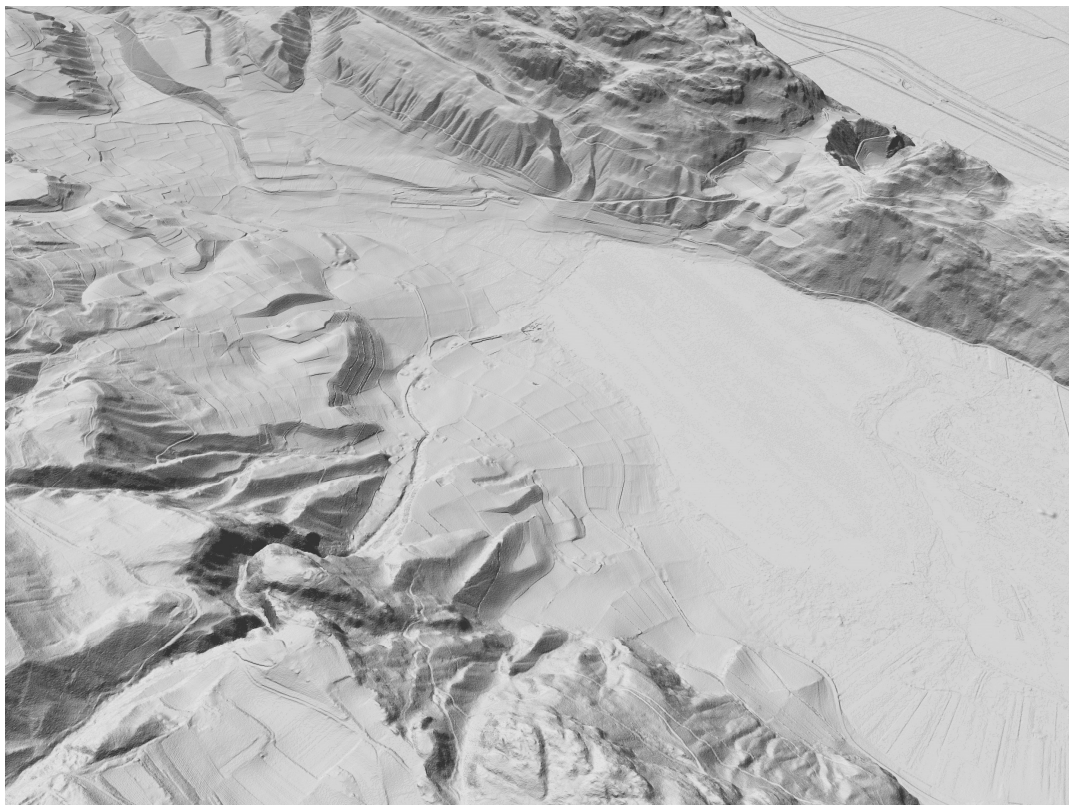
Entrambi gli appalti sono stati vinti dall'ATI formata da AVT (società austriaca di Imst), Geomatica (di Lavis di Trento) e Geosigma (di Pordenone). Per questo lavoro, in concomitanza con l'attivazione del rilievo laser scanner, si è valutato opportuno non restituire le curve di livello, delegando la gestione della morfologia del territorio al DTM laser scanner. Le due fonti di dati sono quindi assolutamente indipendenti.

Nel 2005 è stata realizzata la cartografia numerica alla scala 1:1000 del Comune di Caldaro, il cui territorio interessa parte dell'area a cui si riferisce il test. Società incaricata del lavoro è la già citata Geomatica di Lavis (Tn).

La disponibilità di questi dati, interessanti soprattutto per la loro completa indipendenza, ha invogliato gli autori a realizzare un confronto metrico sui risultati ottenuti. Si sottolinea fin d'ora che il confronto non è nato con l'obiettivo di dimostrare la superiorità di un metodo rispetto ad un altro. Piuttosto, il fine indiretto del test è quello di valutare la possibilità, per lavori analoghi, di far interagire in maniera sinergica le produzioni, per migliorare l'integrabilità del dato finale e, possibilmente, diminuire i costi di produzione.

### **Le caratteristiche dei dati a disposizione per il confronto**

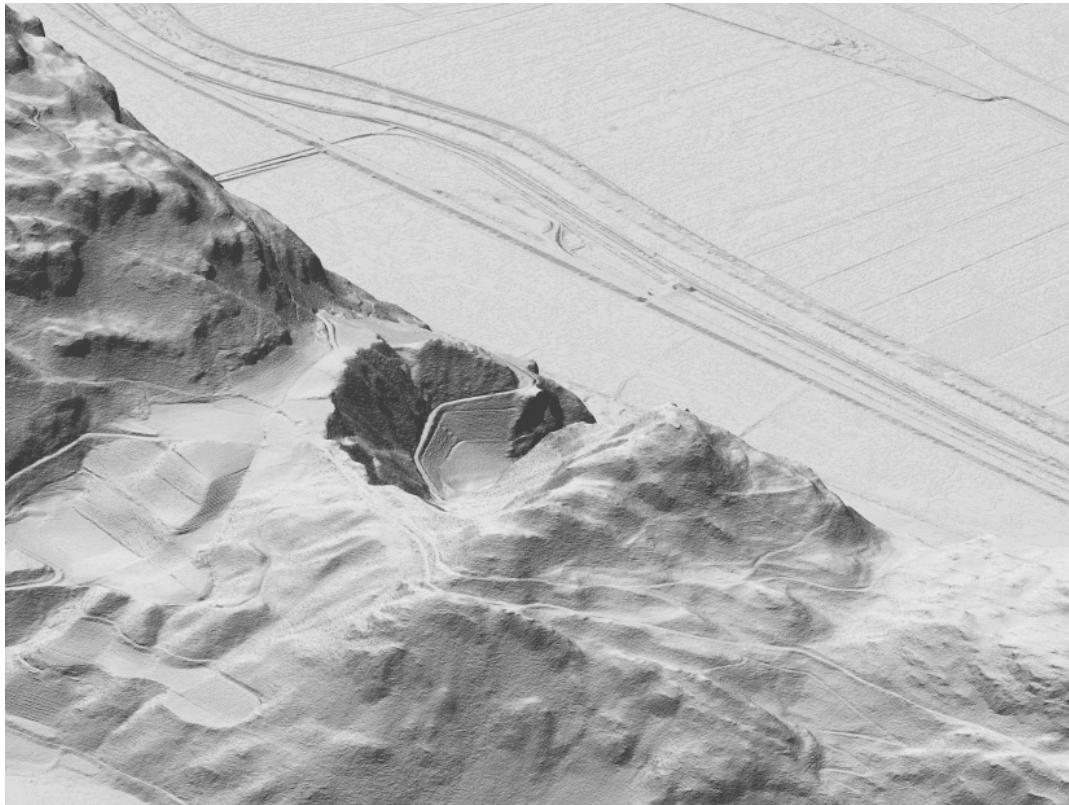
Per eseguire il confronto in oggetto è stato scelto un territorio che possedesse alcune caratteristiche: presenza di zone pianeggianti e di zone pressoché strapiombanti, ricco di coltivazioni di vario tipo (boschi, frutteti, prati), con una rete infrastrutturale ben definita (presenza di ferrovia, autostrada, strade di vario tipo e di caratteristiche differenti), con una idrografia varia e completa (laghi, fiumi con grande alveo, torrenti e piccoli impluvi). Inoltre ovviamente doveva essere un'area per cui i dati fossero disponibili o facilmente reperibili.



*Figura 2 – Rappresentazione 3D del Dtm ottenuto con metodo laser scanner.*

Si è scelta una parte della valle dell'Adige, a Sud di Bolzano, caratterizzata dalla presenza del lago di Caldaro, del ripido versante del Lainburg, oltre che delle altre caratteristiche precedentemente citate (figura 1). In figura 2 è riportata una vista 3D del DTM1. Tale area si estende per circa 900 ettari; in quota il territorio va da 260 m a circa 900 m sul livello del mare.

In figura 3 è illustrato un particolare del DTM ottenuto con laserscan, con una evidenza della sede autostradale, di una piccola strada di montagna, dell'alveo del fiume Adige. E' notevole la leggibilità di una serie di particolari relativi anche all'impiego del suolo, la visibilità delle strade forestali e dei piccoli elementi fisici di divisione degli appezzamenti di terreno.

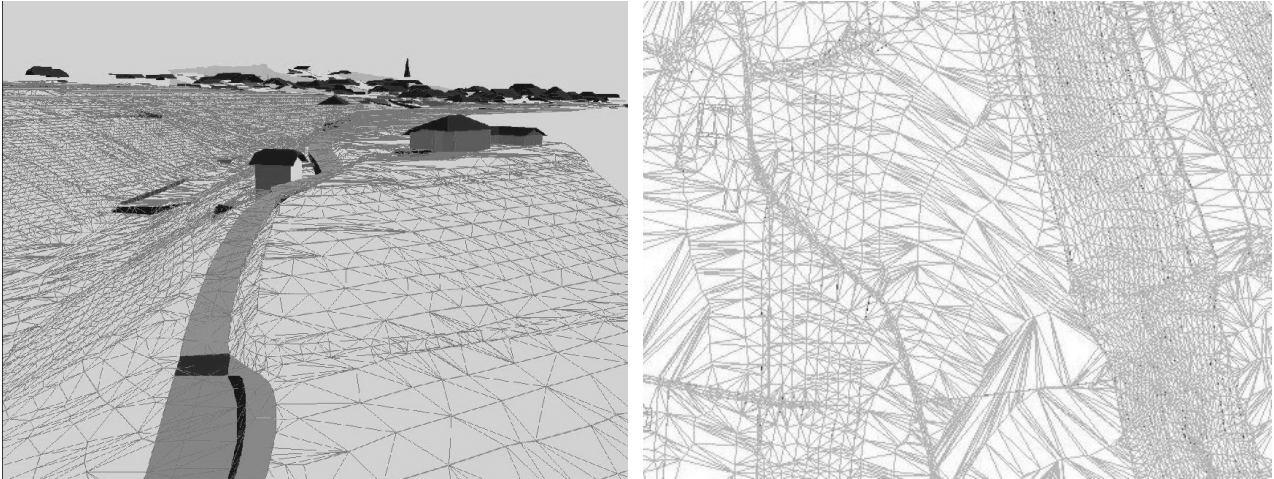


*Figura 3 – Particolare del Dtm ottenuto con metodo laser scanner.*

Il DTM ottenuto con tecnica aerofotogrammetrica (nel seguito DTM2) è realizzato con l'impiego del volo dell'estate 2002. La camera utilizzata ha focale pari a circa 152 mm ed ha portato a realizzare fotogrammi con scala media 1:15000 da circa 2250 m di altezza relativa di volo; tali fotogrammi dopo essere stati scansionati a 1200 dpi sono stati aereotriangolati in modo automatico con il programma Match.AT della Inpho di Stoccarda [Dunkel et al., 2004]. Da essi è stato prodotto in restituzione, nel 2004, il DB topografico alla scala 1:5000. Per il test in esame dalle immagini si è prodotto un DTM in modalità semiautomatica [Afeltra, Guzzetti, 2003]: le feature di restituzione costituiscono le breakline di base per l'autocorrelazione di immagine; il Tin così ottenuto è stato editato manualmente per verificarne la corrispondenza con la scena tridimensionale utilizzando la fotogrammetria digitale; dal Tin è stato poi prodotto un grid con passo e posizione di griglia corrispondente a quello ottenuto con tecnologia laser scanner.

Il DTM relativo al territorio di Caldaro restituito fotogrammetricamente alla scala 1:1000 si basa sull'impiego di riprese aeree alla scala media 1:4300 (nel seguito DTM3). La ripresa aerea è stata eseguita a colori nel marzo 2005 con camera fotogrammetrica RC20 f 150 mm dalla CGR su incarico di Geomatica. Il volo si compone 9 strisciate parallele in direzione Nord – Sud, per un totale di 136 fotogrammi, con ricoprimento longitudinale tra il 60% ed il 75% e ricoprimento trasversale pari al 30%. I fotogrammi sono appoggiati direttamente al terreno, senza triangolazione

aerea, utilizzando la rete di punti fiduciali catastali della provincia Autonoma di Bolzano. La restituzione numerica è stata eseguita secondo le Specifiche Tecniche del Consorzio dei Comuni della Provincia di Bolzano che prevedono la creazione di una banca dati topografica tridimensionale con copertura areale totale del territorio da restituire; il files finali sono in formato è Shape 3D [Coianiz et al., 2001]. Per la creazione del DTM si è provveduto dapprima alla creazione di un Tin utilizzando come breakline tutte le linee 3D derivanti dalla stereorestituzione; da esso si è poi generato un Grid con passo analogo a quello realizzato da rilievo laser scanner (figura 4).



*Figura 4 – Dettagli del DTM ottenuto nella zona rilevata alla scala 1:1000e della sua corrispondenza con le linee di restituzione gestite come breakline.*

### **Le verifiche eseguite e l'esito delle varie prove comparative**

I confronti che sono stati attivati sono di diversa tipologia ed in diverse zone di territorio:

- confronti planimetrici fra feature di restituzione e discontinuità del DTM laser scanner;
- confronti fra curve di livello generate dalle diverse fonti dati, in territorio privo di vegetazione, in territorio boschivo, in territorio misto ed abitato;
- profili in direzione Est Ovest (corrispondenti alla massima variazione altimetrica);
- corrispondenza fra reticolo geografico stereorestituito e impluvi del DTM laser scanner;
- verifica della corrispondenza fra reticolo stradale e DTM laser scanner.

E' evidente la diversa origine del dato; unico elemento comune fra i tre DTM è la rete d'inquadramento geodetico. Per la realizzazione dei vari DTM sono state seguite le regole previste da IntesaGis [Kölbl, 2002].

Va inoltre segnalato che il DTM3 parte da un estremo dettaglio nel rilievo del territorio, con moltissime breakline; dal punto di vista planimetrico è sicuramente di un ordine di grandezza più preciso degli altri due DTM.

Dal punto di vista altimetrico è interessante la diversa corrispondenza fra i DTM in funzione della tipologia di territorio, con il dato laser scanner di elevata qualità nelle zone boschive rispetto al DTM2 ma con qualche problema nelle parti edificate.

E' anche evidente come sia possibile ottenere ulteriori notevoli informazioni dal rilievo laser scanner se si utilizza il DEM con però un elevato aggravio nei tempi di produzione e quindi nei costi del lavoro.

E' comunque notevole il livello di precisione altimetrica che è ottenibile da rilievo laser scanner e la sua possibilità di integrarsi con le altre informazioni geografiche stereorestituite.

### **Prospettive e conclusioni**

L'esito del test, più diffusamente descritto durante la relazione, permette di eseguire una serie di interessanti considerazioni.

Evidentemente il dato grezzo derivante da laser scanner aerotrasportato è opportuno sia maggiormente integrato con la risoluzione planimetrica della stereorestituzione rispetto a quanto normalmente viene oggi realizzato in produzione. Ciò implica un aumento dei tempi di elaborazione (e quindi dei costi) ma permette di ottenere la perfetta integrazione del dato.

Conseguenza di ciò è la constatazione che probabilmente il rilievo laser scanner non è il metodo più adatto (o meglio, più sostenibile economicamente) per territori molto vasti e soprattutto morfologicamente movimentati. Infatti, per buona parte del territorio è più che sufficiente un DTM ben fatto da produzione aerofotogrammetrica; decurtare la stereorestituzione della fase di generazione del DTM, soprattutto all'interno della catena digitale che permette la generazione automatica del DTM, non produce risparmi comparabili con il costo del rilievo laser scanner e tale metodo di rilievo genera un prodotto di precisione ridondante dal punto di vista altimetrico quando ottenuto a regola d'arte. E' invece più logico integrare il metodo aerofotogrammetrico con il rilievo laser scanner nelle zone più difficili da legger con il metodo fotogrammetrico. Anche con queste nuove tecnologie quindi, la soluzione migliore si ha con l'integrazione del dato proveniente da differenti metodi di rilevamento.

Comparabilità del livello di precisione del laserscanner con la precisione altimetrica del 1000; tale precisione assolutamente sperperata in territori naturali dove vegetazione e discontinuità naturali rendono di fatto non significativa tale precisione.

### **Riferimenti bibliografici**

Coianiz T., Guzzetti F., Viskanic P., Zanvetto G., "Le problematiche dei rilievi ed aggiornamenti multiscala: il caso del SIT dell'Alto Adige", Documenti del Territorio n. 48/2001, pag 9-16

Kölbl O. (2002), "Prescrizioni tecniche per la produzione di modelli digitali del terreno", Sito IntesaGis

Afeltra G., Guzzetti F. "Alcune esperienze di DTM da fotogrammetria digitale, mediante correlazione automatica, nella cartografia tecnica regionale", Atti della 7<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Verona 2003 – pag 9-14

Dunkel S., Guzzetti F., Otepka G., "Automatic aerial triangulation – Report of a large project under difficult conditions", Atti XX International Congress ISPRS – PS WG III/8 – Instambul (Turchia) 2004