

INTEGRAZIONE DI RILIEVI LASER SCAN TERRESTRI ED ELITRASPORTATI

Giancarlo MASSARI(*), Michele POTLECA (*)

(*) Protezione Civile della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Via Natisone 43, 33057 Palmanova - UD, Italia – e-mail: protezione.civile@regione.fvg.it

Riassunto: Il rilievo del territorio mediante *laser scan* elitrasmportato è una metodologia recente e molto flessibile, perfetta per la sua capacità di coprire ampie aree di territorio in un tempo particolarmente ristretto, con una elevata risoluzione della nuvola di punti, nativamente georiferita. L'impiego migliore è ovviamente su aree con acclività non troppo accentuata, ma in caso di presenza di sbalzi repentini della morfologia, come si possono trovare facilmente in aree montane, con la presenza di pareti sub-verticali od aggettanti, od anche in pianura con elementi antropici, la capacità dello strumento di risolvere in maniera adeguata tali elementi viene ad essere notevolmente diminuita (sia nella qualità-precisione che nella quantità dei punti rilevati). In tal senso l'utilizzo di un *laser scan* terrestre permette di integrare efficacemente la nuvola di punti da laser elitrasmportato. Vengono qui descritti alcuni risultati di tale metodologia, utilizzata dalla Protezione Civile della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia per la definizione di versanti in frana, analisi di volumetrie di sovralluvionamento e la modellistica idraulica.

Abstract: Aerial laser scan survey is a very flexible, up-to-date technology, excellent in order to cover, as quick as possible, wide areas, with a very high resolution georeferenced point-cloud. Best use is in medium stepped areas; aerial laser scan is not very efficient in case of sudden morphological steps, like sub-vertical or jutting-out walls in mountain areas, also it is not so good in plane areas with a lot of human infrastructures. In these cases precision and quantity of survey point data are very low.

A good survey with a terrestrial laser scan could help to resolve these low covered aerial scanned areas, so having the perfect integration.

Some results of are explained, This methodology is used by Protezione Civile della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia to evaluate landslides, overflow volumes and hydraulic engineering.

1. Introduzione

La scansione *laser* del territorio è la nuova frontiera per il rilievo topografico e per l'analisi del territorio. Gli enormi sviluppi degli ultimi anni hanno via via migliorato gli strumenti di rilievo, con laser scan elitrasmportati più veloci, precisi e con maggiori informazioni rilevate. Nel campo del *laser* terrestre le già elevate capacità di rilievo sono state integrate da sistemi automatici di allineamento e rotazione, nonché dalla possibilità di riprese fotografiche integrate alla nuvola di punti.

In questo articolo si descrivono brevemente alcune delle metodologie ed esperienze della Protezione Civile della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, maturate in questi ultimi anni nel campo della modellistica tridimensionale di porzioni di territorio e più in particolare dell'integrazione di dati da rilievi *laser scan* da terra con quelli ALTM (*Airbone Laser Terrain Mapper*).

Si riportano di seguito quattro esempi, ognuno dei quali presenta caratteristiche peculiari dal punto di vista morfologico e delle procedure di rilievo ed integrazione.

2. Metodologia e acquisizione dati

Mediante il servizio regionale di telerilevamento, che unisce funzioni LIDAR, iperpettrale, infrarosso e video, la Protezione Civile della Regione si è voluta dotare di uno strumento di rilievo efficace per fronteggiare le emergenze che possono colpire il territorio regionale. In particolare un *laser scan* Optech ALTM 3033, od in alternativa un ALTM 3100, equipaggia un elicottero AS350 sempre disponibile.

Per i rilievi da terra è stato acquistato un *laser* Optech ILRIS-3D (*Intelligent Laser Ranging Imaging System*), con capacità di rilievo anche ad elevata distanza.

Tutti i dati grezzi ALTM sono sempre georiferiti secondo la proiezione Gauss-Boaga fuso Est, sovrapponibili così con tutti i prodotti cartografici regionali.

Per il processamento dei dati e l'elaborazione dei modelli digitali del terreno i tecnici del NICE (Nucleo Informatico di Cartografia Elettronica della Protezione Civile della Regione) utilizzano essenzialmente due *software* commerciali, Polyworks (in particolare i moduli IMAlign ed IMIspect per l'allineamento delle scansioni, la modellazione e per i calcoli volumetrici) nonché TerraScan e TerraModeler (della Terrasolid) in ambiente Microstation (per la classificazione e, laddove necessario, per la segmentazione).

2.1 Rilievi laser da elicottero

I rilievi ALTM sono estratti da una campagna di acquisizione dati *laser* altimetrici ed ortofoto ad alta risoluzione che la Protezione Civile della Regione Friuli Venezia-Giulia sta conducendo al fine di creare un rilievo dello "stato di zero" del territorio regionale.

Il rilievo da piattaforma aerea, come ormai consolidato, è il risultato della combinazione di più sottosistemi (IMU, GPS, LRF), con la presenza di possibili errori associati a questi sottosistemi che si propagano fino al *dataset*. Grande attenzione viene quindi posta nella fase di taratura/calibrazione del sistema prima della campagna di acquisizione (Potleca et alii 2003)

Il sistema ALTM ha acquisito in modalità *narrow*, con una larghezza della singola strisciata tra i 400 ed i 600 m (a seconda dell'altezza da terra dell'elicottero) e velocità media di 75 kts (circa 135 km/h), al fine di rilevare una densità dei punti a terra di 4 punti/m² e riprese fotografiche con risoluzione di 20 cm/pixel.

Durante i voli sono state messe in funzione delle stazioni GPS master ad una distanza non inferiore ai 30 km dall'area del rilievo permettendo, in sede d'elaborazione dei dati GPS, una precisione maggiore di 6 cm (rms) della traiettoria. La precisione e la stabilità del segnale GPS gioca quindi un ruolo d'estrema importanza per l'accuratezza del dato finale.

La accuratezze assolute sono state verificate in sede di collaudo, controllandole per comparazione con i punti di controllo a terra acquisiti con ricevitori GPS operanti in modalità statica.

2.2 Rilievi laser terrestre

L'utilizzo del *laser* terrestre ILRIS 3D è stato necessario per l'integrazione dei rilievi laser da elicottero non solo laddove le superfici superavano pendenze di 60°, ma anche quando era necessario rilevare manufatti nella loro completezza e quindi ottenere un completo, accurato e denso *set* di dati.

Bisogna tener presente che ogni rilievo *laser scan* da terra, acquisito da un differente punto di presa, ha un suo sistema di riferimento, quindi per ottenere un modello tridimensionale completo, è necessario concatenare differenti scansioni e rototraslarle secondo un'unico sistema di riferimento.

Il *software* PolyWorks permette la scelta di punti "natural" (non necessita di *target* artificiali) per l'allineamento di diverse scansioni. Procedendo quindi al riconoscimento manuale di tre o più punti di collegamento presenti all'interno delle due scansioni adiacenti (punti notevoli, rocce, spigoli, elementi antropici, ecc.) si arriva all'avvicinamento delle due scansioni; il calcolatore in seguito effettua una ricerca automatica di tutti i punti omologhi, eseguendo una rototraslazione spaziale senza variazione di scala rispetto al sistema di riferimento della scansione adiacente e determina i 6 parametri indipendenti tra loro: le 3 rotazioni attorno gli assi x, y, z della scansione e le tre

traslazioni spaziali. L'applicazione di questo procedimento ad ogni singola scansione permette la creazione del modello completo di un oggetto complesso. Infine i punti ridondanti (nelle aree di sovrapposizione delle differenti scansioni) possono essere eliminati diminuendo notevolmente la dimensione del file.

2.3 Fusione dati

In generale, i metodi applicabili per fondere i dati da piattaforma aerea e terrestre sono sostanzialmente due:

- la georeferenziazione separata dei dati da terra (preferibilmente con presenza di GPS) e di quelli aerei
- l'utilizzo di una scansione come *reference* e la rototraslazione dell'altra rispetto a quest'ultima (i dati acquisiti da piattaforma aerea hanno un sistema di riferimento assoluto).

Il sistema elitrasportato fornisce automaticamente dei dati georeferenziati grazie all'IMU ed al GPS presenti a bordo del velivolo; la georeferenziazione di punti rilevati con *laser* terrestre presuppone, invece, la predisposizione di *target* artificiali (almeno tre) che devono essere rilevati anche con metodi tradizionali ed inquadrati nel sistema di riferimento.

Generalmente il maggior ostacolo riscontrato nella fusione di due scansioni è stato quello di identificare un numero sufficiente di punti di sovrapposizione ridondanti per completare l'allineamento (specialmente nel caso di conformazioni particolari di versanti in frana).

I punti di sovrapposizione tra le differenti scansioni sono stati perciò considerati elementi critici rispetto all'accuratezza relativa delle singole scansioni. Come *tie point* sono stati scelti elementi riconoscibili e presenti in entrambe le scansioni; tali punti di legame sono stati in genere scelti per la loro particolare conformazione morfologica, come spuntoni, diedri rocciosi, ecc.

L'errore di posizionamento presente nel dato finale è quindi dovuto agli errori strumentali dalle due apparecchiature ed agli errori dovuti all'allineamento di differenti scansioni.

3. Caso studio 1: Frana del Passo della Morte

Un tratto dell'alta valle del fiume Tagliamento è interessato da un movimento franoso di rilevanti dimensioni che si sviluppa in sinistra idrografica in corrispondenza del "Passo della Morte" in comune di Forni di Sopra (provincia di Udine).

La gravità del fenomeno, venutosi a determinare per la parziale e recente riattivazione di un'antica paleofrana, ha indotto la Protezione Civile della Regione ad impegnarsi, con la collaborazione del CNR-IRPI di Padova, nel monitoraggio e nello studio della dinamica del fenomeno. A tal fine, oltre alle tecniche tradizionali (inclinometri, estensimetri, piezometri, rilievi topografici, ecc..) si è deciso anche l'utilizzo della tecnologia *laser scan*. Gli obiettivi dell'uso del *laser scan* in questo contesto sono:

- Disporre di un DTM di dettaglio dell'area in frana e del suo intorno per condurre un'analisi geomorfologica di grande accuratezza.
- Ricavare i vettori spostamento per ogni punto dell'area indagata e caratterizzare le aree in movimento dal punto di vista spazio-temporale.

Le caratteristiche del sito, con la presenza di un'area subverticale, hanno reso necessaria l'integrazione dei dati *laser* da elicottero con quelli da terra, e ciò ha presentato una sfida alle potenzialità di questo strumento, per alcune differenti problematiche:

- la zona accessibile per la scansione terrestre si trovava ad una distanza superiore agli 800 m;
- la presenza di vegetazione molto fitta nell'area del rilievo;
- la complessa conformazione delle pareti/nicchie di distacco della frana;

La capacità strumentale dell'ILRIS 3D di arrivare oltre i 1000 metri di portata ha consentito di eseguire questo rilievo permettendo inoltre di minimizzare il numero di stazioni.

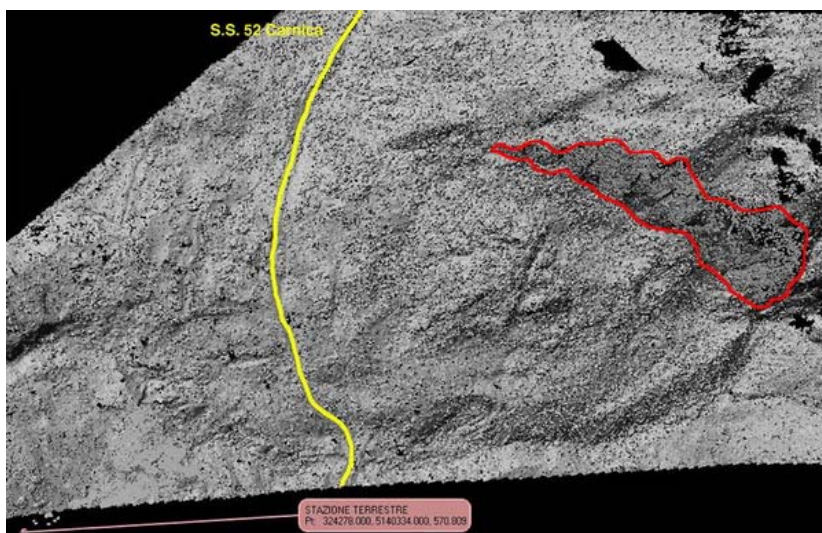


Fig. 1: unione di scansione aerea e terrestre

Il rilievo è consistito infatti di due scansioni con una risoluzione variabile a seconda della zona ripresa tra 56 mm a 75 mm, con un tempo di scansione di 20 minuti ciascuna e circa 3,5 milioni di punti rilevati per scansione. In una zona montana, morfologicamente complessa e articolata come quella in questione, entrambi i sistemi LIDAR presentano dei limiti nella possibilità di acquisire tutti i punti necessari per ottenere un rilievo completo.

Le problematiche riscontrate sono state soprattutto due:

- la necessaria preventiva pianificazione delle corrette zone di sovrapposizione per le due piattaforme di scansione;
- la necessità di *target* artificiali e/o di elementi naturali facilmente ed univocamente riconoscibili.

4. Caso studio 2: Sezione idraulica del ponte di Braulins

Nell'ottica dell'implementazione della rete idrometeorologica regionale ai fini di protezione civile, si è resa necessaria la determinazione della scala di portata della sezione idraulica del ponte di Braulins sul Fiume Tagliamento tra i Comuni di Osoppo e Trasaghis, anche al fine di migliorare la capacità di monitoraggio in tempo reale delle piene del Tagliamento, nonché di ottenere informazioni quantitative per la corretta calibrazione dei modelli e per una miglior valutazione del rischio idraulico nelle aree del medio-basso bacino a tutela della pubblica incolumità.

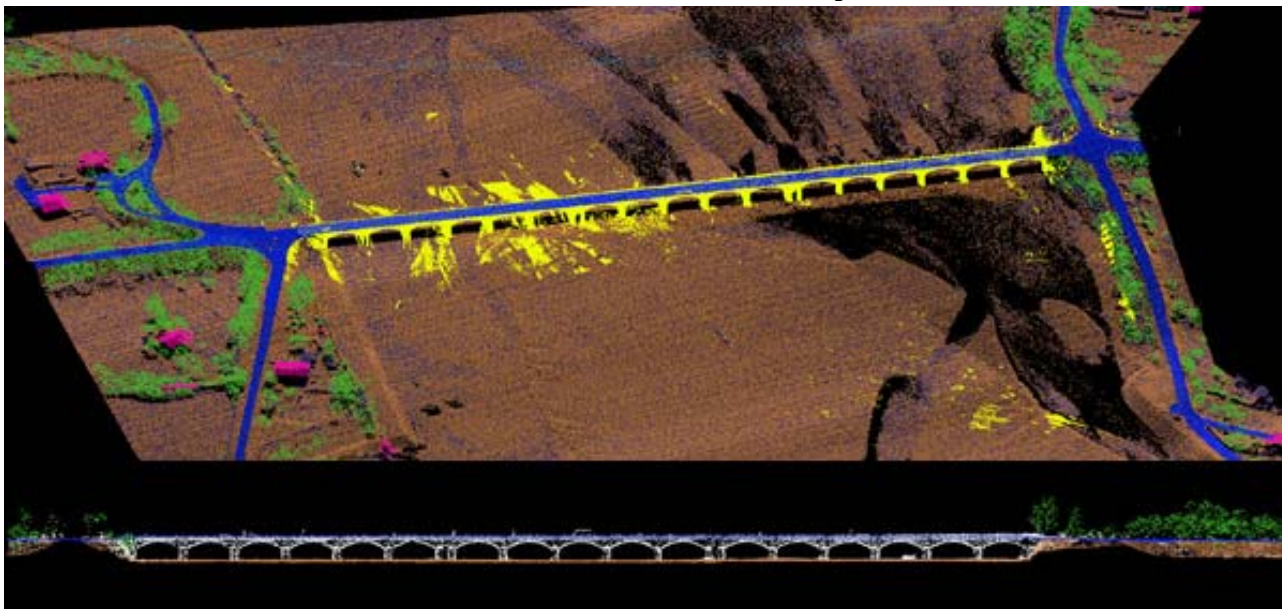


Fig. 2: ponte di Braulins, vista aerea e sezione del ponte

Per tale motivo si è voluto produrre:

- la modellazione numerica e/o fisica di un tratto del corso d'acqua a monte e a valle del ponte di lunghezza sufficiente a determinare le idonee condizioni al contorno per le simulazioni con portate crescenti fino alla massima capacità della sezione;

- la modellazione fisica di parte della sezione per la determinazione degli effetti delle pile del ponte sul deflusso e la valutazione delle condizioni critiche del flusso;
- l'integrazione dei risultati della modellazione numerica e fisica per la determinazione della scala di portata teorica della sezione il cui livello zero si riferirà ad un apposito caposaldo materializzato in loco;
- la determinazione dello schema di configurazione ottimale della strumentazione di rilievo del livello idrico da installare sul ponte per il calcolo della portata in tempo reale.

Ai dati *laser scan* da elicottero sono stati allineati, anche mediante l'impiego di rilievi GPS e topografia classica, i dati di oltre 20 scansioni *laser* da terra. Ciò ha permesso la perfetta ricostruzione del manufatto, da utilizzare nella creazione di un modello in scala ridotta dell'interazione ambiente-infrastrutture, con livelli quantitativi e di precisione altrimenti impensabili.

5. Caso studio 3: Valutazione del rischio da caduta massi sull'abitato di Casso (PN)

Nell'ambito dello studio condotto nel territorio del Comune di Erto-Casso, finalizzato alla valutazione del rischio da caduta massi sull'abitato di Casso, si è voluto integrare dati *laser scan* aerei e da terra per la presenza di aree ad elevata acclività. Tali dati sono stati rilevati posizionando lo strumento sull'area tristemente famosa della frana del monte Toc, nonché utilizzando alcuni caposaldi GPS.

Ciò ha permesso di realizzare un modello digitale del terreno particolarmente raffinato, che è stato utilizzato dal Dipartimento di Georisorse e Territorio dell'Università di Udine per lo studio delle possibili aree di distacco, impatto e rotolamento di masse rocciose che potrebbero creare problemi alla pubblica incolumità della popolazione del Comune di Erto e Casso.

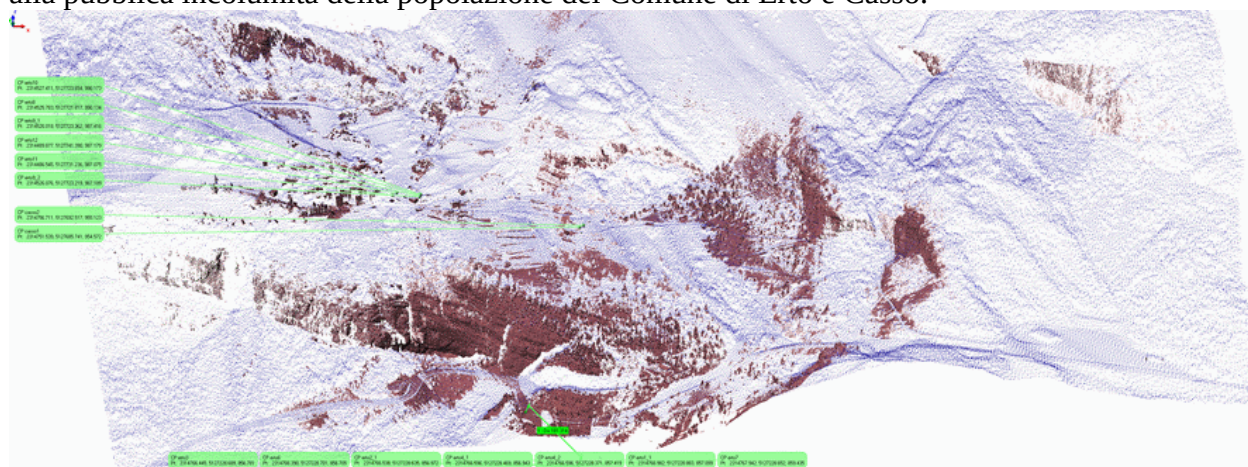


Fig. 3: vista dell'abitato di Casso dal monte Toc

6. caso studio 4: Colata detritica presso Dogna

Il 29 agosto 2003 un'intensa precipitazione, riconducibile statisticamente ad un evento almeno centenario, ha determinato frane e smottamenti di grave entità in buona parte del bacino della Val Canale–Canal del Ferro (UD), provocando gravi danni a persone ed infrastrutture. Vari torrenti minori hanno causato sovralluvionamenti con deposizione lungo l'alveo di ingenti quantitativi di ghiaie medio-fini.

Nel caso del Rio Ponte di Muro, si è valutata la quantità di materiale deposto che ha ricoperto in maniera quasi completa una centrale idraulica. Per tale motivo, grazie alla comparazione tra il rilievo *laser scan* aereo effettuato il giorno dopo l'alluvione ed un rilievo *laser scan* terrestre prodotto dopo l'escavazione dell'alveo, si è potuto arrivare al dimensionamento preciso del materiale coinvolto.

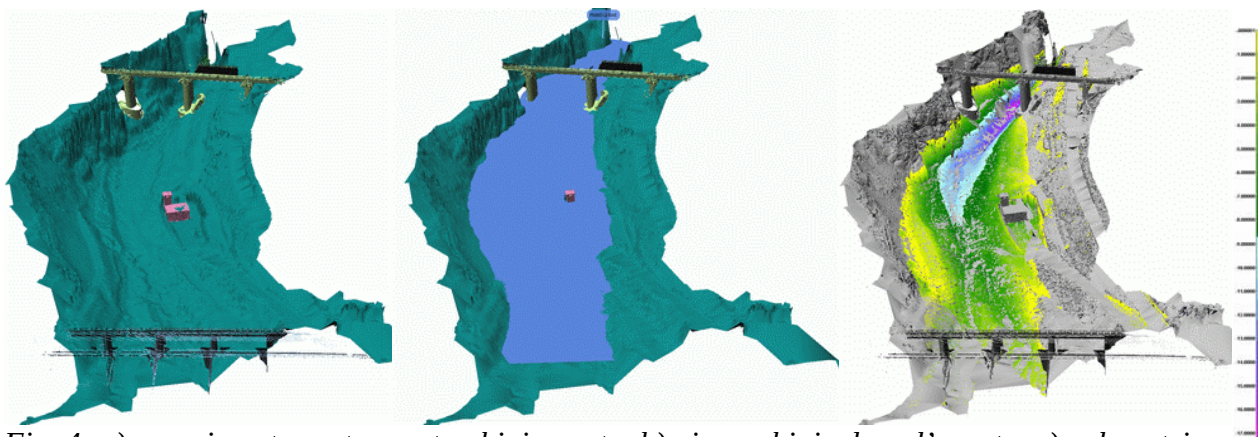


Fig. 4: a) scansione terrestre post-sghiaimento, b) piano ghiaie dopo l'evento, c) volumetrie

7. Conclusioni

In zone montane, morfologicamente complessa e articolata come quella dei casi 1 e 3, entrambi i sistemi LIDAR presentano dei limiti nella possibilità di acquisire tutti i punti necessari per ottenere un rilievo completo. Le problematiche riscontrate sono state soprattutto due:

- la necessaria preventiva pianificazione delle corrette zone di sovrapposizione per le due piattaforme di scansione
- la differente risoluzione dei due *laser scan* che comporta la fusione di *set* di dati a caratteristiche diverse, l'accuratezza dipende dal "peggiore" dei due sistemi e quindi la sovrapposizione di dati ad altissima risoluzione (ILRIS 3D) soffre della minor risoluzione ottenibile con l'ALTM.

Le due piattaforme LIDAR, utilizzando lo stesso tipo di tecnologia, si possono ritenere complementari: nelle condizioni in cui una strumentazione eccelle l'altra è carente. L'integrazione favorisce una ricostruzione completa e fedele con un rilievo topografico di dettaglio non eseguibile con altre strumentazioni. Un modello digitale del terreno privo della copertura vegetale, oltre a rendere molto più precisi gli studi di carattere geologico e idrogeologico, permette di identificare tutte quelle morfologie altrimenti non visibili con altre tecniche di rilievo, fornendo anche un nuovo spunto interpretativo per l'evoluzione geologica – ambientale.

Bibliografia

- IAVARONE A., VAGNERS D. (2002), "Sensor Fusion: Generating 3D by combining airborne and tripod-mounted LIDAR data", *International Archives of Photogrammetry and RemoteSensing*, Vol. XXXIV-5/W10
- POTLECA M., MASSARI G., CONFORTI ANDREONI D., (2003), "Generazione di modelli digitali del terreno dalla combinazione di dati LIDAR da piattaforma aerea e terrestri", *Atti della 7a Conferenza Nazionale ASITA*
- MASSARI G., POTLECA M., STEFANELLI N. (2003) "Primi risultati geomorfologici da strisciate Laser Scanning della frana del passo della morte", *Bollettino dell' Associazione Italiana Cartografia*, 117 – 118 – 119 / 2003, pp.364 – 375
- RUIZ A., KORNUS W., TALAYA J., COLOMER J.L. (2004) "Terrain Modeling in an Extremely Steep Mountain: A Combination of Airborne and Terrestrial Lidar" *Geo-Imagery Bridging Continents*, XXth ISPRS Congress, B3 ,12-23 July 2004 Istanbul, Turkey