

MONITORAGGIO DI TRATTI DI CORSI D'ACQUA A FORTE PENDENZA CON TECNICHE FOTOGRAMMETRICHE DA TERRA

Paolo Scotton (*), Massimo Vettorazzi (*), Francesca Chiochetti (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento, Via Mesiano, 77, 38050, Trento, tel. 0461 882603, fax 0461 882672, e_mail paolo.scotton@ing.unitn.it

(**) Borsista, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento

Riassunto

L'articolo illustra una parte della attività di campo svolta dagli autori allo scopo di pianificare il monitoraggio di tratti di corsi d'acqua a forte pendenza. Sono prese in considerazione sistemazioni a basso impatto ambientale realizzate dal Servizio Sistemazione Montana della Provincia Autonoma di Trento mediante l'utilizzo di catene di massi ciclopici. Per questo tipo di sistemazioni sono stati recentemente formulati criteri progettuali mediante una analisi sperimentale effettuata presso il Laboratorio di Idraulica della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Trento. L'articolo illustra alcuni risultati della applicazione di tecniche fotogrammetriche volte a valutare le potenzialità del metodo nel mettere in evidenza la evoluzione morfometrica dell'alveo.

Abstract

The article illustrates a part of the field activity carried out by the authors in order to plan the surveying of reaches of water courses at high slope. Low environmental impact restoration works performed by the Mountain Restoration Service of Trentino Province in Italy, using chains of big boulders, are taken into consideration. For these kind of restorations design criteria have been recently developed by means of an experimental research carried out at the Hydraulic Laboratory of the Engineering Faculty of the University of Trento. The article describes some results of the application of the photogrammetric technique in order to evaluate the ability of the method to describe the bottom morphological evolution.

Generalità

L'approccio attuale alla sistemazione dei corsi d'acqua è sempre più un esercizio multi-disciplinare. Le opere di sistemazione vengono progettate secondo criteri che tendono alla sicurezza idraulica e che tengono in grande conto la necessità di ridurre il più possibile eventuali alterazioni al sistema ambientale. Presso il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Trento sono state studiate nel recente passato, su scala di modello, opere di sistemazione trasversali di tratti di corsi d'acqua a forte pendenza che prevedono l'utilizzo di massi di grandi dimensioni, sciolti o legati tra loro. La ricerca fornisce criteri di stabilità morfologica basati sulla teoria di Shields (Ferro et al., 2004).

La necessità di passare dalla scala di modello alla scala di prototipo impone di studiare sul campo, mediante appropriate tecniche di monitoraggio, il comportamento di tali opere nel tempo, sia dal punto di vista della stabilità che della morfologia indotta nel corso d'acqua.

Molte sono le tecniche di monitoraggio che possono essere adottate. Le diverse tecniche si differenziano per precisione, tempi di esecuzione, costo della strumentazione e della esecuzione del rilievo, modalità e tempi di elaborazione dei dati rilevati sul campo.

Il tipo di opere di sistemazione qui considerate, adatte soprattutto alla sistemazione di tratti di corsi d'acqua a forte pendenza (torrenti nella zona apicale), impone di adottare metodologie che

permettano la rapida esecuzione del rilievo, riducendo il tempo di permanenza sul posto (anche accettando un significativo onere di elaborazione dei dati rilevati), di accoppiare informazioni metriche e visive, allo scopo di ottimizzare l'interpretazione dei rilievi effettuati, di utilizzare una strumentazione facilmente trasportabile, affidabile, sufficientemente precisa e poco costosa, allo scopo di permettere una frequenza di monitoraggio adeguata a seguire l'evoluzione morfologica del tratto di corso d'acqua analizzato.

Tra i diversi metodi di misurazione disponibili, nel presente lavoro si analizzano le potenzialità delle tecniche fotogrammetriche da terra, rese certamente poco costose, rispetto al recente passato, sia in termini di hardware (sono disponibili camere digitali di elevate potenzialità a costi contenuti) che di software per le elaborazioni fotogrammetriche. Altri elementi che giustificano la ricerca stanno nel ridotto tempo di esecuzione del rilievo e la possibilità di ottenere le informazioni metriche in contemporanea e come conseguenza del rilievo fotografico.

Il sito monitorato

Tra le sistemazioni realizzate negli ultimi anni dal Servizio Sistemazione Montana della Provincia di Trento, sono state prese in considerazione quelle realizzate con l'utilizzo di massi ciclopici, con lo scopo di confrontare le modalità realizzative con i criteri di progettazione sviluppati presso il Laboratorio di Idraulica dell'Università degli Studi di Trento (Scotton, Lutterotti, 2004).

In particolare è stata posta l'attenzione sulle opere realizzate presso la Busa dei Laibi, nella zona apicale del torrente Travignolo (Figura 1).



Figura 1 - A sinistra: localizzazione del torrente Busa dei Laibi II in provincia di Trento; a destra: immagine, dal ponte sulla strada forestale denominata Venegia – Pian della Mezzana verso monte, del tratto sistemato con catene di massi ciclopici legati. In primo piano la zona di espansione subito a monte del ponte.

Il torrente Laibi II qui considerato è sistemato per circa 150 m, su pendenze di circa il 30 %, con un totale di 16 catene di massi ciclopici legati. Le catene più a valle sono costruite con massi di modeste dimensioni (circa un metro), mentre quelle a monte hanno dimensioni decisamente maggiori (superiori ai 2 metri). La stabilità dell'opera è incrementata da cavi di acciaio che collegano ciascun masso. I massi sono collegati al trefolo d'acciaio attraverso una barra in acciaio inox ($\varphi = 20$ mm). I massi terminali della catena penetrano all'interno della sponda. Il diametro del materiale di fondo è dell'ordine di 5 cm. Nella zona a monte del ponte l'alveo presenta un allargamento con funzione di piazza di deposito (volume di circa 2700 m³) al fine di contenere, almeno in parte, i volumi solidi trasferiti a valle dai fenomeni di colate di detriti di elevata frequenza e dimensione ridotta, che interessano l'alveo. Si evidenzia la mancanza di vegetazione sulle sponde e in alveo, e la tendenza all'erosione su entrambe le sponde.

La strumentazione utilizzata e le misurazioni effettuate

Le riprese fotografiche sono state effettuate con la camera digitale *Canon Powershot Pro 1* (Figura 2, camera commerciale, non metrica e di costo contenuto) dotata di un sensore CCD di dimensioni 8,8 mm · 6,6 mm, con una risoluzione di 8,3 Megapixel, e una focale zoom variabile da 7,2 mm a 50,8 mm, equivalente ad uno zoom 28-200 mm nel classico formato 35 mm. I punti di presa sono stati raggiunti mediante l'utilizzo di una piattaforma aerea su autocarro (Figura 2).

Su una superficie di circa 0.2 ha sono stati distribuiti 50 target, di dimensioni 20 cm · 20 cm che costituivano i punti di appoggio. Per la misurazione delle loro coordinate e dei parametri di orientamento esterno della foto-camera è stato utilizzato un distanziometro laser (modello *Leica Disto Base*) accoppiato con un clisimetro per la misurazione dell'angolo zenitale (modello *Silva Clino Master*) e con un goniometro per la misurazione dell'angolo azimutale (strumentazione di costo molto contenuto e di facile trasporto). Per verificare l'affidabilità di questa strumentazione le stesse misure sono state effettuate anche con un teodolite (modello *Leica TCR 705*, facilmente utilizzabile nella situazione attuale, ma difficilmente adottabile in situazioni topografiche meno favorevoli).



Figura 2: La strumentazione di campo utilizzata: a sinistra la piattaforma aerea su autocarro e il teodolite; a destra in basso la foto-camera digitale; a destra in alto il distanziometro e il clisimetro.

Sono state effettuate riprese con la foto-camera digitale con focale 7.2 mm (equivalente a 28 mm nel formato 35 mm), con punti di presa collocati su 5 verticali all'altezza del ponte (Figura 3). Sulle tre verticali centrali (S, C, D di Figura 3) i punti di presa sono stati collocati alla quota di circa 6 m, 10 m e 14 m dal fondo dell'alveo. Sulle due verticali laterali (SS, DD) i punti di presa sono stati collocati alla quota di circa 14 m rispetto al fondo dell'alveo. Da ciascun punto di presa sono stati ottenuti quattro fotogrammi facendo variare l'angolo di inclinazione zenitale dell'asse dell'obiettivo della camera digitale. I fotogrammi realizzati coprono l'intera larghezza dell'alveo (circa 30 m) per una lunghezza di circa 60 m a monte del ponte.

Le elaborazioni fotogrammetriche sono state realizzate mediante un software commerciale che consente la elaborazione delle immagini ottenute con diversi tipi di foto-camere ed è pertanto adatto sia al *remote sensing*, per il quale vengono utilizzate camere metriche, sia al *proximal sensing*, per il quale, come nel presente lavoro, si utilizzano anche foto-camere non metriche. La restituzione di ortofoto e mappe è stata realizzata anche mediante l'utilizzo di software GIS.

Elaborazioni

Le elaborazioni eseguite su coppie di fotogrammi sono state utilizzate per la costruzione di mosaici, sia in senso trasversale che longitudinale al corso d'acqua (Figura 3), al fine della restituzione del dtm e della produzione di ortofoto dell'area oggetto del rilievo.

Quanto segue illustra solo una parte delle possibili valutazioni che possono essere eseguite sui dati a disposizione ed è finalizzato, principalmente, alla identificazione delle condizioni di rilievo di campo più adatte ai fini del monitoraggio.

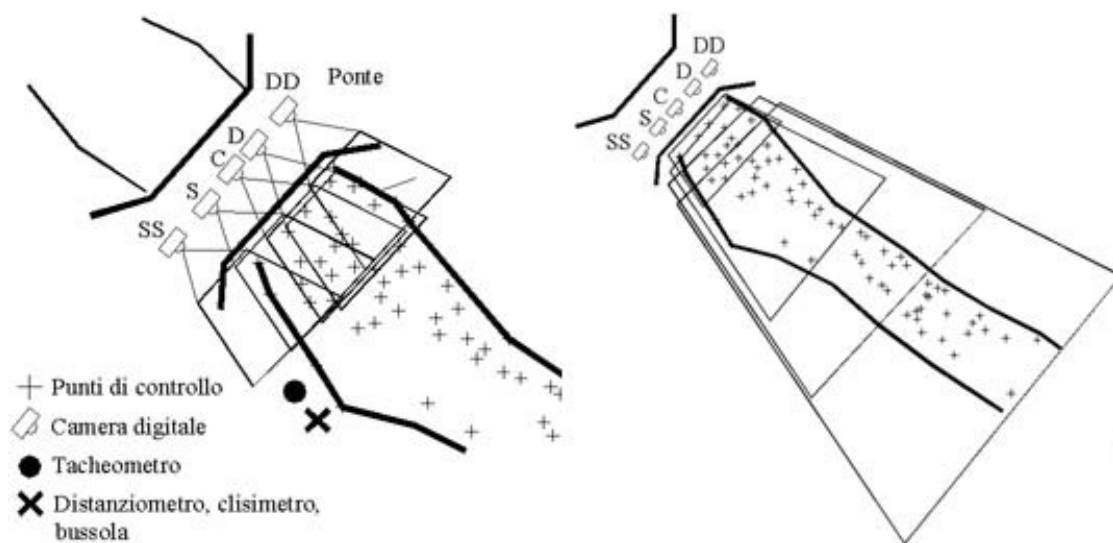


Figura 3: A sinistra: Schematizzazione planimetrica dei punti di presa scelti e della prima strisciata di fotogrammi; A destra: Schematizzazione dei mosaici ottenuti dai fotogrammi delle varie strisciate ad angolo zenitale costante.

Il confronto tra il rilievo dei punti di appoggio eseguito mediante distolaser, clisimetro e goniometro ed eseguito utilizzando il teodolite (sistema di riferimento assoluto del rilievo) ha mostrato una differenza media nella misura dell'angolo zenitale di circa 0.8° , con una deviazione standard di 0.31° . Si ritiene che una pratica adeguata nell'utilizzo del clisimetro permetta di ridurre in modo significativo l'errore sistematico. Nella misurazione dell'angolo azimutale la deviazione standard ottenuta è risultata di circa 0.6° . In Figura 4 è mostrato un tratto di una sezione trasversale del corso d'acqua ottenuta in seguito a restituzione fotogrammetrica dei fotogrammi SS, S da 14 m, prima strisciata, utilizzando, rispettivamente, il teodolite e il distolaser per il rilievo dei punti di appoggio. L'andamento della sezione *distolaser* evidenzia l'effetto dell'errore nella misura dell'angolo zenitale, che dipende linearmente dalla distanza.

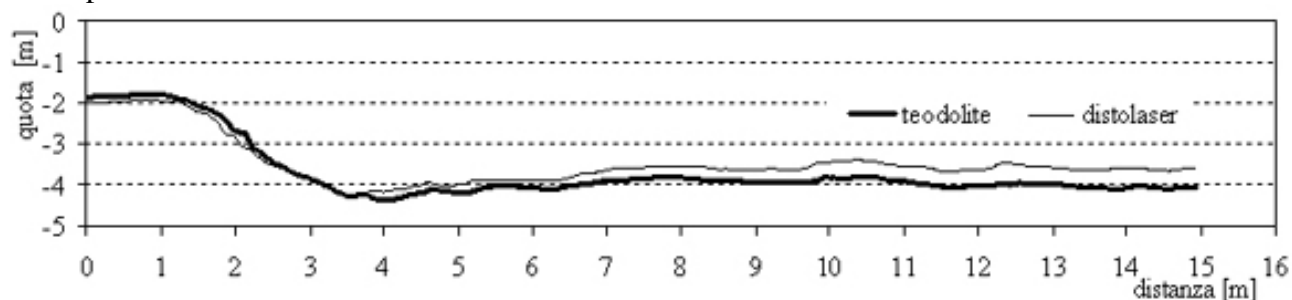


Figura 4: Confronto tra un tratto della sezione trasversale (in prossimità del teodolite in Figura 4, vista da monte verso valle) ottenuta in seguito alla restituzione fotogrammetrica dei fotogrammi SS e S da 14 m, prima strisciata, utilizzando i punti di appoggio rilevati con teodolite e con distolaser.

Le elaborazioni effettuate hanno permesso di rilevare forme di fondo anche di piccole dimensioni. In Figura 5 sono rappresentate due diverse forme di fondo rilevate in diverse posizioni in due successivi rilievi di campo. La prima forma di fondo (la cui rappresentazione in sinistra della Figura 5 è stata ottenuta da due fotogrammi rilevati il 12 novembre 2005 da una quota di 6 m e da 10 m nella immagine centrale), prodotta da un processo di erosione locale, ha una lunghezza di circa 3 m, una larghezza di circa 0.4 m e una profondità di circa 0.2 m. La forma di fondo illustrata a destra

(rilevata il 10 agosto 2006 da una quota di circa 14 m) mostra la parte estrema del lobo di una colata di detriti, ha una lunghezza di circa 4 m, una larghezza media di circa 1.5 m e una profondità media di circa 40 cm.

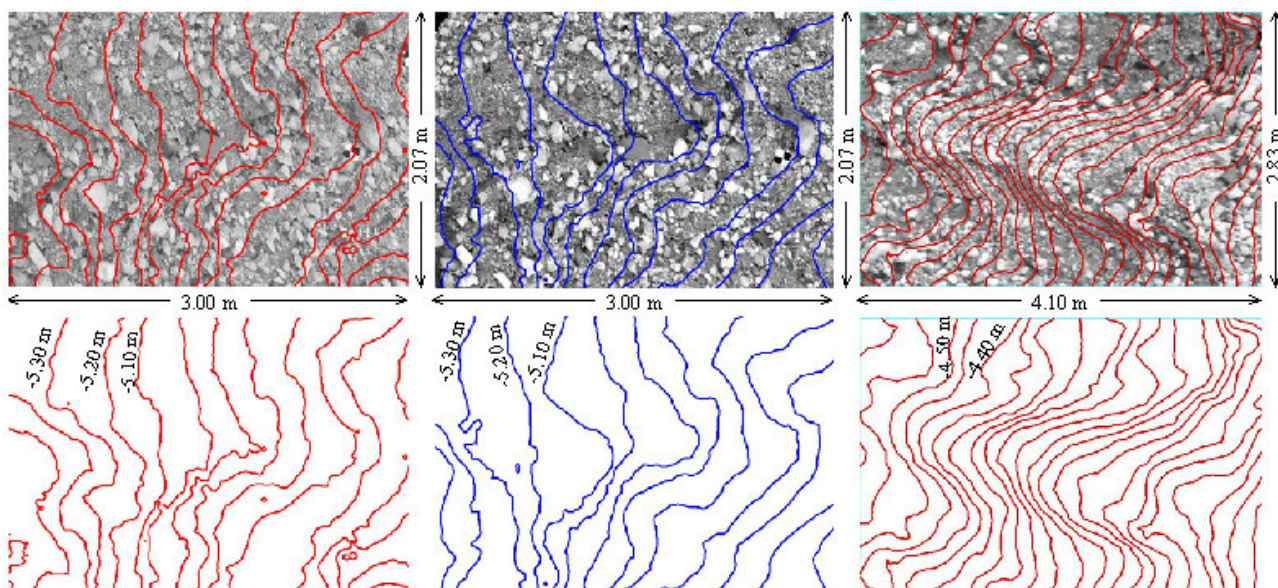


Figura 5: Nelle immagini di sinistra e in centro la stessa forma di fondo, rappresentata mediante ortofoto e andamento delle curve di livello, ottenuta da due fotogrammi rilevati da 6 m e 10 m (12 novembre 2005). A destra una forma di fondo ottenuta mediante due fotogrammi rilevati da 14 m (10 agosto 2006).

Il rilievo fotogrammetrico da terra ottenuto da una coppia di fotogrammi non permette, nel caso in esame, di rilevare l'intera larghezza del corso d'acqua. Il mosaico ottenuto da più coppie di fotogrammi permette di superare questa limitazione.

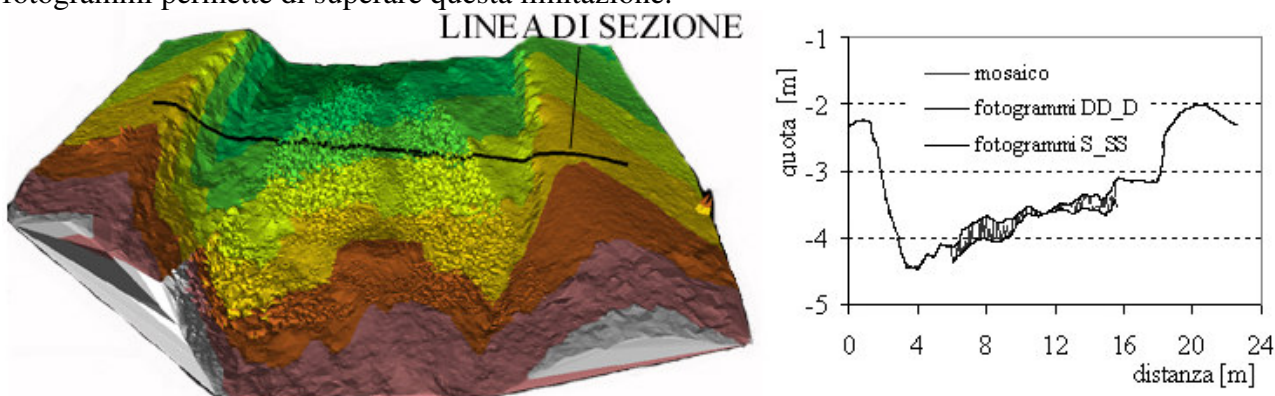


Figura 6: A sinistra la vista 3D da monte verso valle del TIN ottenuto dal mosaico delle restituzioni fotogrammetriche derivate da due coppie di fotogrammi (DD – D, S – SS, 14 m, prima strisciata). A destra l'andamento altimetrico lungo la linea di sezione indicata.

In Figura 6, a sinistra, è mostrata una vista 3D (da monte verso valle) del TIN ottenuto dal mosaico delle restituzioni fotogrammetriche derivate da due coppie di fotogrammi, DD – D e S – SS, della prima strisciata da 14 m (Figura 3). Nella stessa figura, a destra, viene mostrato l'andamento altimetrico del fondo del corso d'acqua lungo la linea di sezione ottenuta dal TIN del mosaico e dai TIN elaborati a partire dai due fotogrammi di destra e di sinistra. L'andamento dei tratti di sezione derivati dai TIN delle due coppie di fotogrammi tende a divergere, tanto più quanto più ci si allontana dal centro della zona di sovrapposizione (nel caso rappresentato le massime differenze sono dell'ordine di 0,3 m). Le immagini di Figura 6 mostrano come la procedura *mosaico* del software (*Erdas*) metta in chiara evidenza questa divergenza, dovuta verisimilmente ad una

descrizione non bene approssimata dei coefficienti di distorsione radiale dell'ottica utilizzata (questo aspetto abbisogna, evidentemente, di un adeguato approfondimento).

Considerazioni conclusive

I rilievi effettuati con tecniche fotogrammetriche da terra hanno mostrato come sia possibile ottenere informazioni di buona qualità mediante l'utilizzo di strumentazione dal costo limitato e dalla facile trasportabilità. Queste caratteristiche appaiono tanto più importanti quanto maggiore è la difficoltà di accesso ai siti da monitorare (zone di indagine in condizioni estive ed invernali a quote elevate e su pendenze elevate) e quanto maggiore è la frequenza del rilievo programmato.

Forme di fondo di piccole dimensioni sono rilevabili con grande dettaglio con riprese da 6 m e da 10 m, fino alla possibilità della descrizione della distribuzione granulometrica che, nelle situazioni topografiche indicate, è, in genere, grossolana. Le dimensioni del materiale d'alveo e la sua variabilità dimensionale è da ritenersi un parametro importante per la qualità del rilievo, così come le qualità di contrasto e visibilità della superficie ripresa sono esaltate dallo scatto durante l'ora blu.

Il rilievo di superfici ampie implica la necessità di punti di presa a quota maggiore e la composizione a mosaico delle restituzioni fotogrammetriche ottenute dalla elaborazione delle diverse coppie di fotogrammi. In questo ambito appaiono rilevanti i margini di miglioramento che possono essere ottenuti, da una parte, mediante una descrizione più accurata delle proprietà di distorsione dell'ottica della camera di presa e, dall'altra, dall'atteso incremento di definizione delle camere di presa (sono già disponibili, a costi contenuti, camere a 10 Megapixel). Alle attuali condizioni appare comunque possibile una adeguata descrizione della morfologia dell'alveo e della sua evoluzione per superfici abbastanza ampie (nel caso attuale dell'ordine di 30 m · 60 m).

Bibliografia

Chiocchetti F. (2005), "Analisi di campo e rilievo di tratti di corsi d'acqua a forte pendenza", Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Trento (Tesi di Laurea).

Erdas – Field Guide TM, Fifth Edition, Erdas®, Inc. Atlanta, Georgia.

Ferro V., Dalla Fontana G., Pagliara S., Puglisi S., Scotton P. (2004), "Opere di sistemazione idraulico – forestale a basso impatto ambientale", Mc Graw – Hill.

Scotton P., Chiocchetti F. (2006), "Rilievo di campo di tratti di corsi d'acqua a forte pendenza con tecniche fotogrammetriche da terra", Quaderni di Idronomia Montana, n. 26 (in stampa).

Scotton P., Lutterotti M. (2004), "Low environmental impact boulders structures for torrents restoration", 10° International Congress Interpretavent 2004, Riva del Garda (TN), May 24-27, Italy.

Vettorazzi M. (2006), "Rilievo fotogrammetrico da terra di tratti di corsi d'acqua a forte pendenza", Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Trento (Tesi di Laurea).

Ringraziamenti

Il lavoro è stato eseguito con fondi PRIN 2004 e con il sostegno del Servizio di Sistemazione Montana della Provincia di Trento. Un particolare ringraziamento va al *Parco Naturale - Paneveggio - Pale di San Martino*, nella persona del suo direttore dott. Ettore Sartori, che ha facilitato i rilievi di campo con il suo supporto logistico. Si ringrazia il personale del Laboratorio di Idraulica dell'Università di Trento, e in particolare i sig.ri Lorenzo Forti e Andrea Bampi, per l'adattamento della strumentazione di campo. Un ulteriore sentito ringraziamento al sig. Gianni Visioli per la disponibilità nella ideazione e realizzazione di alcuni accorgimenti tecnici e alla dott. Elena Guella per la collaborazione fornita nei rilievi di campo.