

Ricerca

Monitoraggio emergenze ambientali

Fabrizio Agnello
Mirco Cannella
Università di Palermo
Dipartimento di Architettura

e
Giuseppe Cavallaro
Gino Dardanelli
Università di Palermo
Dipartimento di Ingegneria
Civile, Ambientale,
Aerospaziale

IL LASER A SCANSIONE PUÒ INTEGRARE LE TECNOLOGIE TOPOGRAFICHE TRADIZIONALI E OTTENERE RAPPRESENTAZIONI CARTOGRAFICHE DEI DISSESTI IN TEMPI RAPIDI E FUNZIONALI ALLE TIPOLOGIE DI INTERVENTO (MANUTENZIONE, CONSOLIDAMENTO STRUTTURALE, PROTEZIONE CIVILE). IL CASO DELLA FRANA DI CARONIA (ME) E L'INTERFERENZA CON LA SP 168.

Tra i diversi sistemi utili al monitoraggio delle emergenze ambientali è possibile annoverare una tecnologia recentemente introdotta nel campo dei rilievi a scala territoriale: i sistemi a scansione *laser* 3D. I *laser scanning* 3D sono strumenti che consentono di ottenere una documentazione puntuale di porzioni di territorio in tempi molto rapidi e con notevole facilità operativa. La densità di informazioni che è possibile conseguire da un'acquisizione con uno strumento *laser* è tale da permettere una descrizione in continuo della geometria della porzione di ambiente rilevata (Crosilla e Dequal, 2006). In questa ottica è quindi possibile utilizzare i *laser scanner* 3D per monitorare le superfici e, con un confronto multitemporale, valutare anche il vettore spostamento in modo da investigare le variazioni geometriche della superficie del terreno, per calcolare le variazioni in elevazione ed i volumi.

La tecnica studiata prevede di calcolare il DEM (*Dense Elevation Model*) a partire dalla nuvola di punti 3D, ottenuta dalla mosaicatura delle singole scansioni necessarie a coprire l'area di interesse, dopo che questa è stata georeferenziata attraverso l'utilizzo del GPS (Villa et al., 2008). Il DEM ottenuto, rappresentativo della condizione orografica del terreno dopo l'evento franoso, è stato utilizzato per la produzione di diversi elaborati. Tra questi vi è la cartografia 1:2000 dell'area analizzata e sezioni del terreno in punti caratteristici, come ausilio per la progettazione di opere di messa in sicurezza della zona. Sono stati inoltre sviluppati degli elaborati che evidenziano le variazioni orografiche del territorio a seguito dell'evento franoso.

Il caso oggetto di studio si trova in un piccolo paese sui monti Nebrodi in Sicilia, Caronia (ME). Nel marzo 2010 un movimento franoso ha interessato le contrade di Castagnello e Ricchiò, estendendosi per un'area di circa 50 ettari, con un



1. Inquadramento geografico dell'area di studio

versante con pendenza media di circa 22°, che si sviluppa tra le quote 200 e 350 s.l.m. (fig. 1).

A seguito del fenomeno franoso sono stati danneggiati diversi edifici pubblici e privati, tra cui abitazioni e una scuola media, mentre parte della strada provinciale n. 168 è scivolata a valle repentinamente. Al momento della frana le autorità locali hanno disposto lo sgombero della zona, che ad oggi risulta essere ancora disabitata. Il Servizio Regionale della Protezione Civile ha previsto un piano di messa in sicurezza dell'area, per consentire a un gruppo di famiglie, i cui alloggi non hanno subito danni, di potere rientrare nelle proprie abitazioni; a tal fine è stata avviata una attività di monitoraggio di alcuni punti caratteristici dello smottamento (materializzati con delle piastre) per ottenere un quadro esauriente delle caratteristiche del movimento franoso. Dalle verifiche effettuate dalle autorità locali nei giorni immediatamente seguenti il verificarsi della frana è emersa una velocità media dello scivolamento pari a 6 cm all'ora.

La strumentazione utilizzata nel rilevamento e nell'inquadramento della rete globale della frana è composta da differenti strumenti topografici. Tutte le acquisizioni utili allo studio sono state effettuate con un *laser scanner ScanStation 2*, prodotto dalla *Leica Geosystem*, che utilizza per il rilevamento la tecnologia a "tempo di volo", con geometria di acquisizio-

ne di tipo sferico (vengono misurati un angolo verticale, un angolo orizzontale e una distanza). L'inquadramento dei *target* nella rete locale, necessario per la georeferenziazione e la mosaicatura delle scansioni, è stato eseguito con una stazione totale Leica, modello *TPS805*, mentre le coordinate assolute di alcuni vertici della rete topografica sono state determinate attraverso un rilievo GPS del tipo statico eseguito con ricevitori GNSS della Topcon, modello *Hiper+*.

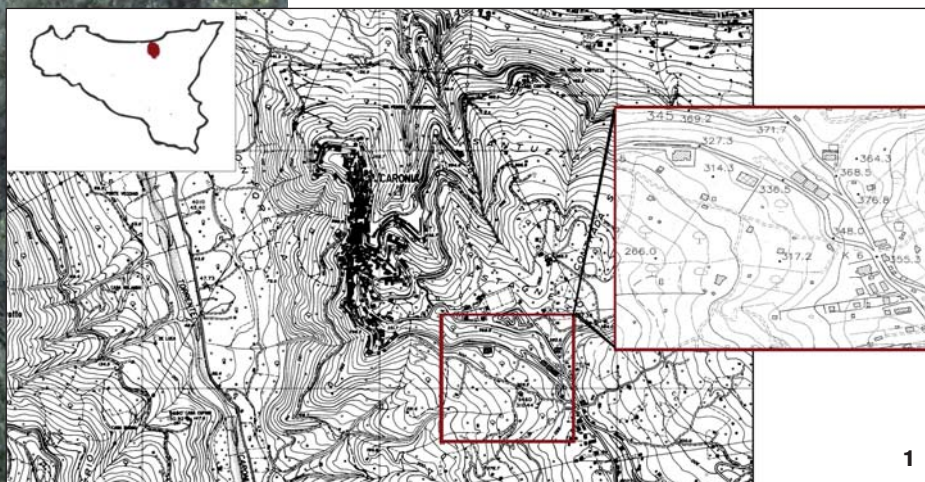
Progettazione dello schema delle scansioni e modalità del rilievo

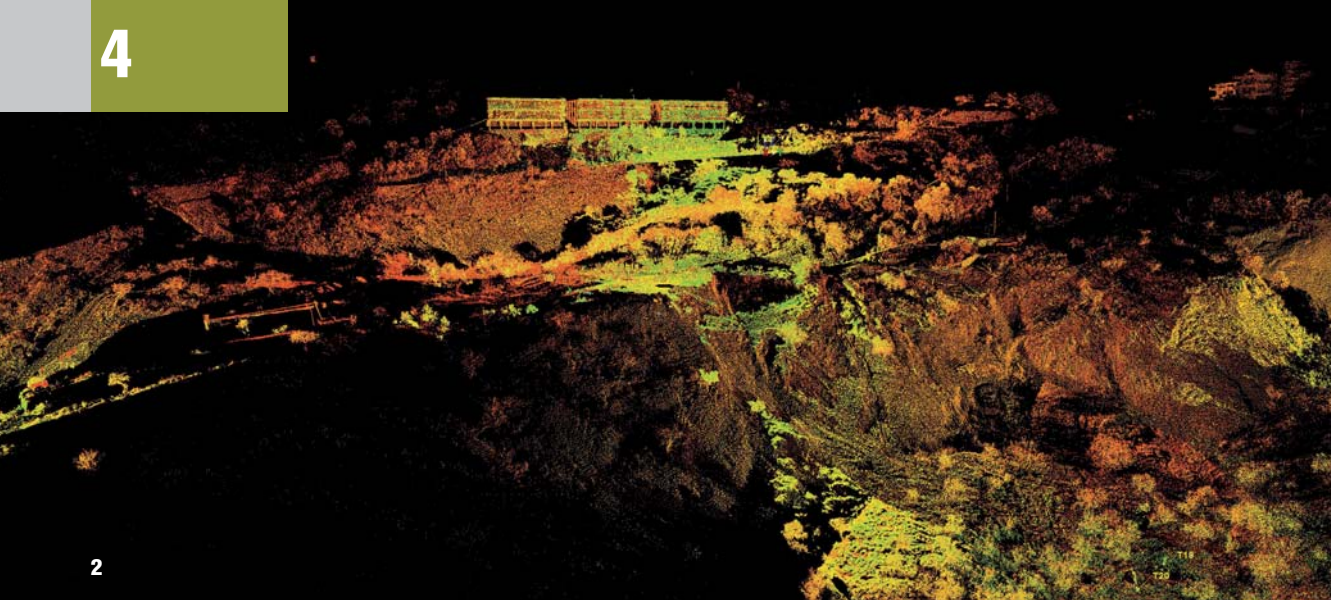
Come è noto in letteratura, la progettazione dello schema da adottare per le scansioni consiste nel definire il numero e la posizione dei punti di stazione dai quali acquisire i dati; lo schema deve tenere conto di una serie di fattori, tra cui le caratteristiche dimensionali e morfologiche della zona da rilevare e le specifiche tecniche dello strumento. Dal punto di vista operativo, viene realizzata tenendo conto del profilo orizzontale medio dell'area, grazie al quale è possibile distribuire le scansioni in modo da limitare al minimo le zone non visibili. Viene quindi formulata un'ipotesi distributiva delle scansioni, considerando il campo operativo di misura dello strumento (che varia in relazione alla riflettanza dei materiali) come limite e verificando che ai bordi della scansione la risoluzione lineare dell'acquisizione non sia inferiore a quella richiesta.

È da sottolineare che il fenomeno franoso ha profondamente alterato la morfologia del terreno, per cui il progetto preliminare delle scansioni ha dovuto subire delle modifiche dovute alla attuale morfologia del sito.

Le coordinate dei punti rilevati dallo *scanner laser* vengono riferite a un sistema di riferimento intrinseco allo strumento, che varia quindi per ogni scansione effettuata. Nel caso in cui la zona da rilevare ha dimensioni tali da richiedere più scansioni per l'intera copertura è necessario legare le scansioni al fine di avere una sola nuvola dei punti relativa a un unico sistema di riferimento.

Il metodo di georeferenziazione utilizzato è quello indiretto che consiste nel calcolare i parametri di rototraslazione attraverso la conoscenza delle coordinate di un numero sufficiente di *target* sia nei sistemi di riferimento intrinseci che nel sistema di riferimento assoluto. Per ogni scansione è necessaria la conoscenza delle coordinate di almeno 3 *target*, ma





2

è buona norma che ne vengano determinati almeno 4-5 (Alba et al., 2005). La procedura di acquisizione del *laser scanner* può essere articolata in tre momenti: ripresa fotografica (utile per selezionare la zona che si vuole rilevare, riducendo il campo alle sole zone d'interesse), misurazione dei *target* (per eseguire l'orientamento delle scansioni), acquisizione della nuvola (secondo una risoluzione definita dall'operatore).

Lo *scanner* inizia l'acquisizione vera e propria, rilevando i punti lungo una verticale e ruotando con piccoli incrementi angolari procede al rilevamento di tutta la zona. Attraverso il *software* di gestione dei dati acquisiti (Cyclone 7.0) è possibile visualizzare in tempo reale la progressione della scansione, sovrapposta alle immagini fotografiche.

La materializzazione dei punti di appoggio (*target*) costituisce un importante aspetto operativo.

Il sistema impiegato consiste nell'utilizzare *target* retro-riflettenti che vengono identificati e misurati; il *software* di gestione della scansione provvede quindi in modo automatico al calcolo delle coordinate locali dei punti baricentrici di ciascun *target*. Questa soluzione consente di velocizzare e semplificare le operazioni di registrazione e georeferenziazione. La determinazione delle coordinate assolute dei punti baricentrici dei *target* viene eseguita con metodi topografici, attraverso la realizzazione di una rete di inquadramento e il successivo rilievo di dettaglio dei *target* stessi. Nel caso in oggetto è stata creata una rete di inquadramento costituita da otto vertici materializzati con chiodi topografici. Da tali vertici sono stati collimati i *target* relativi alle singole stazioni, in un sistema di riferimento locale. La campagna di rilievo è stata svolta nel mese di ottobre 2010, eseguendo complessivamente quattro scansioni.

Al fine di determinare le coordinate dei vertici nei sistemi di riferimento assoluti (WGS84 e Gauss-Boaga) si è proceduto al rilevamento di alcuni vertici della rete attraverso la tecnica GPS in modalità statica, derivandoli dalla stazione permanente GNSS di Acquedolci (ME), che fa parte della rete GNSS di stazioni permanenti della Geotop di Ancona.

Elaborazione dei dati

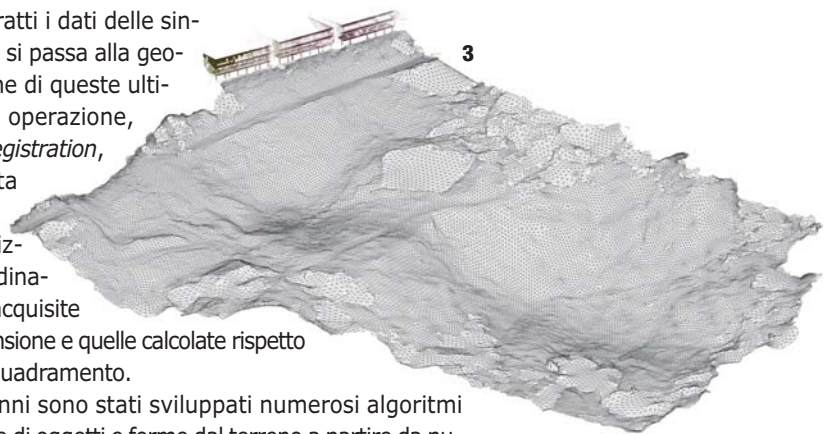
Il trattamento dei dati del *laser scanner* è l'insieme delle operazioni necessarie per ottenere, a partire da una o più nuvole di punti acquisite, un prodotto finale che possa essere utile all'utente per l'estrazione di informazioni specifiche.

Una volta estratti i dati delle singole scansioni si passa alla georeferenziazione di queste ultime: questa operazione, denominata *registrazione*, viene eseguita con il *software* Cyclone utilizzando le coordinate dei *target* acquisite durante la scansione e quelle calcolate rispetto alla rete di inquadramento.

Negli ultimi anni sono stati sviluppati numerosi algoritmi per l'estrazione di oggetti e forme dal terreno a partire da nuvole di punti rilevati con *laser scanner*. Tali algoritmi si dimostrano molto validi in terreni morfologicamente semplici ma presentano numerosi problemi in terreni con fitta vegetazione. Nel nostro caso studio, in considerazione della limitata area da trattare si è deciso di procedere manualmente al filtraggio degli elementi estranei alla superficie di interesse. La procedura seguita prevede di analizzare il modello considerando di volta in volta delle strisce di terreno dalle quali è possibile eliminare i punti appartenenti che si discostano dall'andamento del pendio (vegetazione, impianti di illuminazione). Dopo questa fase preliminare si è passati alla costruzione della *mesh*, attraverso un metodo iterativo che genera superfici TIN (*Triangulated Irregular Network*) progressivamente più fitte fino a raggiungere il livello di dettaglio desiderato. La *mesh* ottenuta presenta diverse discontinuità dovute sia alla eliminazione della vegetazione, sia alla presenza di eventuali zone d'ombra nelle nuvole di punti.

La soluzione adottata per l'ottimizzazione della *mesh* ha previsto la creazione di una superficie modellata con il *software Autodesk Maya 2010*. La superficie è stata inserita in un *software* dedicato alla gestione dei dati *laser scanner* (*Rapidform XOS*) sottoponendola a un processo di "fit", che la adatta alla *mesh* iniziale; tale procedura permette di eliminare le discontinuità presenti (fig. 3).

Ai grandi vantaggi offerti dal sistema di rilievo *laser scanner* si contrappongono tuttavia inevitabili difetti dovuti alla completa automaticità del rilevamento, che richiede un necessario controllo e correzione dei dati nella fase di *post* processamento.



2. Risultato della registrazione delle scansioni

3. Modello di superficie del terreno

Riferimenti bibliografici

V. Barrile, G. M. Meduri (2008): "Impiego della tecnologia *laser scanner* per monitoraggio e controlli territoriali". Atti del Convegno Nazionale SIFET, Giugno 2008, Sorrento

S. D'Amelio, D. Emmolo, G. Navarra, P. Orlando, B. Villa (2008): "Tecniche integrate ed interdisciplinari per il monitoraggio strutturale". Atti del Convegno Nazionale SIFET, Giugno 2008, Sorrento

F. Crosilla, S. Dequal (2006): "Laser Scanning Terrestre". International Centre for Mechanical Sciences. Collana di Geodesia e Cartografia. CISM Udine, Italia

M. Alba, A. Giussani, F. Roncoroni, M. Scaioni (2005): "Analisi delle precisioni ottenibili nella determinazione di punti con Laser Scanning terrestre utilizzando la georeferenziazione diretta". Atti del Convegno Nazionale SIFET, Giugno 2005, Palermo

Biasion, L. Bornaz, F. Rinaudo (2005): "Applicazioni ambientali delle tecniche Laser Scanner Terrestri". Atti del Convegno Nazionale SIFET, Giugno 2005, Palermo

4. Curve di livello ottenute dal modello

Analisi dei risultati ottenuti

È utile, preliminarmente ricordare che ogni emergenza ambientale determina un'alterazione dell'assetto morfologico della zona interessata e, nei casi in cui le variazioni sono di grande entità, perdono di significato le cartografie già esistenti. Nel caso della frana di Caronia (ME) sono stati registrati cedimenti del terreno che hanno portato a spostamenti degli edifici dell'ordine di 30 metri altimetricamente e fino a 100 metri planimetricamente. La strada SP 168 ha subito un collasso strutturale e tutta la viabilità principale è stata compromessa dall'evento franoso; le strade private di accesso alle singole abitazioni, appartenenti alla viabilità secondaria, sono state invece completamente distrutte, tanto da richiedere la creazione di vie d'accesso provvisorie per le operazioni di emergenza.

Una volta costruito il DEM della zona, è possibile creare diversi elaborati (Biason et al., 2005): il DEM orienta-

to rispetto al sistema di riferimento Gauss-Boaga; un piano a curve di livello in scala 1:2000 (Barrile e Meduri, 2008); sezioni trasversali del terreno, in scala opportuna (figg. 4, 5). In particolare sono state realizzate alcune sezioni del terreno sia in corrispondenza degli edifici "gemelli" a monte della frana che in prossimità del percorso stradale della SP 168 (fig. 6).

I risultati ottenuti (planimetrie, piani a curve di livello, sezioni) rappresentano un valido strumento tecnico da potere utilizzare per la realizzazione di opere di messa in sicurezza della zona per programmare la riapertura di tutte le infrastrutture viarie interessate dall'evento franoso e per mettere in sicurezza quegli edifici che, pur non avendo subito danni, si trovano in una condizione di rischio.

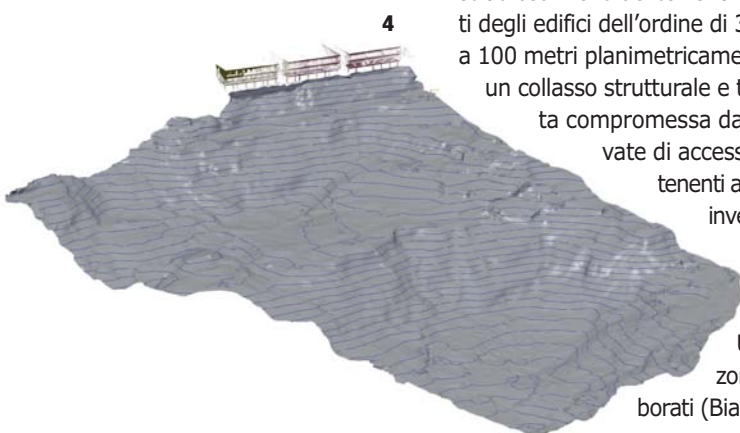
Conclusioni

Lo studio condotto ha permesso di testare le potenzialità del sistema *laser scanning* 3D per l'analisi delle variazioni morfologiche dell'area interessata dal fenomeno franoso. Grazie all'integrazione con il rilievo GPS è stato possibile effettuare un'analisi generale del fenomeno nei sistemi di riferimento assoluti. I vantaggi riscontrati sono notevoli, in quanto da tale rilievo è possibile determinare, in tempi ridotti e con precisioni centimetriche, informazioni dettagliate di zone fortemente dissestate e quindi difficilmente rilevabili con metodi tradizionali. La fase di post-elaborazione ha comportato un significativo dispendio di tempo per la necessaria "ripulitura" dei dati.

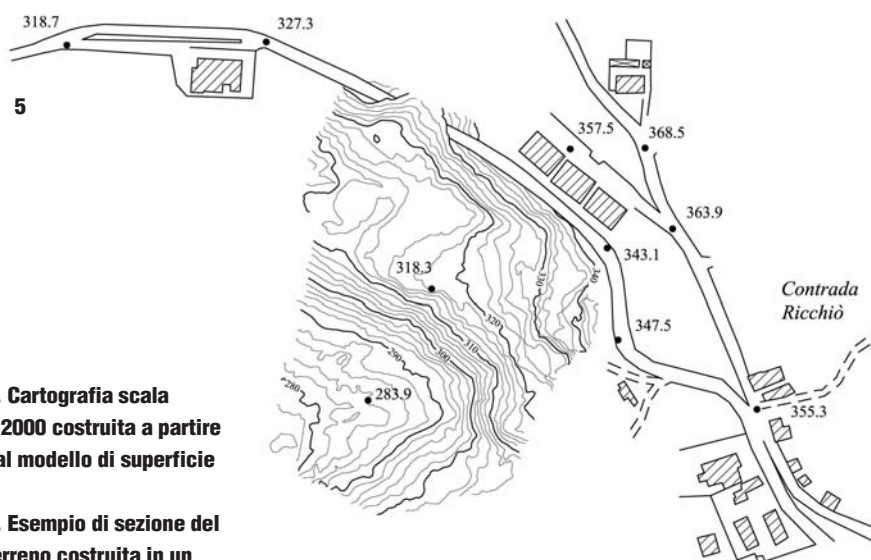
La strumentazione utilizzata ha una portata nominale di circa 300 metri, che si riduce a circa 150 metri a causa dei valori di riflettanza del terreno; ciò rende necessaria l'esecuzione di scansioni da diversi punti, al fine di poter acquisire un dato significativo. Sono oggi presenti in commercio strumenti *laser scanner* in grado di raggiungere portate fino a 2 km, che facilitano la fase di acquisizione e permettono di rilevare zone dissestate in condizioni di maggiore sicurezza.

Con la costruzione del DEM del versante si ha la possibilità di ottenere agevolmente diversi tipi di informazioni: posizione 3D e misure tridimensionali di qualunque punto presente nel modello ed estrazione di profili longitudinali e sezioni trasversali. Tutti questi prodotti rappresentano un efficace strumento da potere utilizzare per la realizzazione di tutte le attività ingegneristiche necessarie a ripristinare lo stato dei luoghi coinvolti nell'emergenza ambientale. Tuttavia, una limitazione alla completezza dei dati rilevati durante l'acquisizione è dovuta alla presenza della vegetazione, che in alcuni punti del versante ha comportato dei vuoti nelle nuvole acquisite; in queste zone sarà necessario integrare i rilievi con strumentazione tradizionale o GPS in modalità RTK. ■

Gli autori desiderano ringraziare il dott. Giuseppe Basile e l'ing. Bruno Manfrè del Servizio Regionale per la Protezione Civile per avere concesso l'accesso alle aree interessate dal fenomeno franoso; i colleghi della società Officina per le Arti Opera Srl, per la collaborazione ai rilievi; Giuseppe Cuffari per l'assistenza ai sopralluoghi in sito e per la cortese ospitalità. Gli autori si augurano che il rilievo eseguito possa essere un utile contributo ad accelerare i tempi per l'esecuzione delle opere di consolidamento, premessa necessaria al rientro nelle proprie abitazioni e al ripristino delle condizioni di vita drammaticamente compromesse dall'evento franoso.



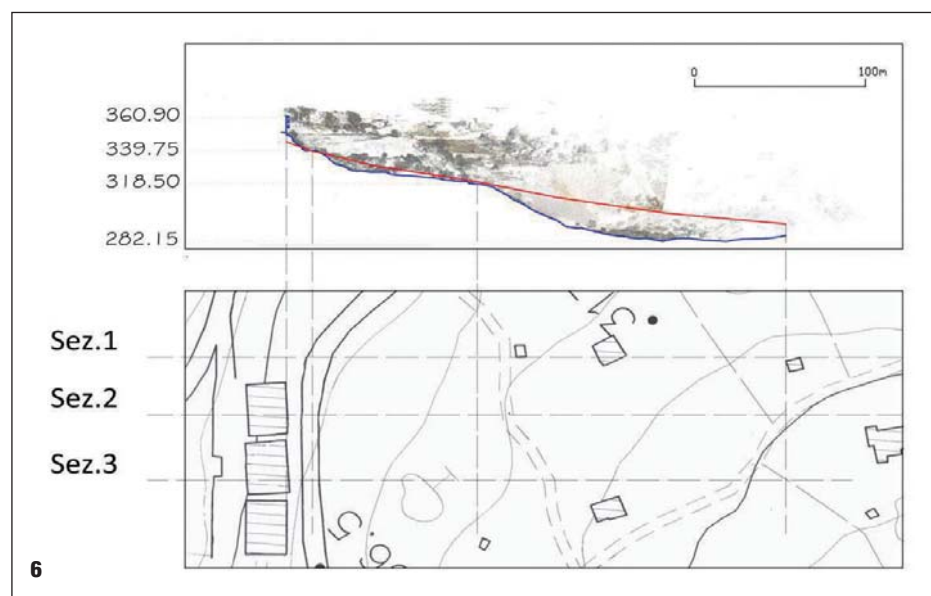
4



5

5. Cartografia scala 1:2000 costruita a partire dal modello di superficie

6. Esempio di sezione del terreno costruita in un particolare punto



6