

# **L'IMPIEGO DEL LIDAR NELLO STUDIO DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA DI FRANE E CORSI D'ACQUA**

A cura di Giorgio Lollino, Daniele Giordan

## **INTRODUZIONE**

La disponibilità di strumentazioni per il rilevamento su vaste aree come il LIDAR offre, forse per la prima volta, la possibilità di realizzare modelli Digitali del Terreno (DTM) di ampie porzioni di territorio. Nel campo dello studio delle problematiche connesse al dissesto geo-idrologico questo trova ovviamente numerose applicazioni sia nei confronti dei fenomeni franosi che dei corsi d'acqua.

Per quanto riguarda i fenomeni franosi, l'uso del laser scanner va ad aggiungersi ad altre strumentazioni già comunemente utilizzate, ampliando così le possibilità di scelta in funzione anche della tipologia del fenomeno e del risultato da raggiungere. Nel caso invece dei corsi d'acqua, la loro elevata complessità morfologica e la necessità di rilevare anche le porzioni sommerse, rende tale contesto particolarmente complesso. L'uso esclusivo del LIDAR non è infatti spesso sufficiente per ottenere un DTM completo e devono quindi essere ad esso abbinati altri sistemi di rilevamento delle porzioni sommerse. Come per tutte le strumentazioni relativamente recenti, anche in questo caso non esistono ancora delle modalità di rilevamento standard; esiste dunque forse la necessità, a fronte di progetti di ampia portata, di provare a valutare se esistano delle possibili combinazioni di più metodi di rilevamento che si adattino alle differenti situazioni riscontrabili alla scala, per esempio, del bacino Padano. L'esperienza condotta dal CNR IRPI sede di Torino in tale ambito ha permesso sin ora di riconoscere una possibile relazione tra tipologia di corso d'acqua e modalità di rilevamento. Tale ipotesi, ancora sperimentale, è comunque il frutto di un'esperienza pluriennale nel campo del rilevamento dei corsi d'acqua con tali tecniche, ma anche dell'impiego di tale tipologia di dati.

Indipendentemente dalle modalità operative utilizzate per la generazione del DTM, sono comunque possibili diversi suoi utilizzi: dalle più semplici come l'estrazione di sezioni topografiche alle più complesse, che prevedono la comparazione di modelli digitali realizzati in tempi diversi per lo studio e la quantificazione delle variazioni occorse. Una delle principali potenzialità di tale fonte di dati consiste infatti nella possibilità di ottenere delle valutazioni estremamente precise delle variazioni topografiche risultanti comparando due rilevamenti successivi. Per raggiungere tale obiettivo non è tuttavia possibile affidarsi esclusivamente a procedure informatiche precostituite, ma è necessario creare una metodologia di gestione e trattamento dei dati che presuppone

specifiche conoscenze sia in campo topografico che geomorfologico. e Il processo di comparazione proposto è infatti un percorso basato su una serie di tappe alle quali seguono necessariamente un controllo ed una validazione su basi geomorfologiche attraverso l'impiego di ortofoto digitali rilevate contestualmente al volo LIDAR.

I risultati sin ora raggiunti sia sui corsi d'acqua che sui fenomeni franosi sembrano essere particolarmente incoraggianti, e necessitano di una ulteriore fase di sperimentazione finalizzata soprattutto alla definizione di procedure standardizzate per l'acquisizione ed il trattamento dati in modo da creare delle routine di riferimento che rendano compatibili i dati prodotti da differenti gruppi di lavoro.

## FENOMENI FRANOSI

Le aree soggette a dissesto di tipo gravitativo studiate dal CNR IRPI sede di Torino con il LIDAR sono diverse, così come sono diverse le metodologie di rilevamento utilizzate in funzione dell'assetto morfologico dei singoli fenomeni.

Nel caso della **frana in località San Francesco (Comune di Radicofani, SI)** è stata utilizzato un sistema integrato fatto di LIADR terrestre, GPS e stazione totale per la generazione di rilevamenti seriatati dell'area di studio.

La scelta del LIDAR non è casuale, ma è dettata dalla necessità di avere uno strumento in grado di rilevare a distanza un fenomeno franoso (complesso, con un iniziale movimento di tipo traslativo che evolve successivamente in colata) che interessa depositi pelitici. L'impossibilità di installare all'interno del corpo frana alcunché rende infatti estremamente difficile l'utilizzo di altre tipologie di strumentazioni.

Nell'ottobre 2004, nel giugno 2005, nel maggio 2006 e nel maggio 2007 sono stati eseguiti una serie di rilevamenti della frana in località S. Francesco mediante l'utilizzo di sensori LIDAR terrestri.

Questi strumenti consentono l'acquisizione, mediante un sensore laser di tipo distanziometrico, di decine di migliaia di punti, ciascuno dei quali è univocamente identificato da una propria terna di coordinate (sferiche) dedotte a partire dalla misura di due angoli (azimutale e zenitale) e da una distanza (inclinata). Con tale tecnica è quindi possibile definire a priori un'area da acquisire e la densità di punti di acquisizione, che serviranno a descrivere l'oggetto ripreso con un grado di dettaglio che è funzione dei parametri precedentemente illustrati e della distanza relativa dallo strumento.

Il risultato finale è costituito da una "nuvola di punti" rappresentante l'oggetto ripreso.

Gli strumenti utilizzati per la realizzazione delle scansioni sono dei laser scanner entrambi equipaggiati con fotocamere digitali semimetliche. La presenza di tale fotocamera consente, oltre alla produzione di ortofoto digitali terrestri, anche l'associazione al singolo impulso laser del

corrispettivo valore RGB; in questo modo è possibile estrapolare un modello digitale a colori (colored pointcloud) utile per una migliore analisi del DSM (Digital Surface Model) e per l'interpretazione geomorfologia dell'oggetto ripreso. Prima di procedere alla comparazione temporale tra più rilevamenti, è però necessario ricondurre ciascuna campagna di misura in un sistema di riferimento esterno e comune a tutte le scansioni. Tale operazione viene condotta inquadrando con tecniche di posizionamento GPS di precisione ciascuna campagna. Una volta stabilito il sistema di riferimento da adottare ed i criteri di generazione dei singoli DTM (Digital Terrain Model) è possibile procedere al loro confronto per valutare quantitativamente) l'evoluzione del dissesto.



Fig. 1 laser scanner terrestre e vista del fenomeno franoso. Sullo sfondo si vede il M. Amiata.

### **Modalità di rilevamento**

La necessità di disporre di più set di misure temporalmente spaziate, nonché di inquadrare geodeticamente l'intero rilevamento, ha imposto l'adozione di particolari tecniche di misura e posizionamento costituite da rilevamenti preliminari sia di tipo ottico che di tipo geodetico satellitare, in grado di garantire le massime condizioni di ripetibilità tra i vari rilevamenti.

Per ottenere un DTM completo di una superficie complessa (come lo è ad esempio un fenomeno franoso) è infatti necessario utilizzare la tecnica di multipresa, basata sulla realizzazione di scansioni da posizioni diverse, scelte strategicamente in modo da eliminare i coni d'ombra generati dalle irregolarità dell'oggetto ed ottenere quindi una nuvola di punti continua.

## Analisi dei dati ottenuti

I risultati ottenuti sono visibili nelle figure 2 e 3; in particolare, confrontando il rilevamento del 2004 e quello del 2005 (fig. 2) è possibile notare uno smembramento dei due principali elementi che componevano la parte sommitale dell'accumulo (1) ed una progressiva migrazione verso valle, particolarmente evidente attraverso il confronto successivo tra 2005 e 2006 (2). Per quanto riguarda invece il piede della frana è possibile apprezzare un progressivo aumento del grado di incisione del canale (3) posto alla base del versante, attraverso il quale transitano le colate responsabili dell'asportazione di parte dell'accumulo (4) che si originano nel settore sovrastante. Dal confronto 2005 - 2006 emerge inoltre un'elevata attività del fenomeno della zona di testata che ha portato alla quasi oblitterazione di una serie di micro rilievi (5) posti nei pressi della nicchia di distacco ed anche un marcato arretramento della nicchia di distacco ai danni della strada sovrastante (6). Dall'ultimo confronto (2006-2007) appare invece assai evidente come il fenomeno abbia subito una forte battuta d'arresto, dettata molto probabilmente anche dalle piogge, meno intense in quest'ultimo periodo; la frana appare quindi in uno stato di pseudo-quiescenza, i cui unici movimenti riguardano il settore sommitale, già tra i più attivi negli anni precedenti (2), e il settore al piede della frana, dal quale si attivano i fenomeni di colata (7); la diminuzione del grado di attività è poi anche apprezzabile sul terreno grazie alla crescente copertura vegetale che interessa la zona prima in movimento.

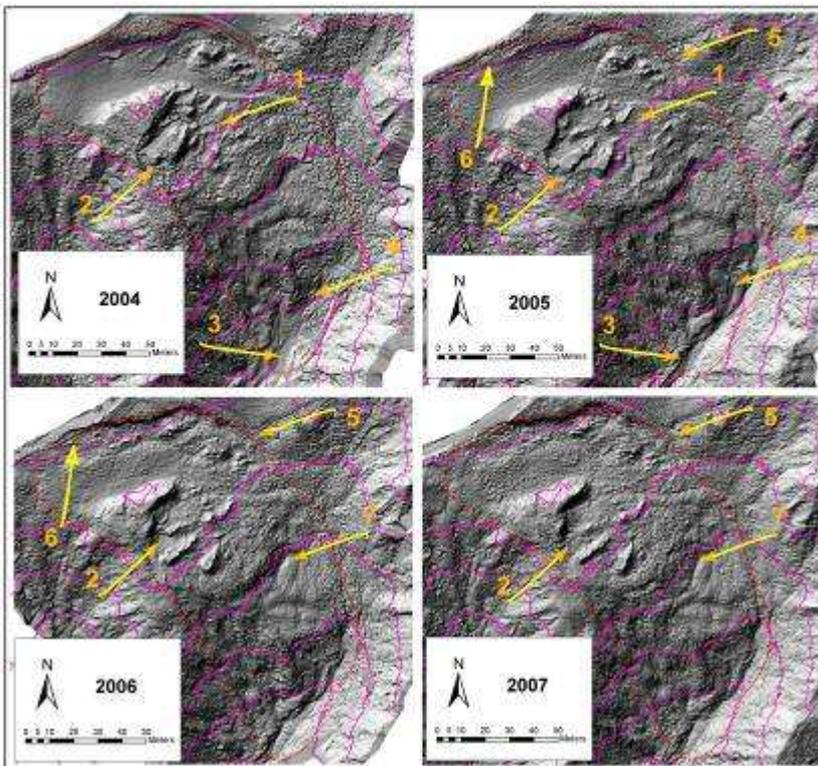


Fig. 2 confronto tra le hillsahde map realizzate a partire dai vari rilevamenti eseguiti; questa modalità di visualizzazione si è dimostrata molto efficace per l'analisi qualitativa delle variazioni principali morfologiche dell'area in frana

La seconda elaborazione (fig. 2) è invece finalizzata alla generazione di grigliati a maglia regolare tematizzati in base alla quota media del singolo elemento della griglia (10 x 10 cm); una volta realizzati è possibile, attraverso una loro combinazione spaziale, ottenere un'ulteriore categoria di grigliati tematizzati in funzione della differenza di quota dei singoli elementi della griglia. In questo modo è possibile ottenere delle elaborazioni in grado di visualizzare le variazioni altimetriche di ogni singolo elemento quadrato di 10 cm di lato in cui è stata scomposta la superficie topografica

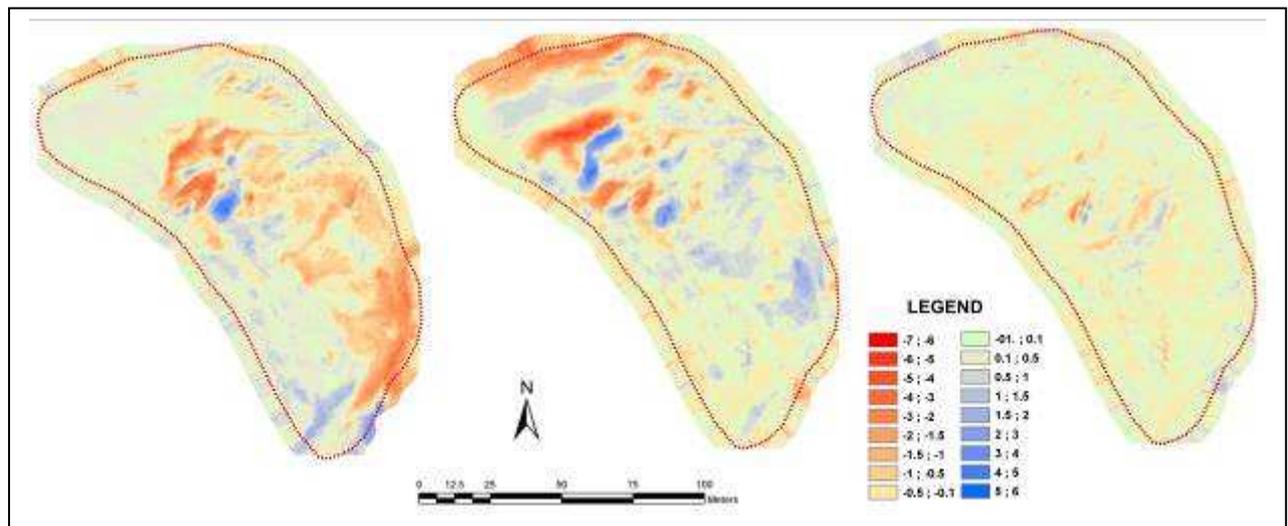


Fig. 3 grigliati a maglia regolare derivanti dal confronto tra coppie di DTM (valori espressi in metri); da sinistra a destra: confronto 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007.

L'impiego di questa tipologia di elaborazione è utile non tanto per individuare le variazioni planimetriche che caratterizzano la parte alta del fenomeno e che sono ben riconoscibili da un'analisi morfologica, quanto per riuscire a riconoscere i settori maggiormente soggetti a variazioni altimetriche, a volte non così apprezzabili da un punto di vista morfologico. Si tratta quindi di una prima elaborazione di tipo quantitativo, finalizzata alla misurazione delle differenze della superficie topografica, occorse nel periodo compreso tra i due rilevamenti successivi e legati all'attività del fenomeno franoso.

La validazione dell'ipotesi circa l'evoluzione in colata da parte dell'accumulo del fenomeno franoso e di una sua conseguente riduzione di spessore è stata possibile proprio grazie a questa tipologia di comparazione, dalla quale è nettamente visibile il trend negativo presente al piede dell'accumulo di frana.

Il processo quantitativo di comparazione dei vari DTMs si conclude attraverso la terza fase della procedura, che prevede anche un bilancio volumetrico delle variazioni avvenute.

2004-2005	1.357 m <sup>3</sup>
2005-2006	368 m <sup>3</sup>
2006-2007	451 m <sup>3</sup>

Anche il dato numerico supporta la tesi sin ora sostenuta: dopo un'iniziale forte attività caratterizzata anche da variazioni volumetriche importanti, il fenomeno ha subito un rallentamento, stabilizzandosi su valori simili nei confronti 2005-2006 e 2006-2007. In particolare, il valore del 2005-2006 appare essere il più basso, a fronte di notevoli variazioni sia planimetriche che altimetriche; va tuttavia sottolineato come proprio in tale periodo la zona di nicchia della frana abbia subito un evidente arretramento che ha provocato una traslazione verso la zona in frana di materiale argilloso precedentemente non coinvolto dal movimento franoso. La variazione negativa appare dunque più bassa verosimilmente proprio a causa di questo nuovo apporto di materiale dall'esterno. Dall'analisi congiunta tra le varie tipologie di dati appare inoltre evidente come la fase traslativa del fenomeno sia al momento superata e come invece si continuano a verificare fenomeni localizzati di smantellamento del settore basale dell'accumulo.

Nel caso della frana di **San Martino sulla Marrucina (CH)** l'obiettivo da perseguire era, tra gli altri, anche quello di valutare il movimento pregresso, compreso cioè tra l'attivazione della frana e l'esecuzione di un rilevamento LIDAR aereo. In questo caso la comparazione dei DTM è stata possibile abbinando il DTM proveniente dal dato LIDAR ad uno creato da un processo di fotorestituzione di un volo del 1965. È chiaro che in questo caso la risoluzione del DTM del 1965 è decisamente bassa, ma l'entità (che supera anche i 20 metri nella zona di nicchia) dei movimenti è tale da permettere comunque un'operazione di questo genere. Il risultato è visibile nell'immagine 4 dove sono stati evidenziati i tassi di spostamento verticale con un grigliato a maglia di 5 metri.

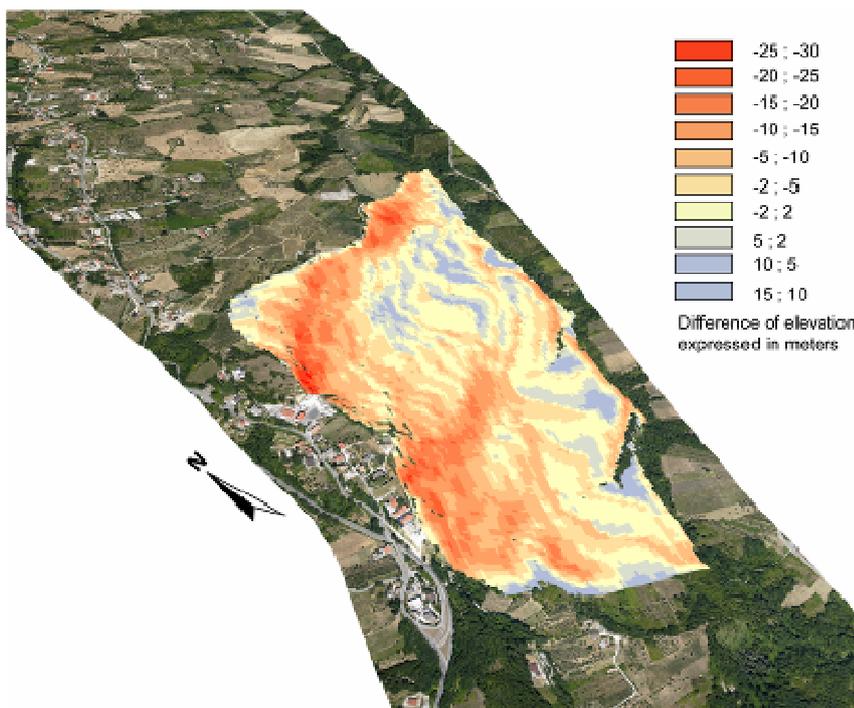


Fig 4 analisi delle deformazioni legate all'evoluzione del fenomeno mediante comparazione di DTM

Nel caso del **Progetto INTERFRASI** ((INTerferometria statica e dinamica integrate da laser imaging 3D e da altre tecnologie innovative per la diagnostica di manufatti architettonici in aree in FRANA o soggette ad eventi Sismici) che ha preso in considerazione lo studio della **Cittadella INCA di Machu Picchu**, il CNR IRPI Sede di Torino ha affiancato alla creazione di una rete GPS geodetica di misura degli eventuali spostamenti dell'area, anche un rilevamento laser scanner dei principali manufatti e delle loro deformazioni. Lo scopo in questo caso era quello di eseguire un rilevamento di riferimento in grado di essere successivamente confrontato con delle future campagne di rilevamento finalizzate al riconoscimento di eventuali ulteriori deformazioni (fig. 5 - 6).



Fig. 4 rilievo con laser scanner terrestre del Tempio Principale della Cittadella Inca di Machu Picchu Perù eseguito dal CNR IRPI di Torino nell'ambito del Progetto INTERFRASI.

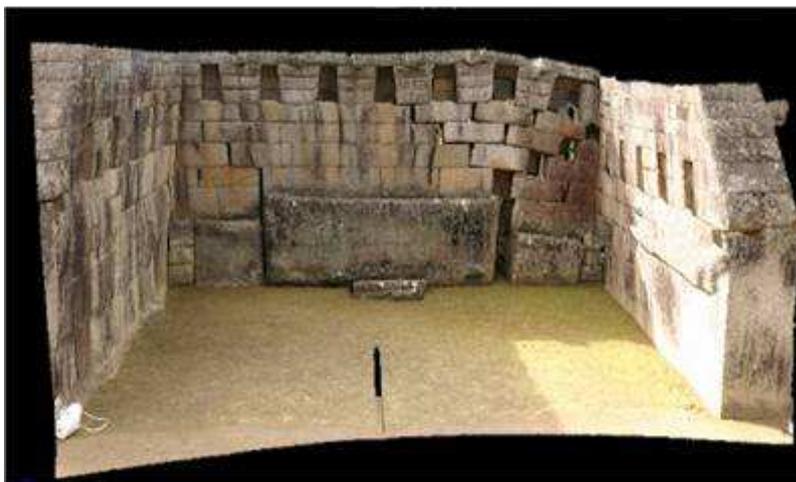


Fig 5 risultato ottenuto dal rilievo laser scanner abbinato al dato RGB proveniente dalla fotocamera semimetrica abbinata.

Il LIDAR è poi stato impiegato anche in fenomeni di instabilità legati ad attività antropiche; il caso studiato riguarda infatti i **fenomeni franosi presenti lungo i fianchi di una miniera a cielo aperto in Sardegna**. In questo caso il sistema di monitoraggio (*in near real time*) è basato principalmente sull'impiego di una stazione totale robotizzata a controllo remoto. Ad essa sono abbinati anche dei tubi inclinometrici e piezometrici per il controllo dell'evoluzione profonda dei fenomeni di instabilità.

Il laser scanner terrestre è stato utilizzato per ottenere un DTM ad alta risoluzione (maglia del rilievo inferiore ai 50 cm) dell'intera miniera da utilizzare anche per l'estrazione di profili topografici necessari per l'esecuzione di modelli numerici per le verifiche di stabilità. Tale rilevamento costituisce inoltre anche un modello di riferimento da confrontare con eventuali ulteriori rilevamenti.

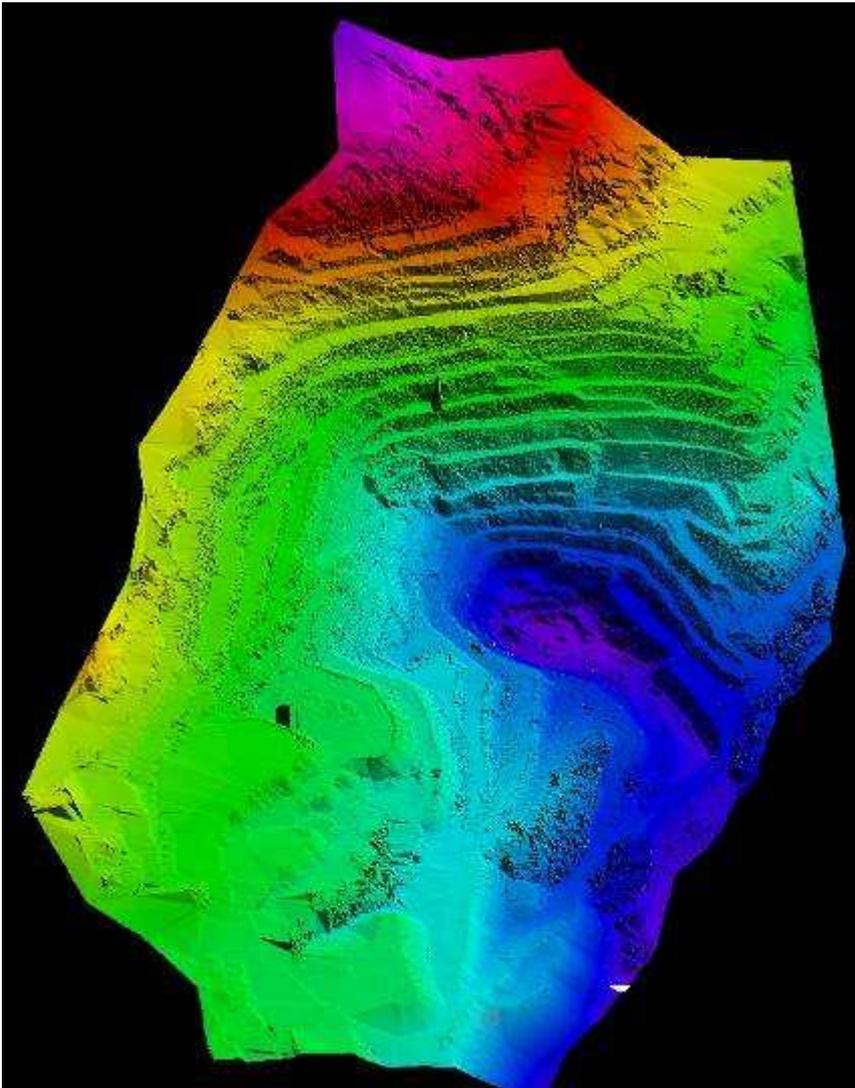


Fig. 6 DTM della miniera a cielo aperto

## **CORSI D'ACQUA**

Nel caso di corsi d'acqua le attività di ricerca dei progetti condotti dal CNR IRPI di Torino sono state rivolte sia ad uno studio dell'evoluzione storica tramite la realizzazione di un sistema informativo delle differenti basi cartografiche ed informazioni dedotte da riprese aerofotogrammetriche degli ultimi 150 anni che ad una caratterizzazione delle condizioni attuali tramite analisi sedimentologiche e realizzazione di DTM ad alta risoluzione. In particolare, per mettere a punto una metodologia d'indagine basata sull'uso di DTM basati su rilevamenti LIDAR aereo, sono stati presi in esame differenti porzioni di corsi d'acqua del Bacino Padano in modo da ottenere un set di dati ed esperienze che fossero il più possibile rappresentativi di diverse condizioni presenti nel Bacino. Sono a tal proposito analizzati, oltre ai due segmenti del Fiume Po, tratti del Torrente Orco (Regione Piemonte, sinistra idrografica del Fiume Po), Torrente Pellice (Regione Piemonte, sinistra idrografica del Fiume Po), Torrente Malone (Regione Piemonte, sinistra idrografica del Fiume Po), del Fiume Adda (Regione Lombardia, sinistra idrografica del Fiume Po) del Torrente Taro (Regione Emilia Romagna, destra idrografica del Fiume Po) e Torrente Secchia (Regione Emilia Romagna, destra idrografica del Fiume Po).

### **Tecnica di comparazione dei DTM**

Per quanto riguarda i corsi d'acqua, la metodologia basata sui rilevamenti LIDAR è più complessa rispetto a quella utilizzata per i fenomeni franosi; il procedimento prevede infatti l'esecuzione, mantenendo invariate le condizioni al contorno, di rilevamenti LIDAR aerotrasportati di tratti di corsi d'acqua ad intervalli temporali prestabiliti, per poterne poi valutare numericamente le variazioni; la frequenza con la quale vengono eseguiti tali rilievi è anch'essa oggetto di studio e deve essere correlata alla scala d'indagine geomorfologia.

Allo stato attuale dello studio, tale sistema prevede l'impiego di rilevamenti LIDAR e delle ortofoto ad esso associate per riconoscere e perimetrare l'area emersa dei tratti di alveo indagati. Una volta definita la superficie su cui verranno eseguiti i calcoli (il rilevamento LIDAR viene solitamente effettuato su un perimetro pari alla fascia B PAI) si procede attraverso una serie di elaborazioni per ottenere un grigliato a maglia regolare (solitamente di ampiezza di  $1\text{m}^2$ ) che indica punto per punto la variazione altimetrica media avvenuta tra i due rilievi. In questo modo è possibile ottenere sia delle tavole che evidenziano tali variazioni tramite scale di colori, che procedere ad un calcolo volumetrico delle variazioni avvenute. È tuttavia da sottolineare come tale metodologia non possa essere considerata come una semplice applicazione informatica, ma come un procedimento basato su una serie di tappe fondamentali alle quali corrispondono altrettante fasi di controllo dei risultati ottenuti su basi geodetiche e geomorfologiche; il ruolo della geomorfologia nello studio di queste dinamiche è infatti fondamentale, ed anche nella metodologia sperimentale messa a punto

dal CNR IRPI svolge un ruolo di primaria importanza: sia la perimetrazione delle aree emerse che il successivo riconoscimento delle zone in cui è effettivamente avvenuta una variazione volumetrica superiore alla tolleranza strumentale delle misure avviene sì attraverso un'analisi di affidabilità del dato laser, ma soprattutto grazie all'impiego di ortofoto e tramite un'attenta analisi da parte di operatori esperti che valutano la corrispondenza tra i dati ottenuti e le evidenze morfologiche di tale evoluzione (figura 7).

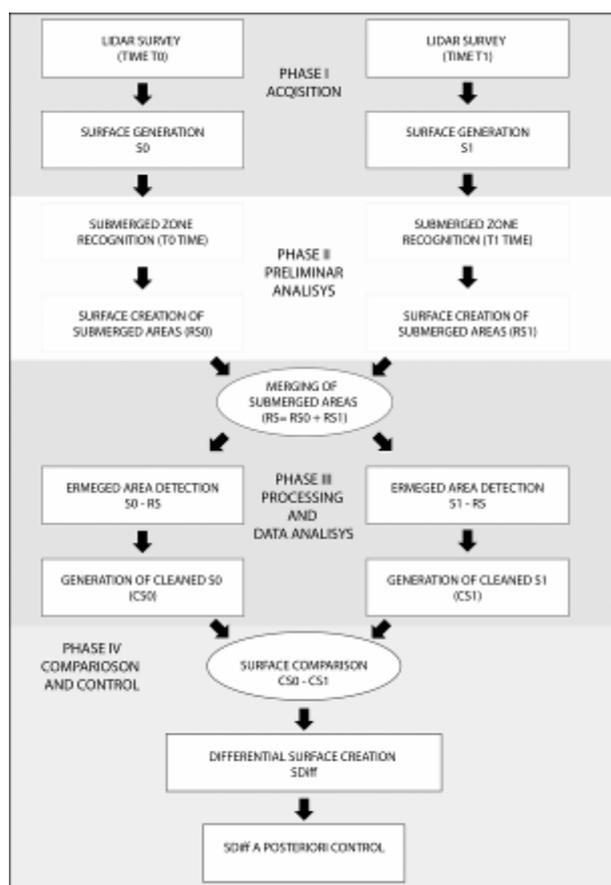


Fig. 7 schema concettuale delle fasi principali del processo di comparazione dei DTM

Da un punto di vista procedurale, il modello concettuale che regola il riconoscimento e l'estrazione delle zone su cui verrà calcolata la variazione volumetrica è schematizzato nella figura 1. È infatti importante sottolineare come uno dei limiti maggiori dell'impiego del LIDAR sia l'impossibilità da parte di tale strumento di restituire un modello digitale anche della parte d'alveo sommersa. Per prima cosa si è dunque definita una procedura che permettesse l'estrazione delle aree sommerse e l'esclusione di esse dai calcoli successivi; questa limitazione, seppur importante, deve comunque essere valutata tenendo sempre in considerazione l'elevata risoluzione spaziale della strumentazione utilizzata e la possibilità che tale strumento offre di condurre un'analisi di tipo areale non più legata all'utilizzo di sezioni topografiche una tantum (che comunque restano di primaria importanza per il controllo del dato LIDAR e per relazionare i dati futuri con l'importante bagaglio storico disponibile) .

Oltre alle aree sommerse, un altro fattore che deve essere preso in seria considerazione, durante il trattamento che l'analisi dei dati, riguarda la presenza di vegetazione e il suo effetto sull'accuratezza della misura; anche in questo caso l'impiego delle ortofoto digitali permette di eseguire un controllo accurato della risultante dalla comparazione tra i DTM alla ricerca di eventuali anomalie.

Un esempio dei risultati ottenibili è visualizzato nella figura 8 ove è possibile valutare tramite scala cromatica le variazioni altimetriche misurate dalla comparazione di due DTM di un tratto del Fiume Taro.

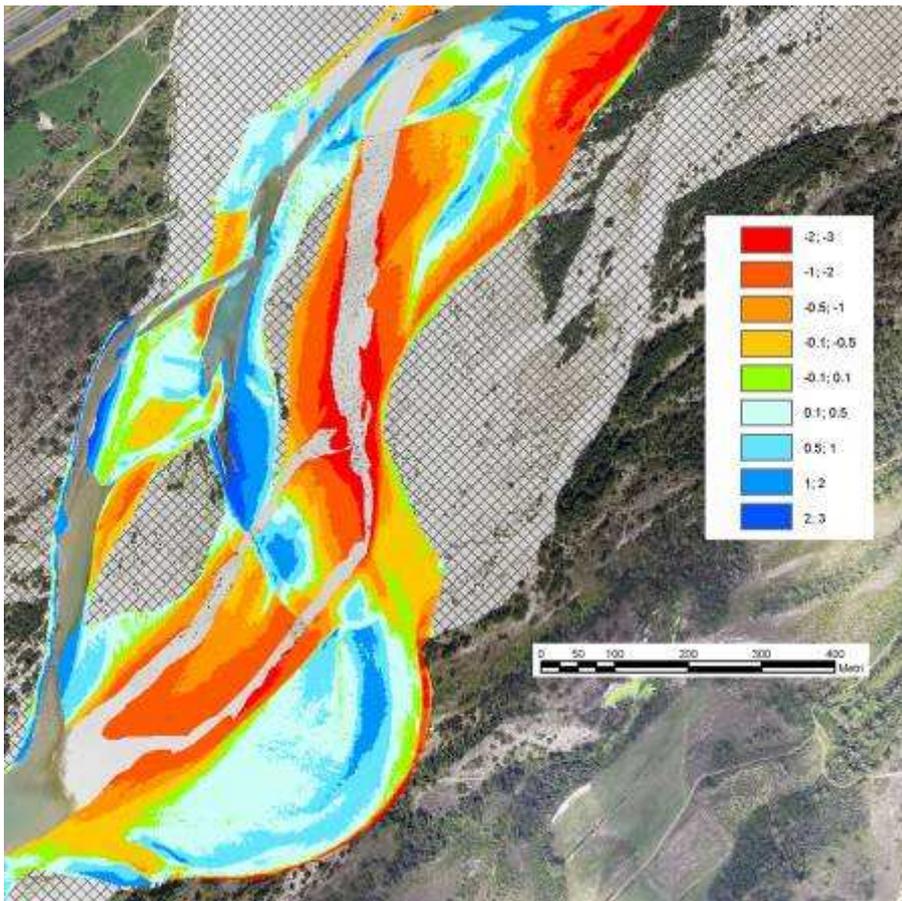


Fig. 8 tratto di corso d'acqua in cui sono evidenziate le variazioni altimetriche ricavate dal processo di comparazione dei DTM legate all'evoluzione del corso d'acqua nel tempo.