

Risultati preliminari del rilievo effettuato per la quantificazione dell'alterazione morfologica di un tratto del fiume Mera a seguito di un evento franoso (progetto GE.RI.KO. MERA)

Marica Franzini¹[0000-0002-3921-5178], Vittorio Casella¹[0000-0003-2086-7931]
Laura Annovazzi-Lodi¹[0000-0003-3939-9170], Paolo Marchese¹[0000-0003-3414-5905],
Paolo Espa², Andrea Facchin² e Andrea Romanò³

¹ Università degli Studi di Pavia, (marica.franzini; vittorio.casella, laura.annovazzilodi, paolo.marchese)@unipv.it

² Università degli Studi dell'Insubria, paolo.espa@uninsubria.it; afacchin1@studenti.uninsubria.it

³ Blu Progetti S.r.l., andrea.romano@bluprogetti.eu

Abstract. Nell'ambito del progetto Interreg Italia-Svizzera denominato GE.RI.KO. MERA, sono state effettuate della attività di rilevamento, su alcuni tratti del fiume Mera, allo scopo di quantificare l'alterazione morfologica del corso d'acqua a seguito di un evento franoso che ha interessato l'area. Il presente articolo illustra la metodologia utilizzata ed alcuni risultati preliminare ottenuti per una delle zone esaminate.

Keywords: Rilevamento integrato, laser scanner terrestre, DTM, informazione geografica, GIS

1 Introduzione

GE.RI.KO. MERA (Gestione risorse idriche ed ambienti acquatici in comune - il bacino del fiume Mera) è un progetto finanziato tramite il Fondo Europeo di Sviluppo Regionale Interreg Italia-Svizzera. Italia e Svizzera condividono infatti importanti risorse idriche, tra le quali quelle del bacino del Mera, un fiume che nasce in Svizzera sui monti del Maloja, percorre la Val Bregaglia e la Valchiavenna fino a immettersi nel Lago di Mezzola e quindi in quello di Como. Questa risorsa idrica gioca un ruolo rilevante nell'area, sia in termini economico-produttivi che ambientali. In quest'ottica, all'interno del progetto viene data particolare attenzione al tema del trasporto solido, in quanto fenomeno fortemente connesso alla protezione dei territori, alla modulazione degli usi e alla salvaguardia di ambienti e specie di interesse.

L'asta fluviale monitorata dal progetto risulta di particolare rilevanza in quanto coinvolta da un evento di trasporto solido eccezionale (volume stimato dell'ordine di 0.5

milioni di metri cubi); tale evento fu innescato nell'agosto 2017 da un ingente crollo in roccia (volume stimato di 3-4 M m³) sulla parete nord del Pizzo Cengalo in alta Val Bondasca, una laterale della valle del Mera in territorio svizzero [1]. Parte del materiale franato ha raggiunto l'alveo del Mera venendo quindi trasportato a valle fino al territorio italiano alterando sia la morfologia del corso d'acqua che l'habitat naturale della fauna ittica presente.



Fig. 1. Vista d'insieme delle aree selezionate per il Progetto

Partner del progetto è l'Università degli Studi dell'Insubria che, tramite una convenzione con l'Università di Pavia, ha coinvolto il Laboratorio di Geomatica per le attività di rilevamento topografico previste all'interno di GE.RI.KO. MERA. Nell'ottica di ampliare il quadro conoscitivo disponibile, il piano di lavoro prevede infatti di effettuare dettagliati rilievi in campo, con l'obiettivo di quantificare l'alterazione morfologica del Mera a seguito dell'evento franoso del 2017. Al riguardo, le attività del progetto sono volte a fornire strumenti di conoscenza, valutazione e controllo dello stato dell'ambiente e delle sue dinamiche evolutive.

Al fine di valutare le variazioni subite dal corso d'acqua a seguito della frana, i risultati dei rilievi effettuati al termine del primo anno di progetto sono stati confrontati con alcuni dati storici presenti nella zona, e antecedenti al 2017. Sono già programmati, e parzialmente eseguiti, ulteriori rilievi da eseguire nel corso dei due anni di progetto rimanenti allo scopo di caratterizzare in modo dettagliato le evoluzioni subite dal corso d'acqua anche in regime ordinario.

Il presente lavoro si focalizza sulle attività svolte e concluse a termine del primo anno di progetto descrivendo le aree selezionate per le analisi e le metodologie di rilevamento adottate. Verranno inoltre presentati, a titolo di esempio, alcuni risultati preliminari ottenuti per una delle zone oggetto di indagine.

2 Metodologia di rilievo delle aree studio

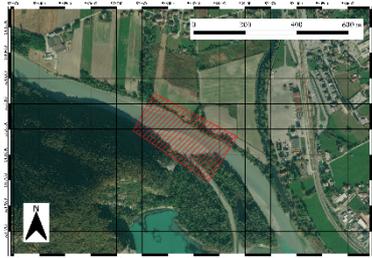
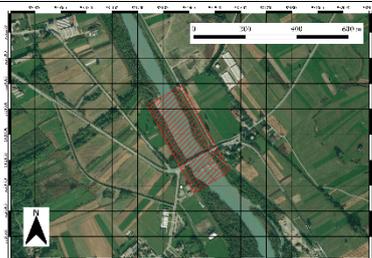
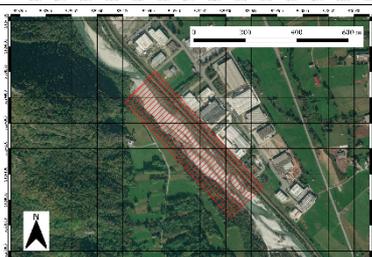
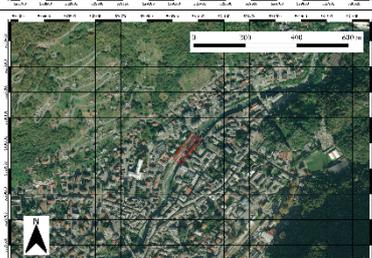
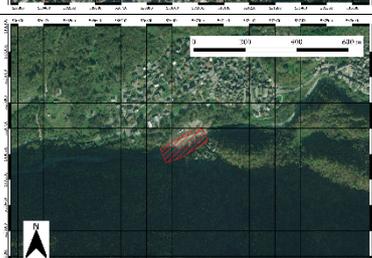
Durante il primo anno di progetto, sono state selezionate le aree da rilevare per l'analisi dell'evoluzione morfologica subita dal corso del fiume. La scelta della collocazione e delle dimensioni spaziali di questi tratti è stata basata sia su criteri ambientali, con particolare riferimento alla fauna ittica presente, sia morfologici, in quanto particolarmente interessati dal deposito di materiale solido. Seguendo tali indicazioni sono state identificate cinque aree uniformemente distribuite lungo l'intero corso del Mera, come mostrato in Figura 1.

2.1 Le aree studio

In Tabella 1 sono riportate le cinque aree selezionate. Per ognuna di esse è mostrata una raffigurazione in mappa della zona selezionate (evidenziata in rosso) e un'immagine panoramica che mostra la diversa natura dei tratti prescelti; da carattere torrentizio nel tratto più a monte (Area5) fino a quello di fiume planiziale poco prima dell'immissione nel lago di Mezzola (Area1). Più precisamente:

- ∞ L'Area1 è localizzata nella parte meridionale della Valchiavenna in prossimità del punto in cui il fiume Mera si immette nel lago di Mezzola. L'area individuata abbraccia l'intero alveo del fiume ed ha un'estensione di circa 7 ettari. La zona non è abitata (le costruzioni più prossime distano più di 200 m) ma presenta una folta vegetazione sia in sponda sinistra che destra.
- ∞ L'Area2 è in prossimità della località Ponte Nave, non lontano dall'abitato di Casenda. Il tratto da rilevare ha un'estensione di circa 6.5 ettari. La zona non è abitata ma la presenza di una strada ad alta percorrenza, la SP2 "Trivulzia", comporta una possibile fonte di rischio e di disturbo per il rilievo.
- ∞ L'Area3 è situata nella zona commerciale di San Cassino, in prossimità di un eliporto. La zona selezionata è la più estesa con una superficie di circa 11 ettari. Questo tratto di fiume non presenta particolari criticità se non la presenza di arbusti su entrambe le rive.
- ∞ L'Area4 è collocata all'interno dell'abitato di Chiavenna e, vista l'ubicazione, è quella con la minor estensione, di poco inferiore ad un ettaro. La presenza di passerelle pedonali su entrambe le sponde permette il rilievo del tratto senza particolari criticità.
- ∞ L'Area5 è localizzata in prossimità della frazione Giavera, nel comune di Villa di Chiavenna. È l'area più a nord ed ha un'estensione di poco superiore ad un ettaro. In questo tratto il Mera è a carattere torrentizio e scorre in un'ampia gola con la conseguente presenza di versanti montuosi a ridosso del corso d'acqua.

Tabella 1. Panoramica sui tratti selezionati per il Progetto; a sinistra una mappa con l'indicazione dell'estensione dell'area da rilevare, a destra un'immagine caratterizzante la natura del corso d'acqua in quella zona

Area1		
Area2		
Area3		
Area4		
Area5		

2.2 Le tecniche di rilievo utilizzate

All'interno del progetto GE.RI.KO. MERA, il rilievo topografico ha come scopo principale quello di caratterizzare tridimensionalmente le aree selezionate attraverso la costruzione di modelli digitali del terreno (DTM). Vista la presenza di numerosi centri abitati, di un eliporto e di strade ad alta percorrenza, si è privilegiato l'utilizzo del laser scanner terrestre (TLS). Unica eccezione è costituita dall'Area1 che, data la difficoltà di guado, è stata rilevata tramite UAV.

Indipendentemente dalla tecnica di rilievo adottata, in ogni area è stata costruita una rete di inquadramento rilevata in modo ridondante ed integrato tramite stazione totale e ricevitore GNSS. Le reti materializzate e rilevate assolvono a molteplici scopi:

- ∞ Materializzare un sistema di riferimento stabile utile per inquadrare i rilievi di controllo che verranno fatti negli anni successivi;
- ∞ Materializzare un sistema di riferimento univoco all'interno del progetto utilizzabile anche dagli altri partner per inquadrare i propri dati;
- ∞ Materializzare il datum di riferimento per il successivo rilievo dei marker fotogrammetrici e delle mire laser indispensabili per orientare i rilievi effettuati con UAV e TLS;
- ∞ Materializzare il datum di riferimento per il rilievo dei punti in alveo necessari per la generazione dei DTM al di sotto del pelo libero dell'acqua.

Il rilievo GNSS è stato condotto utilizzando un ricevitore Trimble R8S [2] a doppia costellazione, GPS e Glonass, sfruttando le correzioni generate dalla rete di servizi di posizionamento SPIN3 [3] in un approccio VRS-NRTK. Per il rilievo topografico è stata invece utilizzata una stazione totale robotizzata Leica TPS1201 [4] avente una precisione angolare di 1" e una portata di 300 m.

Grazie all'utilizzo della tecnica GNSS, tutti i rilievi sono stati inquadrati in un unico sistema di riferimento cartografico: UTM32N – WGS84. In particolare, utilizzando la rete di servizi di posizionamento SPIN3 i dati sono inquadrati nel Sistema di Riferimento Geodetico Nazionale ETRF2000 – RDN [5]. Per quanto concerne il datum altimetrico, l'altezza ellissoidica dei punti rilevati tramite GNSS è stata trasformata in quota ortometrica tramite l'applicativo Convergo ed il grigliato VERTO dell'IGM nella versione GK2. Come vedremo nel paragrafo successivo, alcuni rilievi già presenti nell'area adottano il medesimo datum rendendo in tal modo i dati acquisiti all'interno di GE.RI.KO MERA del tutto comparabili con i dataset preesistenti.

Per il rilievo laser è stato utilizzato un sistema Leica P50 [6], avente la capacità di misurare fino a 1 milioni di punti al secondo ed una portata di scansione di oltre 1 km. Il sistema UAV utilizzato è invece un esacottero HEXA-PRO equipaggiato con una camera Sony A7 da 36 Mpix.

3 Risultati

Nella presente sezione saranno mostrati alcuni risultati preliminari ottenuti per una delle aree identificate. La scelta di mostrare i risultati di un'unica area è motivata dalla

volontà di analizzare l'approccio metodologico adottato che è simile per tutte le zone selezionate.

La zona selezionata per mostrare i risultati è l'Area3. Tale zona non presenta particolari criticità ma risulta essere di fatto la più onerosa da rilevare a causa della sua estensione di circa 11 ettari. La presenza di un eliporto a ridosso dell'area ha fortemente condizionato la scelta del metodo di rilevamento; l'utilizzo di un UAV, sicuramente più produttivo in questo caso, è stata subito scartata optando invece per un rilievo laser terrestre. Questa scelta ha comportato la necessità di effettuazione numerose stazioni laser che tuttavia sono state favorite dalla presenza di un argine, non particolarmente vegetato, in sponda destra del fiume. Il rilevamento è stato effettuato in corrispondenza a deflusso di magra ed ha riguardato sia le aree asciutte che sommerse. Le prime sono state rilevate quindi con TLS mentre le seconde con misure puntuali effettuate a guado con stazione totale o ricevitore GNSS. Partendo da queste osservazioni è stato quindi generato il DTM di riferimento.

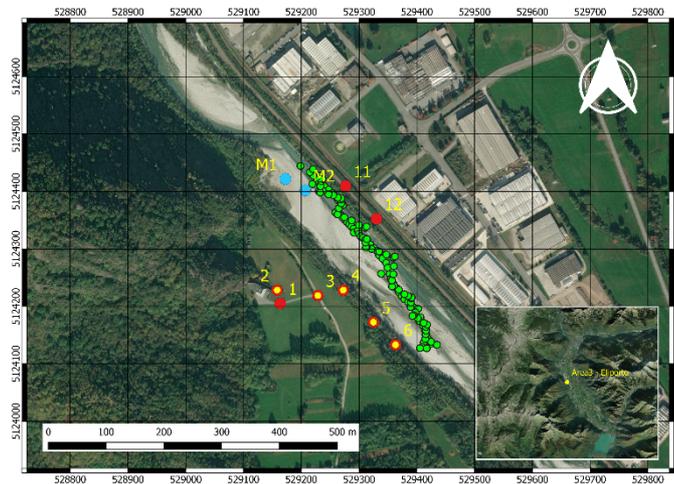


Fig. 2. Ubicazione dei vertici e dei punti topografici rilevati nell'Area3 (UTM32N_WGS84)

3.1 Rilievo topografico integrato

Il rilievo topografico è stato condotto con strumentazione GNSS in modalità NRTK e con stazione totale; in totale sono stati rilevati più di 530 punti (Figura 2) aventi diverse finalità:

1. Punti di inquadramento: sono punti in cui è stata messo in stazione di volta in volta lo strumento topografico, un prisma o una mira laser. Questi punti sono stati materializzati sul terreno tramite chiodi e/o picchetti, creando quindi un sistema di riferimento stabile. Da questi punti sono stati misurati i punti di dettaglio nell'alveo del fiume e le mire necessarie per l'orientamento delle scansioni laser. In totale sono presenti 8 punti di inquadramento che, nell'immagine, sono indicati in rosso;

2. Punti GNSS: un sottoinsieme dei punti di inquadramento, indicati anche con un punto giallo, è stato rilevato con metodologia GNSS permettendo di inquadrare l'intero rilievo in un sistema di riferimento globale (UTM32N_WGS84). In totale sono presenti 5 punti GNSS;
3. Mire laser: sono punti non materializzati in cui sono state messe in stazione le mire per l'orientamento delle scansioni laser. Nell'immagine sono indicate con il nome M1 ed M2 ed evidenziate in azzurro;
4. Punti di dettaglio: sono punti rilevati tramite palina e prisma 360° all'interno e sul margine del fiume Mera allo scopo di caratterizzare l'andamento del corso d'acqua. In totale sono stati rilevati più di 500 punti di dettaglio che, nell'immagine, sono indicati con dei punti verdi.

Oltre ai punti in alveo rilevati dal Laboratorio di Geomatica nell'area sono presenti anche 1360 punti rilevati tramite tecnica GNSS-NRTK dalla società Blu Progetti S.r.l., partner del progetto. In Figura 3 sono riportati entrambi gli insiemi: in verde i punti rilevati dal Laboratorio di Geomatica ed in azzurro quelli misurati da Blu Progetti. La creazione della rete di inquadramento ha infatti permesso ai due gruppi di lavorare in modo congruente consentendo di integrare le osservazioni.

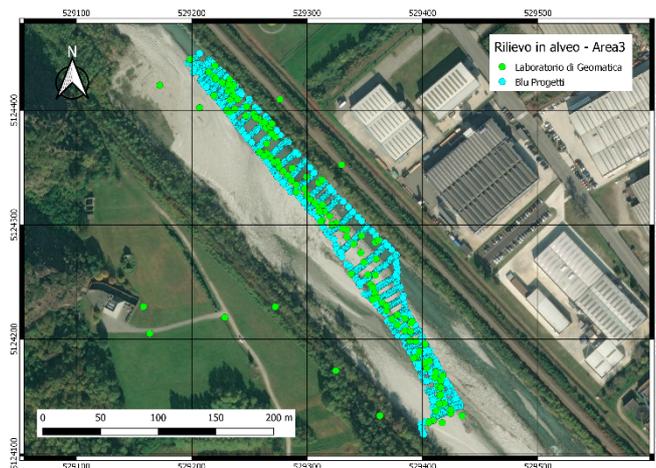


Fig. 3. Punti di dettaglio rilevati in alveo da Laboratorio di Geomatica, in verde, e Blu Progetti, in azzurro.

3.2 Rilievo TLS

L'estensione del tratto oggetto d'indagine ha comportato numerose stazioni per l'effettuazione delle scansioni laser. In Figura 4 sono riportate in azzurro le ubicazioni di tali punti di stazione mentre in rosso le posizioni delle mire utilizzate per l'orientamento. In totale sono stati necessari 7 punti di stazioni quasi tutti collocati in sponda destra, caratterizzata da una minore vegetazione.

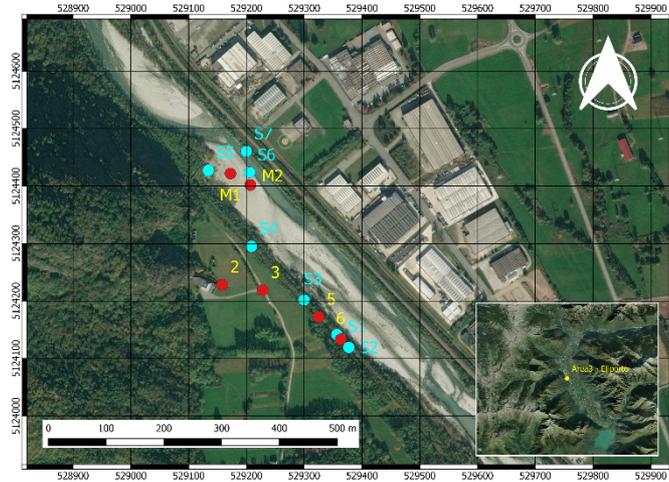


Fig. 4. Ubicazione delle varie stazioni laser, in azzurro, e delle mire, in rosso

Da ogni punto di stazione sono state effettuate una o più scansioni laser allo scopo di rilevare con elevato dettaglio il tratto di alveo di interesse e di acquisire più scansioni panoramiche dell'ambiente circostante. In totale sono state effettuate nove scansioni come riportato in Tabella 2: le colonne indicano rispettivamente il punto di stazione, in nome della scansione effettuata, le mire collimate e il numero di punti misurati. In totale sono stati rilevati più di 180 milioni di punti.

Tabella 2. Descrizione delle scansioni effettuate in Area3

Stazione	Scansione	Mire osservate	# Punti acquisiti
S1	SW-001	5/6	1'392'264
S1	SW-002	5/6	22'609'716
S2	SW-003	5/6	19'808'482
S3	SW-004	3/5	20'488'821
S3	SW-005	3/5	2'077'478
S4	SW-006	2/3	18'148'815
S5	SW-007	M1/M2	33'414'607

Ogni scansione costituisce, al momento dell'esecuzione, un rilievo a sé stante con un proprio sistema di riferimento locale. La collimazione delle mire laser comuni, le cui coordinate sono note in un datum assoluto, permette di ricondurre l'intero rilievo ad un unico sistema di riferimento cartografico che, nel nostro caso, è UTM32N – WGS84. Il software Leica Cyclone, utilizzato per l'elaborazione dei rilievi TLS, partendo dalla conoscenza delle coordinate delle mire e dalla loro acquisizione a monte (o a valle) di ogni singola scansione, consente di effettuare la registrazione delle nuvole in modo automatico. La qualità dell'allineamento dipende dalla geometria del rilievo e dalla densità dei punti che, a sua volta, è strettamente connessa alla distanza relativa tra lo strumento e le mire utilizzate. Nel caso dell'Area 3, nonostante la geometria di rilievo non sia ridondante e le interdistanze siano considerevoli, la registrazione ha portato a

dei risultati molto buoni con errori assoluti prossimi a 1.5 cm (del tutto comparabili con le precisioni richieste dal rilievo).

L'allineamento, o registrazione, delle scansioni porta come risultato la produzione di un'unica nuvola. In Figura 5 e in Figura 6 sono mostrate due visualizzazioni della nuvola di punti prodotta e ritagliata in corrispondenza dell'alveo del Mera, oggetto d'indagine. La nuvola, composta da quasi 155 milioni di punti, ha un'estensione areale di circa 11 ha ed è stata utilizzata per la produzione del DTM.

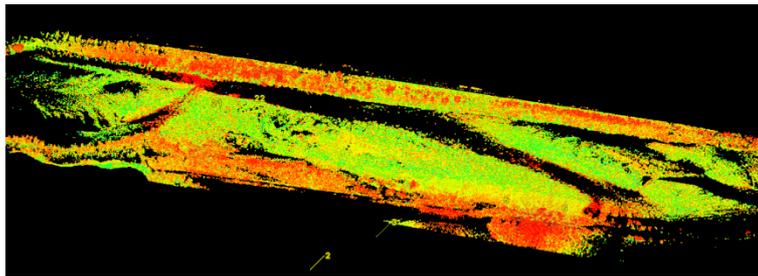


Fig. 5. Visualizzazione della nuvola di punti estratta in corrispondenza dell'alveo

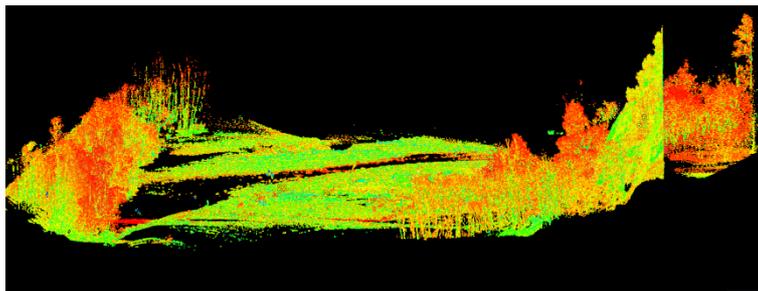


Fig. 6. Visualizzazione della nuvola di punti estratta in corrispondenza dell'alveo

3.3 Integrazione rilievo laser e topografico

Una volta generata e ritagliata la nuvola in corrispondenza dell'alveo del fiume, è stato utilizzato il software ArcGIS Pro. La nuvola, salvata in formato LAS, è stata importata all'interno del software e classificata, utilizzando LASTool, al fine di ricavare i soli punti appartenenti al terreno.

Per integrare il rilievo laser, in area golenale, e topografico, all'interno dell'alveo bagnato, è necessario delimitare la loro area di pertinenza attraverso l'identificazione del perimetro dell'area bagnata. Data la natura non regolare del corso d'acqua, tale perimetro è stato editato manualmente utilizzando come punto di partenza la nuvola di punti rilevata con TLS. In Figura 7 è riportato il risultato: la linea rossa rappresenta il perimetro, i punti blu sono le misure effettuate topograficamente in alveo mentre quelli verdi sono stati misurati in golenale tramite TLS.

Allo scopo di determinare il modello digitale del terreno, i punti rilevati nell'alveo bagnato ed in golena sono stati quindi uniti tra di loro fornendo un'informazione continua del tratto di fiume esaminato. La linea dell'area bagnata è stata quindi utilizzata come breakline nella generazione del DTM.

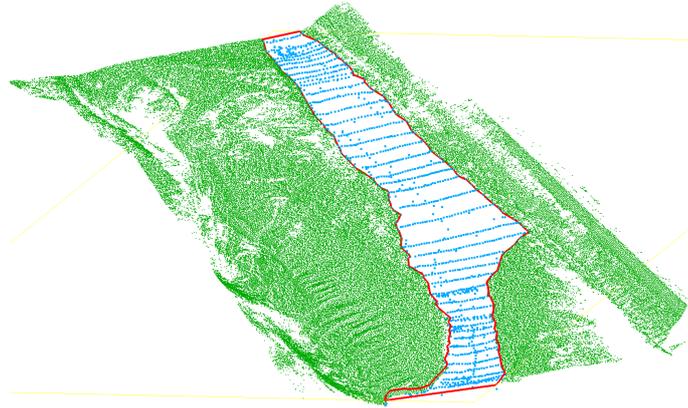


Fig. 7. Perimetro dell'area bagnata. La linea rossa rappresenta il perimetro dell'ara bagnata, in blu i punti rilevati nell'alveo bagnato e in verde quelli misurati in golena

3.4 Generazione del modello digitale del terreno

Utilizzando i dati descritti al paragrafo precedente è stato prodotto il modello digitale del terreno (DTM) con passo 50 cm. La scelta della risoluzione è stata dettata dalla densità dei punti presenti in alveo (densità non comparabile rispetto a quelli misurati con metodo laser) e dalla volontà di rendere il prodotto finale congruente con altri DTM presenti nella zona connessi a progetti precedenti e aventi una risoluzione di mezzo metro. In Figura 8 è mostrato il risultato dell'elaborazione.

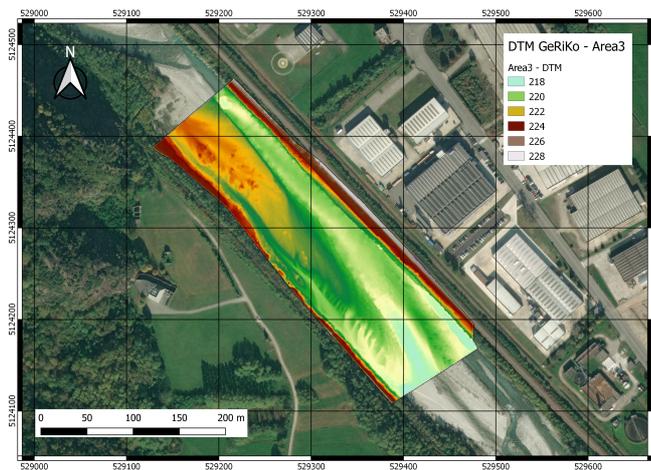


Fig. 8. Visualizzazione del DTM prodotto

3.5 Confronto con i dataset precedenti

Come accennato precedentemente, nell'area sono presenti informazioni precedenti al progetto GERIKO MERA. Tra i dati disponibili c'è un DTM rilevato nell'ambito del progetto GeSeFlu [7], relativo all'intero corso d'acqua. In Figura 9 è riportato il modello digitale in questione ritagliato unicamente sull'area di interesse.

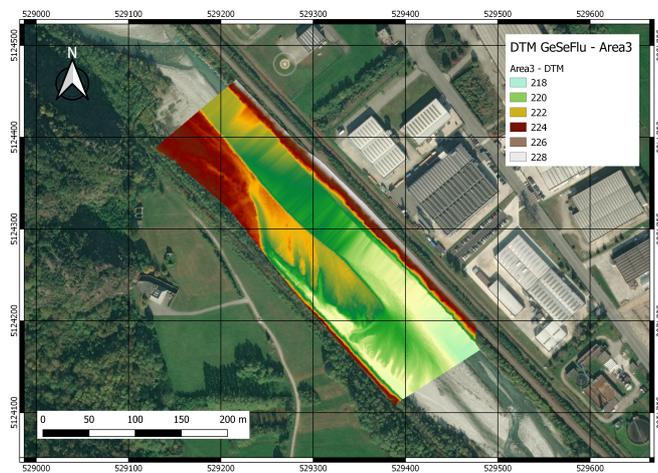


Fig. 9. Visualizzazione del DTM dell'area prodotto nell'ambito del progetto GeSeFlu

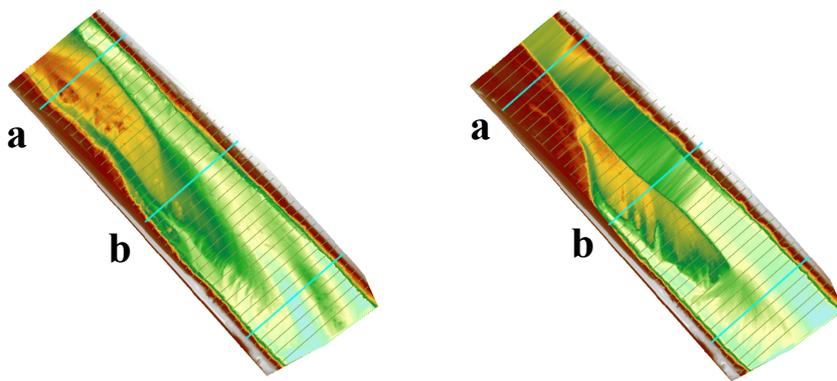


Fig. 10. Profili trasversali del tratto esaminato; sono evidenziati i due profili utilizzati come esempio. A sinistra è riportata la loro posizione sul DTM GERIKO, mentre a destra l'equivalente per il DTM GeSeFlu

Un confronto visivo tra la Figura 8 e la Figura 9 mostra chiaramente il cambiamento di morfologia che il corso d'acqua ha subito negli anni. È altresì evidente come il livello di riempimento dell'alveo era sostanzialmente diverso al momento della generazione dei due modelli del terreno. Per quantificare e comprendere la reale differenza tra le due superfici sono stati estratti alcuni profili trasversali lungo il tratto esaminato. A titolo di esempio è riportato nel seguito il confronto tra i profili estratti dai due DTM considerati in corrispondenza di due sezioni trasversali, a e b, indicate in Figura 10.

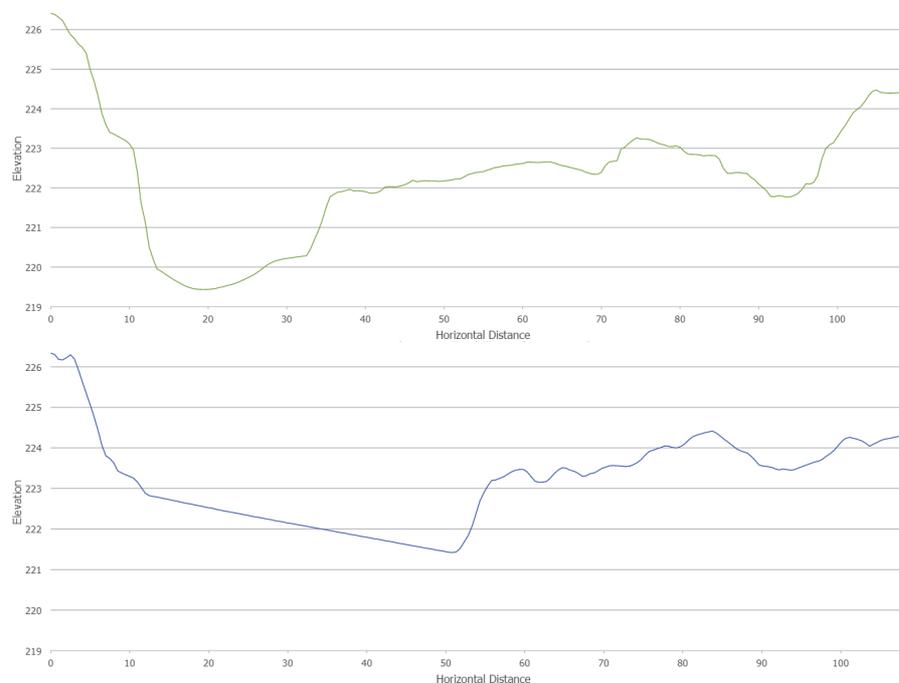
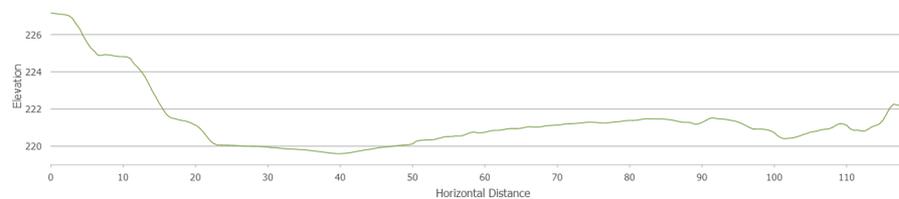


Fig. 11. Profili altimetrici delle sezioni trasversali estratte dal DTM Geriko, in verde, e GeSeFlu, in blu (Sezione a in Figura 10).



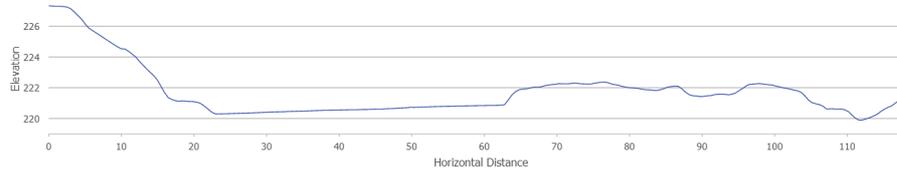


Fig. 12. Profili altimetrici delle sezioni trasversali estratte dal DTM Geriko, in verde, e GeSeFlu, in blu (Sezione b in Figura 10).

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 11 e Figura 12 sono riportati i profili trasversali estratti dal DTM GeRiKo, in verde, e dal DTM GeSeFlu, in blu, in corrispondenza dei due punti considerati. È evidente come nella parte alta del tratto sia avvenuto un ingente deposito di materiale solido riducendo significativamente la larghezza dell'alveo di magra. La lettura dei profili mostra anche come l'informazione GeSeFlu sia unicamente limitata alle aree emerse mentre la parte in alveo venga modellizzata linearmente.

4 Conclusioni

Le attività presentate sono state svolte nell'ambito di un progetto Interreg Italia-Svizzera denominato GERIKO MERA. Tali attività, condotte durante il primo anno di progetto, hanno riguardato prevalentemente l'identificazione e il rilevamento topografico di alcune aree di interesse utili alla quantificazione dell'alterazione morfologica del corso d'acqua a seguito di un evento franoso occorso nel 2017.

Il contributo presenta alcuni risultati preliminari per uno dei tratti selezionati, illustrandone l'approccio metodologico adottato per il rilevamento e il confronto con alcuni dati storici presenti nell'area. Una prima analisi dei risultati evidenzia come il metodo utilizzato, con particolare riferimento all'integrazione di misure dentro e fuori alveo, sia appropriato per la generazione dei DTM di interesse.

Il progetto GERIKO MERA è attualmente in corso e si stanno concludendo le attività del secondo anno con l'elaborazione di nuovi rilievi condotti allo scopo di analizzare le alterazioni in regime ordinario e di quantificare volumetricamente i depositi rilevati.

Acknowledgement. GE.RI.KO. MERA (ID 473458) è co-finanziato dall'Unione Europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, dallo Stato Italiano, dalla Confederazione Elvetica e dai Cantoni nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A "Italia – Svizzera 2014-2020". Leica Geosystems Italia è qui ringraziata, soprattutto l'Ing. Filippo Quadranti e l'Ing. Davide Parmigiani, per il prestito del sistema TLS Leica P50 utilizzato per i rilievi.

Riferimenti

1. Salmaso, F., Crosa, G., Espa, P., Gentili, G., Quadroni, S.: The year after an extraordinary sedimentation event in a regulated Alpine river: The impact on benthic

- macroinvertebrate communities. *River Res. Appl.* 36, 1656–1667 (2020).
<https://doi.org/10.1002/rra.3664>
2. Trimble: Trimble R8s Datasheet, [https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-03/Datasheet - Trimble R8s GNSS System - English USL - Screen.pdf](https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-03/Datasheet%20-%20Trimble%20R8s%20GNSS%20System%20-%20English%20USL%20-%20Screen.pdf)
 3. SPIN3: SPIN3 GNSS Piemonte Lombardia Valle d'Aosta, <https://www.spingnss.it/spiderweb/frmIndex.aspx>
 4. Leica Geosystems: Leica TPS1201 Datasheet, https://osdc.ca/wp-content/uploads/2015/07/TPS1200_TechnicalData.pdf
 5. D.P.C.M. 10/11/2011: Gazzetta Ufficiale, <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/02/27/12A01799/sg>
 6. Leica Geosystems: Leica ScanStation P50 – Long Range 3D Terrestrial Laser Scanner | Leica Geosystems, <https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-scanstation-p50>
 7. GeSeFlu, P.: Gestione dei Sedimenti Fluviali | Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, <http://www.irpi.cnr.it/project/geseflu/>