

| | | |
|--|---|---|
|  <p>Terna Rete Italia T E R N A G R O U P</p> | <p>MODELLO IDRAULICO A FONDO MOBILE DEL F. FELLA A SUPPORTO DEL PROGETTO DI CONNESSIONE TRA RTN E NUOVO IMPIANTO SRG - MALBORGHETTO (UD)</p> <p>Stazione Elettrica 132 kV di Malborghetto (UD) e Raccordi alla linea 132 kV Chiusaforte # Tarvisio</p> |    <p>Idrogea servizi S.r.l. Società di Ingegneria</p>   |
| <p>Codifica Elaborato Terna: < RC1541174B2036340 ></p> | <p>Codifica Elaborato <Fornitore>: 20-170 modello a fondo mobile_Malborghetto_All2</p> | |

Allegato 2
Report attività di rilievo fotogrammetrico e topografico



**MODELLO IDRAULICO A FONDO MOBILE DEL F.
FELLA A SUPPORTO DEL PROGETTO DI
CONNESSIONE TRA RTN E NUOVO IMPIANTO SRG -
MALBORGHETTO (UD)**

Stazione Elettrica 132 kV di Malborghetto (UD) e Raccordi alla linea 132
kV Chiusaforte # Tarvisio



Codifica Elaborato Terna:

< RC1541174B2036340 >

Rev. < 00 >

Codifica Elaborato <Fornitore>:

20-170 modello a fondo mobile_Malborghetto_All2 Rev. < 00 >

POLITECNICO DI MILANO
Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale



RELAZIONE SULL'ATTIVITÀ DI RILIEVO DEL FIUME FELLA NEI PRESSI DELL'ABITATO DI MALBORGHETTO (UD)

A cura di

Prof. Livio Pinto

Ing. Francesco Ioli

Ing. Lorenzo Rossi

Milano, 10.11.2020

Sommario

| | |
|--|---|
| 1. ATTIVITÀ SVOLTE | 3 |
| 2. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DA DRONE | 3 |
| 2. RILIEVO LASER SCANNER CON MULTISTATION..... | 6 |
| 3. ELABORAZIONE DEI DATI..... | 9 |

1. ATTIVITÀ SVOLTE

La presente relazione descrive il rilievo fotogrammetrico da drone del fiume Fella nei pressi dell'abitato di Malborghetto (UD), integrato da rilievo laser scanner del Ponte in località Cucco, e la realizzazione del DTM dell'alveo e delle sponde, nel tratto di fiume compreso tra la fine dell'abitato di Malborghetto (via Piper) e attraversamento SS13 (via Fella) in località Santa Caterina. Le riprese e il rilievo laser sono state svolte il 28 ottobre 2020.

L'attività si è stata realizzata utilizzando due diverse metodologie:

- Fotogrammetria da drone.
- Rilievo laser con Multistation (stazione totale con caratteristiche di misura di nuvole di punti tramite laser scanner) secondo uno schema geometrico di rilievo topografico classico;

L'attività si è sviluppata nelle seguenti fasi:

1. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DA DRONE

- a) Progettazione del piano di volo fotogrammetrico da drone per avere una impronta a terra dei singoli pixel (GSD) di circa 5 cm;
- b) Realizzazione dei voli fotogrammetrici con drone professionale;
- c) Rilievo dei punti topografici di controllo e di appoggio del rilievo fotogrammetrico con strumentazione GNSS topografico (precisione centimetrica).

2. RILIEVO LASER SCANNER CON MULTISTATION

- d) Progettazione e materializzazione della rete topografica;
- e) Rilievo dei punti di stazione e orientamento con strumentazione GNSS per la georeferenziazione del rilievo nel sistema di riferimento nazionale.
- f) Scansioni degli elementi caratteristici del ponte con maglie di dimensioni minime di 5cmx3cm e precisione di ± 1 cm;

3. ELABORAZIONE DEI DATI

- g) Elaborazione del rilievo fotogrammetrico (orientamento esterno delle immagini, calibrazione della fotocamera, generazione della nuvola di punti densa), sua georeferenziazione e generazione del DTM con maglia di griglia di 0.5 m, integrato dai dati laser scanner
- h) Calcolo dell'ortofoto con pixel di 20 cm e del DSM con passo di griglia 0.5 m.

2. RILIEVO FOTOGRAMMETRICO DA DRONE

Il rilievo è stato realizzato con un drone professionale:

- DJI Mavic 2 pro dotato di fotocamera Hasselblad le cui caratteristiche sono riportate nella tabella sottostante (Tab. 1).

Tabella 1 - Specifiche tecniche della fotocamera Hasselblad

| | |
|---|---------------------------|
| Sensore | 13.2x8.8 mm |
| Risoluzione | 20 Mpixel |
| Dimensione immagine | 5472 x 3648 px |
| Dimensione del pixel | 2.41 x 2.41 μm |
| Lunghezza focale | 10.3 mm |
| Lunghezza focale equivalente nel formato 35 mm | 28 mm |

Le riprese sono state divise in 5 differenti voli di tipo nadirale per il rilievo completo di tutto il territorio in oggetto, con un ricoprimento medio del 80% in direzione longitudinale e del 60% in quella trasversale. La quota relativa media di volo è stata per tutti i voli di circa 110 m dal suolo.

Nell figure 1, 2 e 3 sono mostrate alcune immagini acquisite dalla camera montata su drone.



Figura 1 – Esempio di ripresa nadirale del fiume Fella



Figura 2 – Esempio di ripresa nadirale del fiume e di una opera di presa



Figura 3 – Esempio di ripresa nadirale del fiume ponte sul fiume Fella in località Cucco

Per la georeferenziazione del blocco di immagini fotogrammetriche sono stati rilevati 20 punti di appoggio materializzati mediante markers artificiali (figura 4) e disposti sulle sponde destra e sinistra del fiume. Le coordinate di ciascun punto sono state determinate con strumentazione GNSS Leica GS14 in modalità NRTK appoggiandosi alla rete nazionale ItalPOS (Leica). Le coordinate sono calcolate quali media di almeno due posizioni aventi ciascuna precisione nominale (smq di stima della rete ItalPOS) di 2.5 cm in planimetria e 3 cm in altimetria.



Figura 4 – Esempio di misura di marker di appoggio del rilievo fotogrammetrico

2. RILIEVO LASER SCANNER CON MULTISTATION

Il rilievo è stato realizzato con Multistation Leica Nova MS60 che assomma su di sé le caratteristiche di differenti strumenti topografici: Stazione Totale topografica, Laser Scanner, camera fotografica e ricevitore satellitare GNSS (figura 5).

Lo strumento presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

| STAZIONE TOTALE | |
|--------------------|----------------|
| Osservazioni | Precisione |
| Angoli | 3 cc |
| Distanze prisma | 1 mm + 1.5 ppm |
| Distanze no prisma | 2 mm + 2 ppm |

| SCANSIONE ($\lambda = 658 \text{ nm}$) | | |
|--|--------|---------------|
| Mode | Range | Noise |
| 1000 Hz | 300 m | 1.0 mm a 50 m |
| 250 Hz | 400 m | 0.8 mm a 50 m |
| 62 Hz | 500 m | 0.6 mm a 50 m |
| 1 Hz | 1000 m | 0.6 mm a 50 m |

| FOTOCAMERA | | |
|------------|-------------|--------|
| Tipo | Risoluzione | F.O.V. |
| Overview | 5 Mpx | 19.4° |
| Telescope | 5 Mpx | 2 |

Tabella 2 – Caratteristiche tecniche della Multistation Leica Nova MS60

Nelle figure 6 e 7 sono mostrate rispettivamente la pila circolare del ponte, la spalla e l'intradosso dell'impalcato sulle sponde sinistra e destra del fiume.

Sono state rilevate diverse nuvole di punti. Ciò ha consentito di ottenere una nuvola finale costituita da un sufficiente numero di punti per l'identificazione degli elementi principali del ponte (pile, spalle ed impalcato). Nella figura 8 è rappresentata una vista prospettica della nuvola di punti del ponte. L'immagine fa riferimento alla nuvola di punti opportunamente ripulita, alla vegetazione circostante ed eventuali outliers.

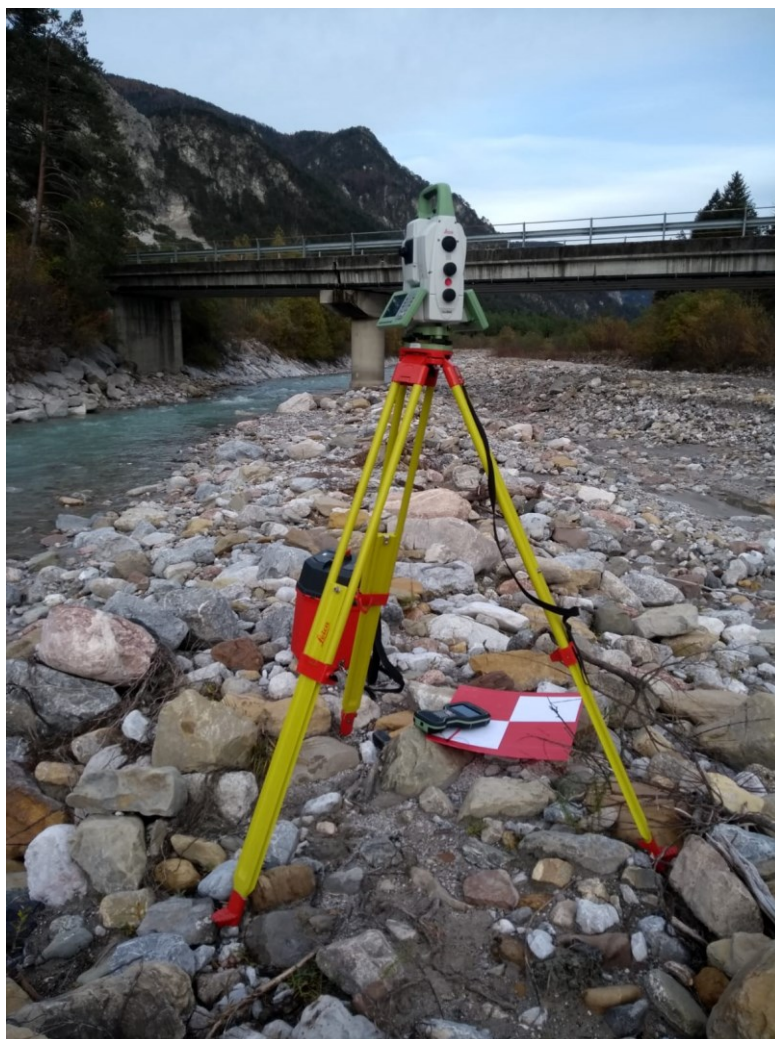


Figura 5 – Multistation Leica Nova MS60 in stazione nei pressi del ponte sul fiume fella in località Cucco



Figura 6 – Particolare della pila e della spalla su sponda sx del ponte sul fiume fella in località Cucco



Figura 7 – Particolare della pila e della spalla su sponda dx del ponte sul fiume fella in località Cucco

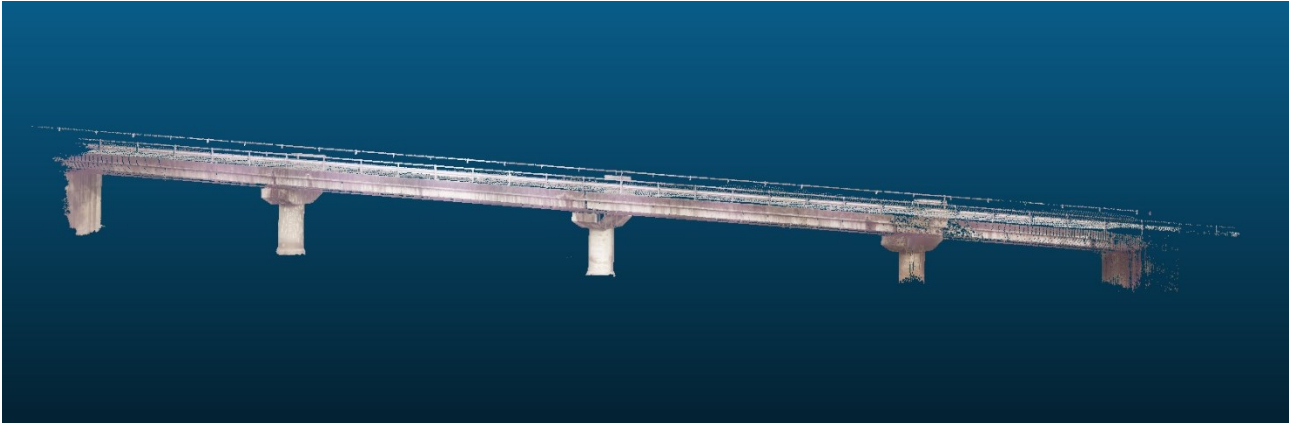


Figura 8 – Vista prospettica della nuvola di punti relativa al rilievo con Multistation Leica Nova MS60 del Ponte sul fiume Fella in località Cucco.

3. ELABORAZIONE DEI DATI

Il rilievo fotogrammetrico del fiume è stato elaborato secondo il seguente schema logico, attraverso l'uso del software Agisoft Metashape:

1. Controllo e selezione delle immagini riprese da drone;
2. Collimazione dei punti misurati a terra (GCP) sulle immagini precedentemente selezionate;
3. Orientamento esterno delle immagini e determinazione di una nuvola sparsa di punti;
4. Calibrazione della camera;
5. Generazione della nuvola densa di punti;
6. Editing della nuvola densa;
7. Generazione del DTM
8. Elaborazione dell'ortofoto nadirale.

Al fine di georeferenziare il rilievo nel sistema di riferimento nazionale ETRF2000, si sono usate le coordinate di 15 punti di appoggio a terra (GCP) misurate tramite GNSS nel medesimo sistema di riferimento, secondo la proiezione cartografica UTM33N.

Il rilievo è stato realizzato con 1113 immagini. L'impronta media del pixel sul terreno è pari a circa 2.2 cm. La precisione del blocco è garantita da 4 punti di controllo che hanno fornito valori medi di differenze di riproiezione di 3.5, 13.4, 5.6 cm nelle 3 coordinate Est, Nord e quota.

Il calcolo della nuvola di punti densa ha permesso di determinare in totale circa 43 milioni di punti.

A partire dalla nuvola di punti densa sono stati derivati:

- il Digital Elevation Model (DEM) con una risoluzione a terra di 20 cm/px. Questo è stato ottenuto a partire dalla nuvola densa fotogrammetrica, a cui è stata aggiunta la nuvola del ponte, sezionato all'intradosso dell'impalcato;
- Ortofoto su piano orizzontale (proiezione planimetrica) con risoluzione di 20 cm/px.

Il rilievo fotogrammetrico da drone integrato con quello realizzato mediante la Multistation Leica Nova MS60 ha permesso di ottenere un modello geometrico tridimensionale dell'alveo del fiume Fella nei pressi dell'abitato di Malborghetto.

Per ulteriore validazione delle quote del modello fotogrammetrico dell'alveo si sono calcolate le differenze con una serie di punti determinati dai tecnici di Idrogea Servizi S.r.l. tramite misure dirette con strumentazione GNSS dell'area bagnata dell'alveo. In figura 9 sono riportate le posizioni dei punti misurati, colorati diversamente in funzione delle differenze fra la quota misurata con strumentazione GNSS e il DTM fotogrammetrico.

Differenze fra quote misurate con il GPS e DTM fotogrammetrico (risoluzione a terra 0.2 m/px)

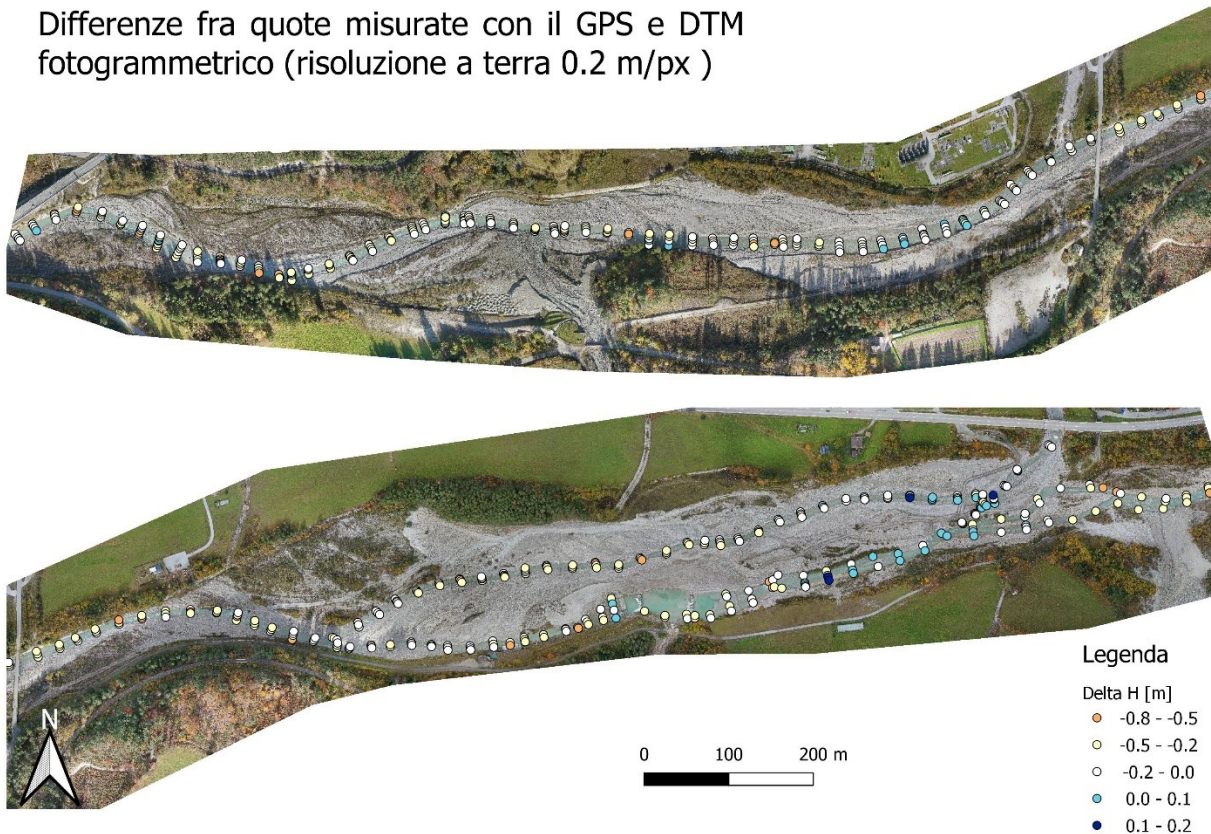


Figura 8 – Differenze tra quote GPS e DTM fotogrammetrico nell'area bagnata del fiume. L'area di studio è stata divisa per comodità di rappresentazioni in due porzioni: a valle del ponte presso l'abitato di Cucco (sopra) e a monte di esso (sotto).

Le differenze fra la quota ottenuta dal rilievo GNSS e quella del DTM fotogrammetrico sono dovute a due fattori:

- Ad un tirante idrico del torrente eccessivamente elevato che limita la capacità della fotogrammetria di penetrare nell'acqua, quando invece i punti del rilievo GNSS sono riferiti a fondo alveo;
- All'errore residuo del modello fotogrammetrico, che ha un'accuratezza geometrica globale di 0.15-0.20 m.

Le differenze di coordinate tra rilievo GNSS e quello fotogrammetrico sono perlopiù contenute tra -0.5 m e +0.1 m. Solo una residuale serie di punti pari al 7% esce da questi limiti. Questi punti sono posizionati dove maggiore è la turbolenza dell'acqua (ovvero dove si forma schiuma superficiale, che impedisce alla fotogrammetria di penetrare nell'acqua) oppure dove il tirante idrico è maggiore. Solo l'1% dei punti presenta un valore di differenze superiore a +0.1 m: questi sono presumibilmente dovuti ad errori di campionamento o errori residui del modello fotogrammetrico. Infine, gli errori maggiori non sono mai sistematicamente concentrati in aree limitate: ciò porta a quantificare in ± 0.35 m la precisione delle quote DTM.

Infine, nella figura 10 viene riportata la sezione del DTM calcolata in corrispondenza dell'asse del ponte sul fiume Fella in località Cucco, mettendo a confronto due differenti DEM con passo di griglia rispettivamente di 0.5 e 1 m. Come si può notare dalla figura le differenze sono minime. Ciononostante, si può notare che per

il DTM a passo 1 m, le quote delle pile dei ponti sono campionate solamente in pochi punti (2 o al più 3). Le quote esterne delle pile risultano essere mediate con le quote del terreno sottostante e dunque leggermente sottostimate. Per avere una ricostruzione più accurata delle pile, consigliamo di utilizzare il DTM a passo 0.5 m.



Figura 8 – sezione longitudinale del ponte sul fiume Fella in località Cucco e differenze tra DTM con passo di griglia 0.5 e 1 m.

A lavoro concluso vengono consegnate, oltre alla seguente relazione:

- DEM con passo di griglia 1 m
- DEM con passo di griglia 0.5 m
- Ortofoto con risoluzione a terra di 20 cm/px
- Solo per visualizzazione qualitativa e non per fini metrici, un'ortofoto con risoluzione a terra di 5 cm/px.
- Nuvola laser del ponte in formato .las e .rcp (facilmente importabile in Autocad)
- Nuvola densa del rilievo fotogrammetrico in formato .las
- Report completo dell'elaborazione dei dati fotogrammetrici con il software Agisoft Metashape.

Milano, 10/11/2020

Prof. Livio Pinto

Ing. Francesco Ioli

Ing. Lorenzo Rossi