



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

**UAV E VARIAZIONI MORFOLOGICHE:
MIGLIORARE IL PROTOCOLLO PER OTTIMIZZARE
I RISULTATI**

Relatore:

Dott. Lorenzo Picco

Correlatore:

Dott. Riccardo Rainato

Laureando:

Andrea Rocco

Matricola:

1109145

ANNO ACCADEMICO 2016/2017

INDICE

RIASSUNTO	VII
ABSTRACT	IX
1. INTRODUZIONE	1
1.1 MORFOLOGIA FLUVIALE	2
1.2 ELEMENTI DEL TRACCIATO FLUVIALE	3
1.3 CLASSIFICAZIONE DEI CORSI D'ACQUA	13
1.4 IL TELERILEVAMENTO E IL GIS	18
1.4.1 PRINCIPI FONDAMENTALI DEL TELERILEVAMENTO	19
1.5 MODELLI DIGITALI DEL TERRENO	22
1.6 UAV IN GEOMORFOLOGIA	25
2. OBIETTIVI	29
3. AREA DI STUDIO	31
3.1 INQUADRAMENTO GENERALE E MORFOLOGICO DEL BACINO PLAVENSE	31
3.2 ASPETTI CLIMATICI DEL BACINO	34
3.3 ASPETTI VEGETAZIONALI DEL BACINO	37
3.4 AREA DI RILIEVO UAV	38
4. MATERIALE E METODI	41
4.1 STRUMENTI UTILIZZATI	41
4.1.1 UAV	41
4.1.2 GPS	42
4.1.3 TARGET	43
4.1.4 SOFTWARE E APP	43
4.2 METODOLOGIA DI LAVORO APPLICATA	45
4.2.1 RILEVAMENTO AEREO E GPS	45
4.2.2 ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICA	47

5. RISULTATI	55
5.1 FASI DI SVILUPPO DEL DTM	55
5.2 ANALISI TEMPORALE ATTRAVERSO DoD	96
6. DISCUSSIONE	103
6.1 DISCUSSIONE DELLE FASI DI SVILUPPO DEL DTM	103
6.2 DISCUSSIONE DEI DoDs REALIZZATI	108
7. CONCLUSIONI	111
8. BIBLIOGRAFIA	113

RIASSUNTO

Il monitoraggio ambientale, tra i molti ambiti, comprende l'analisi dei corsi d'acqua. La conoscenza della loro evoluzione si sta dimostrando sempre più fondamentale per il controllo del territorio e la prevenzione di eventi naturali.

Il presente studio ha analizzato la possibilità di creare un DTM ottenuto da rilevamento fotogrammetrico tramite UAV. L'area presa in analisi è un tratto del fiume Piave localizzato a monte della città di Belluno. Il tratto di alveo preso in considerazione ha le caratteristiche di un corso d'acqua *wandering* con presenza di barre, ghiaie esposte, diversi canali, tra cui canali di morta e svariate zone vegetate. Si presenta quindi come una superficie molto eterogenea.

Per mezzo del *software Photoscan*, il quale si avvale della tecnica *Structure from Motion*, sono state effettuate diverse prove per arrivare ad ottenere un DTM il più possibile confacente la realtà. Si è quindi valutato come il programma elaborasse i dati dell'area presa in considerazione.

L'elaborazione delle superfici con presenza di acqua si è dimostrata difficoltosa però ha restituito dei risultati molto vicini alla realtà.

Il filtraggio della vegetazione, anche a causa dei rilievi effettuati in luglio, con la vegetazione al massimo della sua copertura, ha generato delle probabili imprecisioni.

Inoltre, sono stati riscontrati problemi di elaborazione ai margini del rilievo ed in un tratto a valle dell'area analizzata. Nel primo caso la causa è da attribuire, dato che ci troviamo al confine del rilievo, alle poche immagini a disposizione e di conseguenza all'insufficiente *overlap*. Nel secondo caso è stato effettuato un errore di pianificazione dei voli UAV che hanno portato ad un mancato *overlap* delle immagini nella zona in questione.

Il DTM dimostratosi più corrispondente alla realtà è stato quello elaborato con i seguenti settaggi all'interno del *tool Classify Ground Points*: *Max angle* = 15°, *Max distance* = 0.25 m e *Cell size* = 50 m. Il DTM è stato confrontato con i rilievi LiDAR del 2003 e del 2010. Sono stati elaborati tre DoD, attraverso il *tool* di *ArcGis Raster Calculator*, che hanno verificato i cambiamenti morfologici che ha subito l'alveo nel corso degli ultimi 14 anni.

Ciò che risulta al termine di questa ricerca è la grande potenzialità di questa nuova tecnologia anche se, tutt'ora, non è ancora completamente affidabile per quanto riguarda l'interazione con i dati ottenuti e la loro elaborazione. Nel prossimo futuro, si ritiene necessario effettuare maggiori analisi al fine di definire protocolli di acquisizione e elaborazione dati certi.

ABSTRACT

Monitoring the environment, among many areas of interest, includes water flow analysis. The knowledge of these evolutions is more and more essential to control the territory and protect it from natural disasters.

This study considers the possibility to analyze the morphological changes creating DTMs using UAV technology. The area analyzed is a reach of the Piave River, located upstream of the city of Belluno. The study area is characterized by a predominant wandering morphology. Thus, it appears as a very heterogeneous area.

Using the Photoscan software, which makes use of the Structure from Motion technique, several tests have been carried out to get a DTM as consistent as possible with the reality. It was then evaluated how the program processed the data.

Vegetation filtering, probably due to the fact that the evaluations were carried out in July when the vegetation was at its maximum coverage, generated some inaccuracies.

In addition, processing problems were spotted both at the edge of the evaluation area, and in a downstream section of the analyzed area. In the first case, being at the edge of the evaluation, the cause should be attributed to the very few images available and consequently to the insufficient overlap. For the second point, an UAV flight planning error was made which then resulted in a lack of overlapping between the images in the interested area.

The most consistent to the reality DTM is the one that was processed with the following settings of the Classify Ground Points tool: Max angle = 15° , Max distance = 0.25 m, and Cell size = 50 m. The DTM was then compared with the 2003 and 2010 LiDAR datasets. Using the ArcGIS Raster Calculator tool, three DoDs were computed to analyze the morphological changes occurred during the past 14 years.

To summarize, the main result of this research is the fact that, even though at the present this new technology is not yet fully reliable with regards to the interaction with the data obtained and their processing, it has great potentials. In the next near future, it will be necessary to carry out more analysis in order to define reliable protocols for data acquisition and processing.

1. INTRODUZIONE

Quando si parla di geomorfologia fluviale s'intende l'analisi delle forme e dei processi di modellamento d'origine fluviale (Marchetti, 2000). All'interno di questa branca delle scienze della terra vengono studiati i processi di sedimentazione, erosione e trasporto dei sedimenti che avvengono all'interno del bacino idrografico. Viene analizzata l'evoluzione nel tempo dei corsi d'acqua esaminando l'alveo bagnato, la piana alluvionale adiacente, la vegetazione riparia e, come nel caso dell'Indice Biotico Esteso (I.B.E.), la comunità di macroinvertebrati presente.

La spropositata antropizzazione e inadeguata cementificazione avvenuta nell'ultimo secolo ha esposto i luoghi urbanizzati al rischio idrogeologico derivante dal potere distruttivo dei corsi d'acqua durante eventi di piena. Ne sono la dimostrazione l'alluvione del 2010 nel Veneto e le molteplici alluvioni che si sono verificate negli ultimi anni in Liguria. Al fine di prevenire eventi catastrofici in luoghi urbanizzati vi è sempre più la necessità di studiare l'evoluzione dei nostri ambienti fluviali e il loro mutamento nel tempo. Per la valutazione del rischio idrologico è necessario individuare le pericolosità fluviali in modo tale che possano essere realizzate opere puntali, che prevengano questi disastri pur mantenendo la naturalità globale del sistema fluviale.

In questo campo la tecnologia ha fatto molti passi in avanti e al giorno d'oggi attraverso metodi SIT (Sistemi informativi Territoriali) si riescono ad effettuare analisi e previsioni in ambito territoriale. Al fine di disporre di potenti strumenti per la raccolta e l'elaborazione delle informazioni sono nati i Sistemi Informativi. Essi consentono di mettere a disposizione dei responsabili di decisioni operative tutte le informazioni necessarie per effettuare le scelte più opportune. I sistemi informativi sono l'insieme di risorse materiali (apparecchiature e software), risorse umane e procedure, e se a queste aggiungiamo una componente ambientale otteniamo un SIT. In altre parole esso è un sistema che attraverso specifiche funzioni consente di acquisire, elaborare, gestire e restituire dati georeferiti (Pirotti, 2016).

Attraverso la creazione di modelli digitali del terreno è possibile studiare l'evoluzione del bacino e del reticolo idrografico. L'origine dei dati, per costruire un modello digitale del terreno, può essere ottenuta da cartografia numerica, conversione di curve di livello

stampate su mappe, rilievo topografico in campo, rilievi con GPS, da fotogrammetria con sistemi manuali o automatici e tramite rilievi laser-scanner (LiDAR, *Airborne Light Detection and Ranging*) (Rossi, 2016).

L'utilizzo di droni in questo campo è uno degli ultimi prodotti della tecnologia. Tramite un drone dotato di fotocamera digitale ad alta risoluzione e insieme ad un sistema GPS, è possibile effettuare un rilievo e, dopo una successiva elaborazione, creare un DEM (*Digital Elevation Model*) georeferenziato.

1.1 MORFOLOGIA FLUVIALE

Quando si studia la geomorfologia fluviale si analizzano le forme della superficie terrestre di origine fluviale. Lo scopo fondamentale è quindi l'interpretazione e la conoscenza dei processi fluviali che generano e modificano le forme del paesaggio (Marchetti, 2000). Per descrivere il corso d'acqua e per effettuare una valutazione sull'evoluzione del sistema fluviale abbiamo la necessità di identificare diversi parametri distintivi.

I parametri principali utilizzati sono geometrici, idraulico-sedimentologici e parametri riguardanti la configurazione del corso d'acqua:

Parametri geometrici:

- Pendenza: Uno dei parametri più importanti nella determinazione delle caratteristiche idrauliche, morfologiche e biologiche di un corso d'acqua (Zanella, 2012);
- Grado di intrecciamento: Dato dal rapporto tra la larghezza del collettore in condizioni di piena e la somma delle larghezze dei singoli rami in condizioni di flusso normale (Zanella, 2012);
- Grado di confinamento: Esprime il rapporto tra la larghezza dell'area di esondazione e la larghezza al *bankfull* (Kellerhals, 1972; Rosgen, 1994);
- Rapporto larghezza/profondità: rapporto tra la larghezza del canale a piene rive e la relativa profondità media (Rosgen, 1994);

- Sinuosità: Espressa dal rapporto tra la lunghezza del corso d'acqua e la lunghezza dell'asse vallivo (Leopold *et al.*, 1964);

Parametri idraulico-sedimentologici:

- Portata a piene rive: Comunemente chiamata portata al *bankfull*, indica la portata massima che può transitare lungo un corso d'acqua senza inondare la piana adiacente, per fiumi a bassa pendenza tale portata corrisponde a quella avente un tempo di ritorno di 1-2 anni;
- Trasporto solido totale: Formato dalla somma del trasporto di fondo e trasporto in sospensione;
- Granulometria: Esprime la componente granulometrica del materiale di fondo, influenza la portata solida, la scabrezza e l'erosione;

Configurazione del corso d'acqua:

- Profilo longitudinale: Indica le variazioni di elevazione del corso d'acqua;
- Sezione trasversale: Insieme di informazioni che fornisce le indicazioni sul grado di incisione del canale così come sull'entità delle principali variabili idrologiche (Picco, 2010);
- Planimetria: Raffigura il percorso del corso d'acqua all'interno del bacino idrografico.

1.2 ELEMENTI DEL TRACCIATO FLUVIALE

L'ambiente fluviale è un insieme complesso di vari elementi di origine diversa che determinano la fisionomia e l'idraulica del corso d'acqua. Di seguito andremo a spiegare ognuno di questi elementi i quali non sono divisi ma sono interconnessi tra loro. In molti casi la formazione di un elemento è determinata da un altro, il quale ne è a sua volta influenzato.

Alveo

L'alveo può essere definito dall'insieme dei canali, delle barre e delle isole che si trovano nel corso d'acqua. I confini dell'alveo sono solitamente dati dalle sponde ma non sempre

si riesce con facilità a demarcare l'alveo e la piana alluvionale, in molti casi vi è un passaggio graduale tra le due zone. In questo caso si ricorre all'individuazione della portata a piene rive per distinguere le due aree. L'identificazione della portata al *bankfull* può essere effettuata tramite:

- Ricognizione del livello di *bankfull* dalla morfologia dei sedimenti: Altezza massima delle sponde e delle barre all'interno del corso d'acqua, cambiamento della pendenza tra sponda e piana;
- Indicatori del livello di piena: Linee colorate nei massi all'interno dell'alveo oppure nelle pareti rocciose, linea di erosione con esposizione di radici, depositi di sabbia e limo lungo le sponde più elevate;
- Osservazione della vegetazione: Limite inferiore della vegetazione perenne, presenza di licheni nei massi;
- Geometria della sezione trasversale: Criterio di Wolman (1954) dove il tirante corrisponde al valore massimo del rapporto tra larghezza e profondità media, criterio di Williams (1983) dato dal punto d'inflessione della curva area-larghezza.

Church (1992) propone uno schema di suddivisione degli alvei scalandone la larghezza rispetto al diametro medio dei sedimenti presenti sul fondo. In base a tale criterio, si possono distinguere:

- Alvei di piccole dimensioni o corsi d'acqua piccoli (*small channels*), con il fondo costituito da materiale grossolano e larghezza compresa tra 1 e 10 volte circa le particelle presenti sul fondo;
- Alvei di medie dimensioni o corsi d'acqua intermedi (*intermediate channels*), quando la larghezza dell'alveo è superiore a 10 volte le particelle presenti sul fondo, ma possono essere ancora influenzati da sbarramenti naturali di sedimenti o di tronchi che possono occupare una porzione significativa della loro sezione;
- Alvei di grandi dimensioni o corsi d'acqua grandi (*large channels*), sono quelli in cui la larghezza è di gran lunga superiore rispetto alle dimensioni

granulometriche dei sedimenti e non esistono vincoli laterali che condizionano la forma e le dimensioni della sezione (Rinaldi *et al.*, 2010).

Barre

Leopold *et al.* (1964) suggeriscono che la formazione di una barra inizia con la deposizione di materiale più grossolano al centro del canale; questa asperità sul fondo innesca la formazione di due celle di flusso secondario favorendo così sia l'accrescimento della barra stessa e sia l'erosione delle sponde. Questo processo provoca il conseguente allargamento del canale e una progressiva diminuzione di profondità, fino a che la barra non emerge (Fig. 1.2.1). Da questo momento la barra diviene un'isola e può essere colonizzata dalla vegetazione; quest'ultima ne fissa la superficie e nelle fasi di sommersione, durante le piene, riduce localmente la velocità e intrappola nuovi sedimenti (Marchetti, 2000). Le barre sono corpi sedimentari presenti all'interno dell'alveo e privi di vegetazione perenne. Hanno origine deposizionale e rappresentano siti di immagazzinamento facilmente movimentabile, in genere durante un evento di piena tendono a migrare verso valle (Lenzi, 2016).



Figura 1.2.1: Barre fluviali nel letto del Fiume Piave.

Esistono diverse tipologie di barre fluviali distinte per tipo di ambiente fluviale (corsi d'acqua rettilinei, meandri, etc. (Billi, 1994)), per tipo di materiale costituente (ghiaie, sabbie, etc.), o in funzione della posizione relativa nel canale (laterale, centrale, etc.). Sono sintetizzate nella immagine 1.2.2.

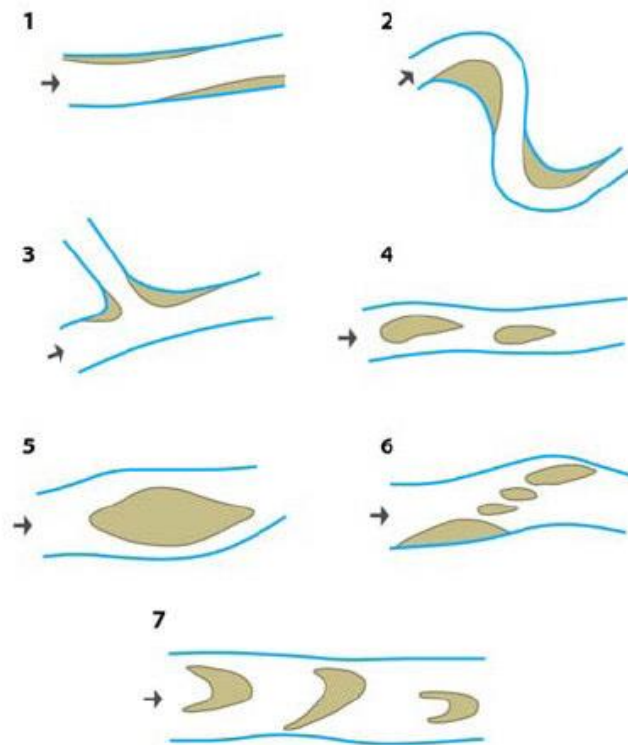


Figura 1.2.2: Tipologie di barre fluviali: 1-Barre laterali, 2-Barre di meandro, 3-Barre di confluente, 4-Barre longitudinali, 5-Barre a losanga, 6-Barre diagonali, 7-Dune di sabbia (Kellerhals *et al.*, 1976).

Isole Fluviali

Possono essere definite come quella porzione di terra, compresa tra acqua (corrente o stagnante) e ghiaie esposte, al di sopra del quale vi sia vegetazione arborea o arbustiva stabile.

In base alle caratteristiche della vegetazione delle isole stesse se ne possono distinguere tre tipologie:

- Isole pioniere: isole di ridotte dimensioni caratterizzate dalla presenza di vegetazione arborea giovane o arbustiva con altezza superiore a 3-5 m ed indicativamente più vecchia di 5 anni;

- Isole giovani: isole caratterizzate da dimensioni maggiori rispetto alle pioniere con vegetazione arborea avente altezze comprese tra 8 e 15 m ed età generalmente comprese tra 5 e 15 anni;
- Isole stabili: sono isole caratterizzate da presenza di alberi maturi. Sono caratterizzate da una certa uniformità e densità costante delle chiome (Lenzi, 2015).

Piana alluvionale

Elemento di origine deposizionale situato a lato del corso d'acqua. È un sito di immagazzinamento di sedimento che forma una vera e propria piana detritica nella zona di esondazione del corso d'acqua. La loro formazione si ha da migrazione laterale del corso d'acqua oppure per deposizione durante eventi di piena.

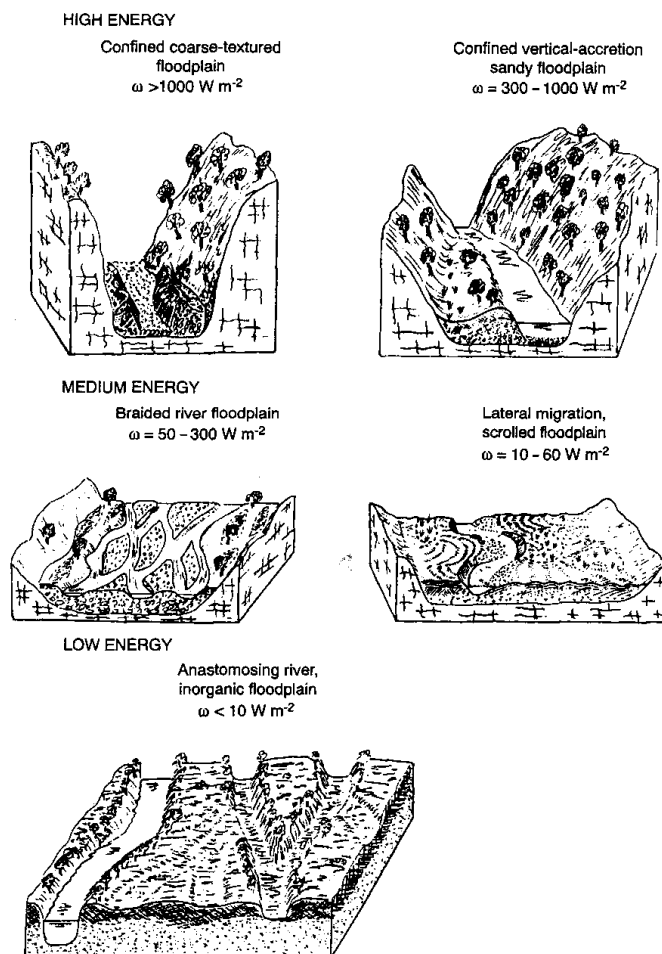


Figura 1.2.3: Tipologie di piane alluvionali (Nanson e Croke, 1992).

Possono essere classificate in tre tipologie, rappresentate nella figura 1.2.3 (Nanson e Croke, 1992):

- Alta energia: Formate da sedimenti non coesivi, ghiaia e sabbia; tipiche dei corsi d'acqua montani;
- Media energia: Formate da sedimenti non coesivi; tipiche dei corsi d'acqua pedemontani;
- Bassa energia: Formate da sedimenti coesivi; tipiche dei corsi d'acqua a bassa e bassissima pendenza (meandriiformi e anastomizzati).

Raschi (*Riffles*)

Rappresentano nel profilo longitudinale degli alti topografici formati da clasti grossolani e ciottoli. Sono di origine deposizionale e possono essere considerati come delle macroforme di fondo. Sono caratterizzati da tiranti idrici minori e velocità più sostenute rispetto alle *pools* adiacenti, costituite da tirante idrico maggiore e velocità minore (Fig. 1.2.4).

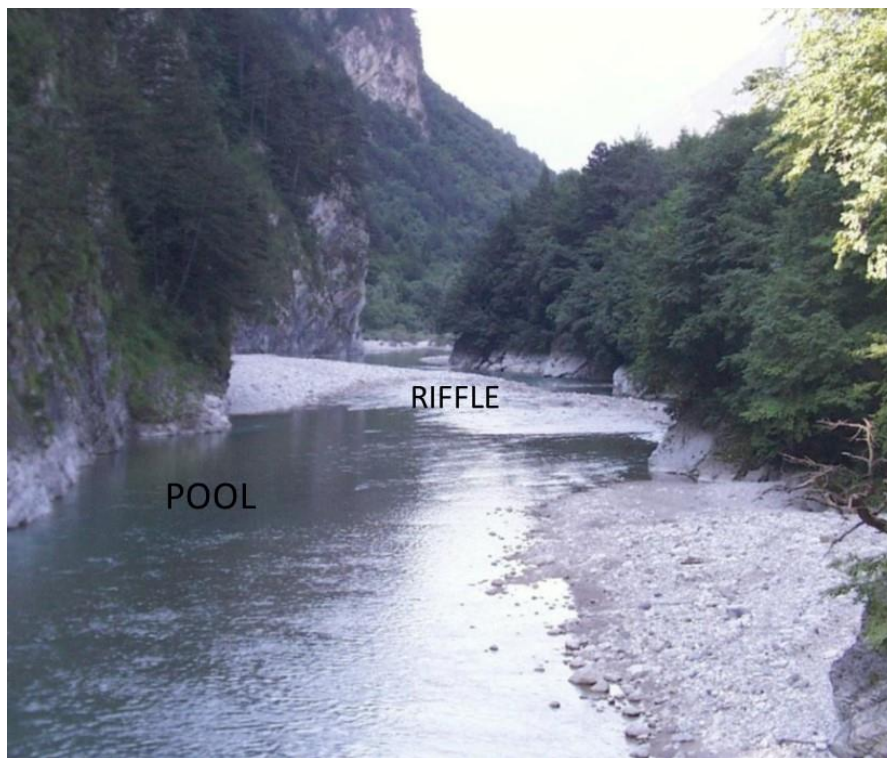


Figura 1.2.4: Formazione di *riffle-pool* e presenza di barre laterali alternate (modificata da Lenzi, 2015).

A volte sono legati alla presenza di barre laterali alternate, formandosi alla testa di esse. Presenti in molte tipologie di corsi d'acqua ad eccezione di quelli a pendenza elevata, superiore a 3-5%, in questo caso abbiamo la formazione di veri e propri salti.

Salti (Steps)

I salti hanno origine deposizionale e si vengono a formare solitamente in corsi d'acqua montani con pendenza piuttosto sostenuta e granulometria grossolana. Sono dei veri e propri gradini che possono essere formati dalla corrente stessa, possono derivare da affioramenti rocciosi, in questo caso comunemente chiamati *rock steps*, oppure dalla presenza di trochi d'albero nell'alveo, in questo caso si parlerà di *log steps*. Generalmente nella zona sottostante uno *step* abbiamo la formazione di una *pool* (Fig. 1.2.5), essa presenta una variazione del tirante idrico da monte verso valle, maggiore è la profondità ai piedi del salto.

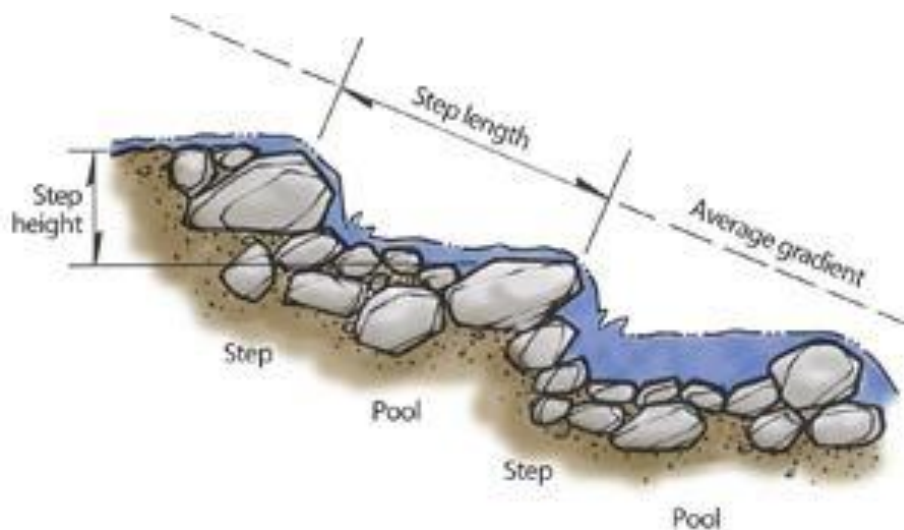


Figura 1.2.5: Esempio di *step-pool* (Moses, 2010).

Canali di deflusso

A seconda dell'entità della corrente idrica abbiamo la formazione di canale di magra, di morbida e di piena. All'interno dell'alveo si vengono a formare differenti sezioni riferibili a ciascun livello idrometrico ad esso associato. Negli alvei più facilmente modellabili, formati da sabbia o limo, possiamo individuare con semplicità i canali formati da livelli idrometrici di magra e di morbida.

Pozze (*Pool*)

Le pozze sono zone meno elevate nel profilo longitudinale dell'alveo, presentano quindi tiranti idrici maggiori rispetto le aree adiacenti (Fig. 1.2.6). La loro formazione è legata all'erosione localizzata dovuta all'aumento della velocità della corrente causata dalla presenza di una zona a *riffle* oppure da uno *step*. All'interno di queste pozze l'idrodinamica vede l'istaurarsi di correnti secondarie e dissipazioni energetiche causate dalla variazione di velocità tra la *pool* e le zone circostanti.

Sono inoltre un importante elemento di diversità dell'ecosistema fluviale poiché creano un habitat ideale per le specie ittiche.



Figura 1.2.6: Esempio di *pool*.

Gli elementi fluviali citati in precedenza (pozze, raschi e salti) sono unità morfologiche che caratterizzano la maggior parte dei corsi d'acqua montani; non sono isolati ma interconnessi tra loro e molto spesso, come si può notare nelle figure 1.2.4 e 1.2.5, possono formare delle configurazioni a *riffle-pool* e *step-pool*.

Meandri

I meandri sono anse curvilinee con successione più o meno regolare che assumono i corsi d'acqua. Possono essere classificati in base alla sinuosità che corrisponde al rapporto tra la lunghezza del corso d'acqua e la lunghezza dell'asse vallivo. In questi corsi d'acqua si vengono a formare delle dinamiche per cui tra un meandro e l'altro, dove il flusso è lineare, si formano zone a *riffle*, le correnti trasversali inducono erosione nella sponda esterna e deposizione su quella interna, modellando barre di meandro all'interno e *pools* nelle zone più esterne come si può notare nella figura 1.2.7. L'andamento meandriforme riduce la pendenza della valle e aumenta la resistenza al moto. La loro formazione può essere vista come un meccanismo per ridurre l'energia cinetica.

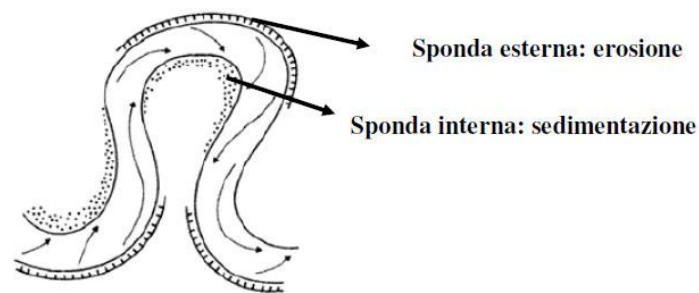


Figura 1.2.7: Processi erosivi e deposizionali nel meandro (Tonon, 2010).

Forme di fondo

La corrente all'interno del corso d'acqua modella le sponde ma anche il fondo, per cui, soprattutto dove troviamo granulometrie fini abbiamo la formazione di diverse forme di fondo (Fig. 1.2.8). Da una velocità della corrente minore ad una maggiore troviamo:

- a. *Ripples* (increspature)
- b. Dune con *ripples* sovrainpostati
- c. Dune
- d. Fondo piano
- e. Antidune
- f. Antidune con frangimento d'onda

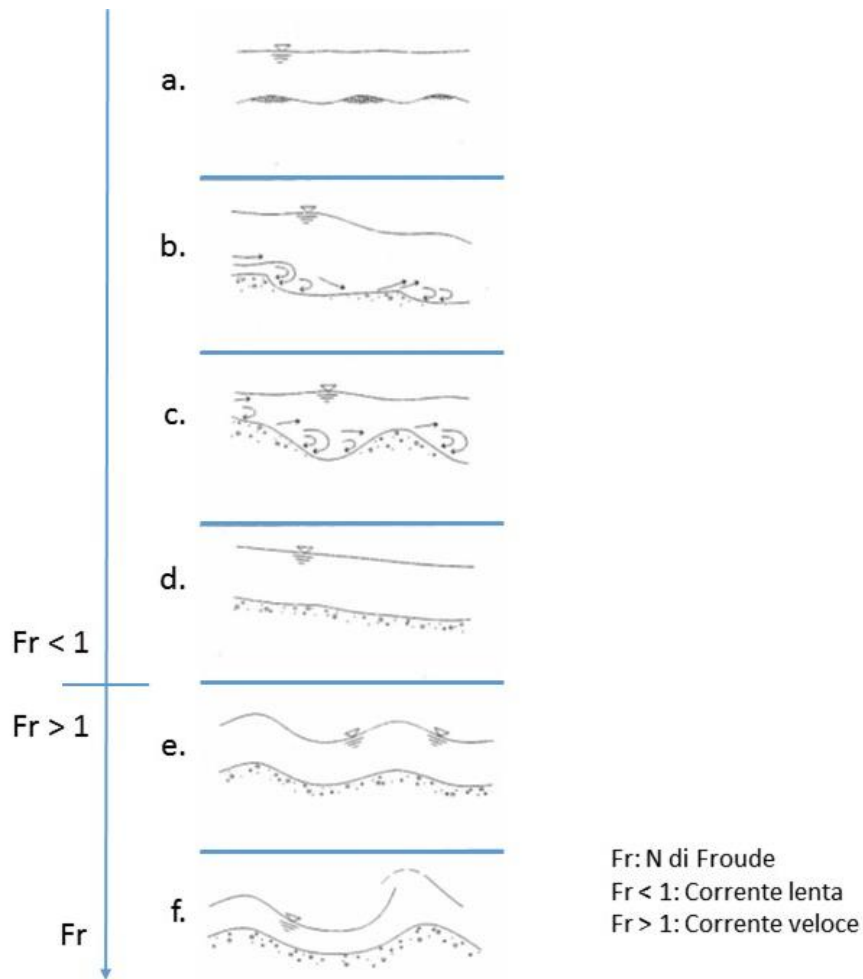


Figura 1.2.8: Classificazione delle forme di fondo (modificata da Lenzi, 2015).

Le forme di fondo hanno un'importante conseguenza sulla resistenza al flusso. La resistenza di forma indotta da esse deriva da sforzi aggiuntivi di natura turbolenta che si sommano a quelli che derivano dalla sola scabrezza di grano. Le sequenze di *riffle-pool* e di *step-pool* possono essere viste come forme di fondo su alvei a granulometria grossolana (Lenzi, 2016).

1.3 CLASSIFICAZIONI DEI CORSI D'ACQUA

Per descrivere e ripartire i diversi corsi d'acqua in letteratura troviamo diverse classificazioni. La più utilizzata è quella di Billi (1994) che raggruppa e suddivide i corsi

d'acqua in cinque conformazioni (Fig. 1.3.1): Corsi d'acqua rettilinei, pluricursali a canali intrecciati, pseudomeandriiformi, meandriiformi e anastomizzati.

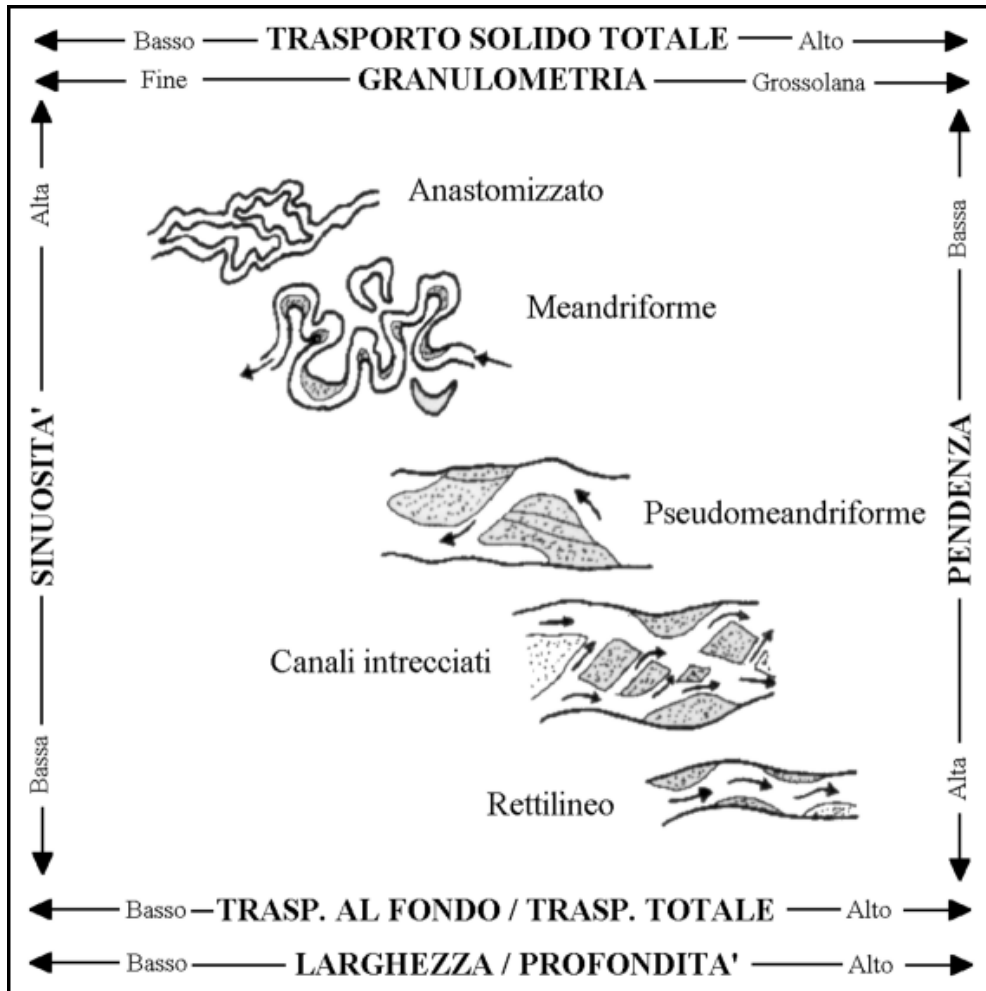


Figura 1.3.1: Schema rappresentativo della classificazione di Billi (1994).

- Corsi d'acqua rettilinei

Sono corsi d'acqua piuttosto rari e brevi (lunghi meno di dieci volte la larghezza dell'alveo) (Fig. 1.3.2). Si formano in zone montane su pendenze elevate (> 0,5-1%) e dove vi è presenza di sedimenti grossolani. Sono comuni gli affioramenti rocciosi e se essi predominano allora l'alveo è definito a fondo fisso. Rari sono i fenomeni di avulsione, comuni invece solo le colate detritiche all'uscita delle vallate. Il sedimento, se è presente, tende a formare barre laterali alternate dello stesso ordine di grandezza del

canale, con sedimento più grossolano in testa. Le barre sono piuttosto mobili e durante eventi di piena tendono a spostarsi rimanendo sullo stesso lato.



Figura 1.3.2: Esempio di corso d'acqua rettilineo (Lenzi, 2015).

- Corsi d'acqua pluricursali a canali intrecciati (*braided*)

Sono piuttosto comuni e si formano in diversi ambienti. Nelle aree periglaciali si originano su ampie pianure alluvionali ghiaiose mentre in ambienti semi-aridi abbiamo la formazione di fiumi a canali intrecciati ad alvei sabbiosi. Si trovano in ambiente alpino al fondo delle valli glaciali fino alla zona pedemontana. Le pendenze sono solitamente comprese tra lo 0,1 e il 3%. Si formano da pendenze sostenute, portate variabili, elevato trasporto di fondo e sponde non coesive. Troviamo alvei ampi con presenza di *riffle-pool*. Vi sono barre più frequentemente sommerse e prive di vegetazione, quelle meno sommerse hanno sedimenti più fini che permettono lo sviluppo della vegetazione rendendo più stabili le barre e favorendo nel tempo un ulteriore deposito di sedimento fine. Sono caratterizzati da elevata dinamicità con spostamento di barre e canali durante

eventi di piena solo all'interno dell'alveo, tranne per eventi eccezionali. Nell'immagine 1.3.3 viene riportata la rappresentazione di un tratto pluricursale a canali intrecciati.

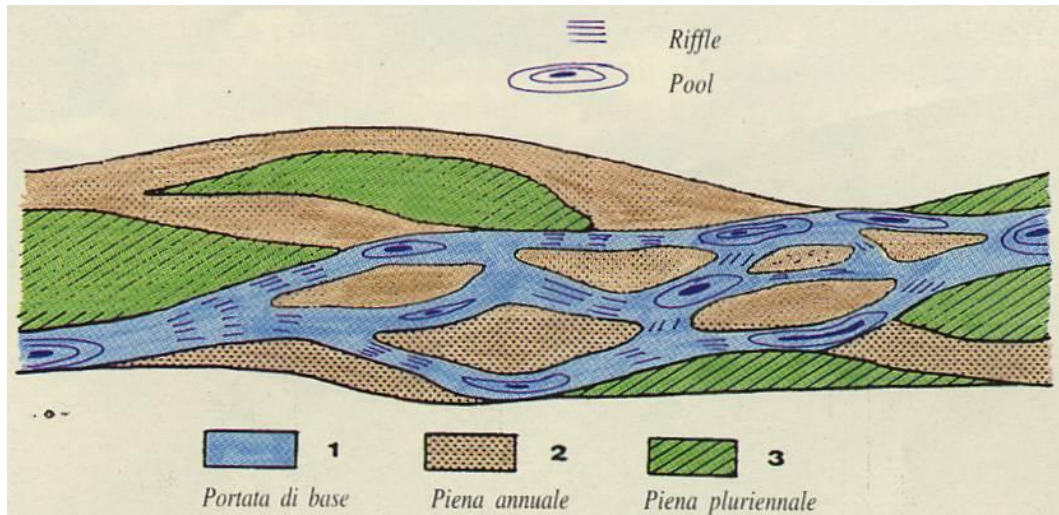


Figura 1.3.3: Rappresentazione di un tratto di corso d'acqua pluricursale a canali intrecciati (Lenzi, 2015).

- Corsi d'acqua pseudomeandriiformi (*wandering*)

Sono una tipologia di corsi d'acqua di categoria intermedia tra i *braided* e i meandriiformi. Mostrano una sinuosità medio-bassa compresa tra 1,3 e 1,5. Sono caratterizzati da barre laterali alternate con forma a mezzaluna ed un solo canale principale attivo (Fig. 1.3.4).



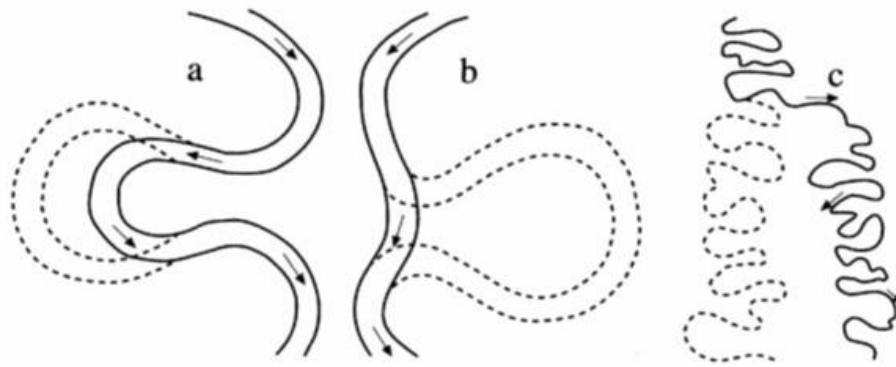
Figura 1.3.4: Esempio di un fiume pseudomeandriiforme (Lenzi, 2015).

Abbiamo la presenza di canali secondari aderenti ad una delle due sponde, i canali possono essere attivi (canali di taglio) o inattivi (canale di morta). I primi si formano dopo piene di una certa entità e successivamente possono occludersi e venire abbandonati oppure possono allargarsi e divenire canali principali, i secondi invece sono canali ormai abbandonati, con acqua stagnante e la barra che lo delimita tende a chiuderlo, favorendo depositi di sabbia e limo. La caratteristica principale di questi corsi d'acqua è la variazione della sinuosità al variare della portata, si passa da fiumi meandriformi a quasi rettilinei. La dinamica delle barre di meandro tende a muoversi verso valle come nei canali rettilinei. La granulometria è eterogenea, varia da sabbia a ghiaia. Sono fiumi comuni in Italia e in molte aree alpine.

- Corsi d'acqua meandriformi

Sono formati da anse curvilinee chiamati meandri e la sinuosità varia da 1.5 a 3. Solitamente la granulometria è sabbiosa, ma vi sono anche casi in ghiaia, e le pendenze sono basse. All'interno dei meandri abbiamo diverse zone, nella parte più esterna, all'apice della curva, a causa di fenomeni di erosione troviamo tratti di *pool*, nella parte più interna, invece, abbiamo fenomeni di sedimentazione e vi è la formazione di barre di meandro mentre nel punto di inflessione tra i due meandri contigui abbiamo tratti di *riffle*.

L'andamento meandriforme riduce la pendenza della valle e aumenta la resistenza al moto, essendo le curve una fonte aggiuntiva di scabrezza. La formazione di meandri può quindi esser vista come un meccanismo per ridurre l'energia cinetica. I meandri non sono stabili nel tempo ma tendono a migrare, questo processo avviene, come si può notare nella figura 1.3.5, per concomitanza di erosione nella sponda esterna e di sedimentazione in quella interna del meandro successivo (taglio di collo). Nei fiumi con sedimenti più grossolani può avvenire il taglio di barra.



a. Taglio di barra

b. Taglio di collo

c. Avulsione

Figura 1.3.5: Rappresentazione dei meccanismi di taglio di barra, di collo e avulsione (Lenzi, 2015).

Nei fiumi meandriformi sono infine frequenti i casi di avulsione, ovvero l'abbandono di un precedente tracciato in seguito ad erosione spondale durante un evento di piena, con la formazione di un nuovo alveo all'interno della piana alluvionale.

- Corsi d'acqua anastomizzati

Sono fiumi pluricursali a due o più canali, presentano sinuosità variabile, in genere meandriformi e interconnessi tra loro (Fig. 1.3.6). Le pendenze dove si formano sono bassissime e le zone che dividono i canali non sono barre ma vere e proprie porzioni di piana alluvionale con dimensioni molto maggiori del canale. Sono piuttosto rari e mostrano grande stabilità d'alveo.



Figura 1.3.6: Esempio di corso d'acqua anastomizzato (Lenzi, 2015).

1.4 IL TELERILEVAMENTO E IL GIS

Con il termine telerilevamento si intende l'acquisizione digitale a distanza di dati riguardanti il territorio e l'ambiente nonché l'insieme dei metodi e delle tecniche per la successiva elaborazione ed interpretazione (Gomarasca, 2011). Per svolgere un'indagine di telerilevamento ci si avvale di una metodologia definita Sistema Informativo Territoriale.

Un Sistema Informativo Territoriale (SIT), o *Geographical Information System (GIS)*, può essere definito come un complesso di apparecchiature, software, risorse umane e procedure che, all'interno di un contesto ambientale, raccolgono ed elaborano informazioni spazialmente riferite con il fine di gestire la zona in analisi. Sta diventando sempre più fondamentale poiché attraverso sistemi informativi molto complessi creano scenari possibili mediante la modellazione della realtà e offrono una molteplicità di scelte di soluzioni al decisore.

Nascita e sviluppo del telerilevamento

Il telerilevamento si può dire sia nato nel 1858 a Parigi, in Francia, quando venne scattata una fotografia aerea tramite il volo di una mongolfiera.

La fotografia aerea fa parte di quell'insieme di scoperte che furono prima utilizzate in campo militare e poi divennero di uso commerciale.

A fine anni '50, durante la guerra fredda, avvennero i lanci in orbita dei satelliti russi e americani per scopi militari e pochi anni dopo iniziò l'osservazione della terra da parte dell'ufficio meteorologico statunitense con il lancio, nel 1960, del satellite TIROS (*Television InfraRed Observation Satellite*).

Il fenomeno del telerilevamento crebbe ampiamente negli anni '70 quando vi fu il lancio del satellite Landsat I nel 1972, il quale segnò l'inizio dell'osservazione della Terra per lo studio del territorio e degli eventi naturali. Attualmente i satelliti impiegati per l'osservazione ed il monitoraggio della Terra sono di proprietà sia di agenzie spaziali, come ESA (*European Space Agency*) ed ASI (Agenzia Spaziale Italiana), che commerciali (es. QuickBird e IKONOS di proprietà dell'americana Digital Globe).

In Italia verso la fine degli anni '60, il Consiglio Nazionale delle Ricerche e le Università maturarono i primi interessi verso la disciplina del Telerilevamento; la prima cattedra fu istituita al Politecnico di Milano nel 1987 (Politi, 2010).

La costellazione di satelliti COSMO-SkyMed, lanciata tra il 2007 ed il 2010, rappresenta il maggior investimento italiano nei sistemi spaziali per l'osservazione della Terra e la sua costruzione è stata commissionata e finanziata dall'ASI e dal Ministero della Difesa per scopi civili e militari (COSMO-SkyMed *System Description*, 2007) (De Agostini, 2012).

1.4.1 PRINCIPI FONDAMENTALI DEL TELERILEVAMENTO

Le informazioni che si raccolgono attraverso il telerilevamento permettono di determinare le caratteristiche della superficie terrestre, sono informazioni relative all'energia delle onde elettromagnetiche (EEM) emesse dall'oggetto rilevato per riflettanza o emissione. Ogni elemento in natura interagisce in un certo modo con la radiazione e quindi si dice che ha una sua firma spettrale tipica, ovvero la funzione caratteristica che esprime la frazione di flusso radiante riflessa al variare della lunghezza d'onda (Mainardi, 2013).

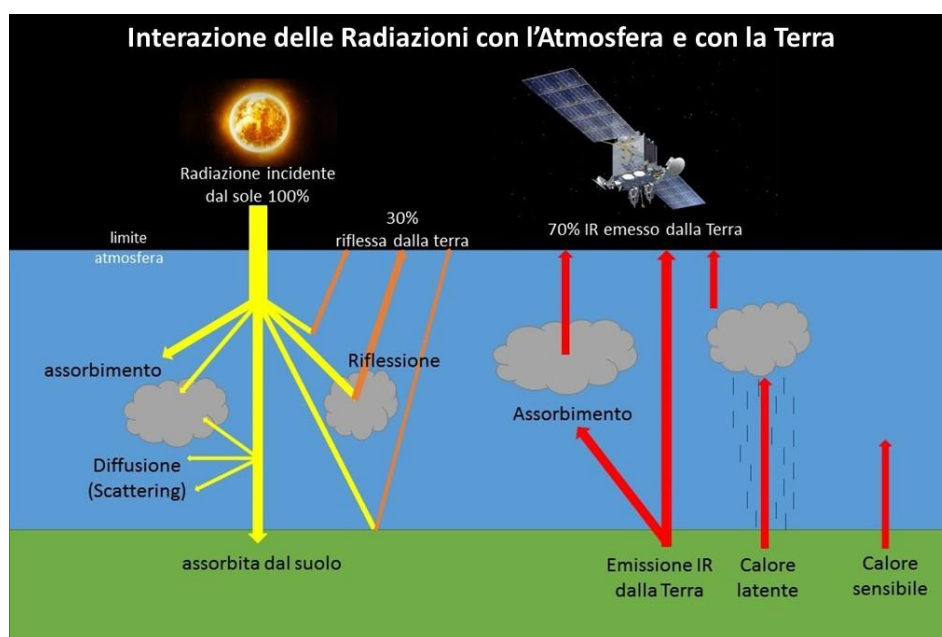


Figura 1.4.1.1: Schema dell'interazione delle onde elettromagnetiche con l'atmosfera e la terra (modificata da Pirotti, 2016).

Questi fenomeni sono regolati da diversi principi di fisica che riguardano aspetti collegati all'energia elettromagnetica che dalla sorgente entra nel Sistema Terra, interagisce con la materia nei diversi stati (gassosa, liquida, solida) ed entra nel sistema sensore (vedi Fig. 1.4.1.1).

L'energia elettromagnetica che viene registrata dal sensore è tradotta in valori numerici e quindi in immagine digitale. L'energia registrata può provenire da fonti esterne oppure può essere integrata all'interno del sensore, distinguiamo quindi sensori passivi, se non vi è emissione di onde elettromagnetiche ma soltanto ricezione di fonti di EEM esterne (es. il sole, l'emissione stessa della superficie terrestre), e sensori attivi quando lo strumento utilizzato emette EEM e ne riceve una frazione riflessa dall'oggetto osservato. Quattro sono le proprietà che caratterizzano e permettono di descrivere adeguatamente le caratteristiche di un'immagine telerilevata:

1. Risoluzione spaziale

La risoluzione spaziale corrisponde alla misura reale dell'unità elementare della matrice, ovvero il pixel o la cella (Fig. 1.4.1.2). All'interno della cella viene riportato il valore di riflettanza registrato, determinato dalla media delle riflettanze di tutti gli elementi presenti in quell'area. L'area ripresa in una singola scansione dipende dalla distanza tra punto focale e superficie ripresa e dall'angolo focale. L'angolo focale è una caratteristica tipica del sensore impiegato mentre la distanza tra il sensore e l'elemento ripreso può variare, inoltre la dimensione del pixel non è costante, poiché il pixel centrale avrà dimensione leggermente minore di quella dei pixel ai margini, dovuta ad una deformazione causata dalla geometria della ripresa. Per tutte queste ragioni si parla di risoluzione spaziale media.

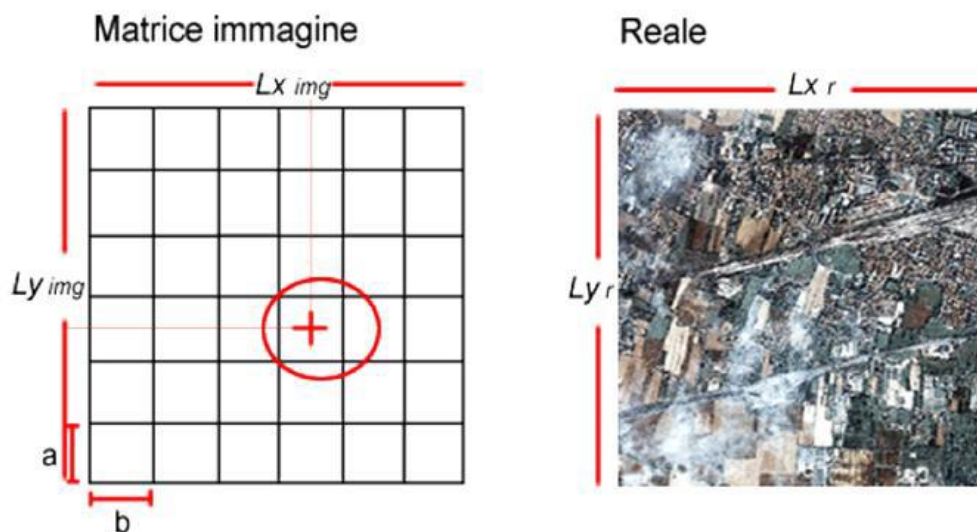


Figura 1.4.1.2: Risoluzione spaziale di un'immagine: $Lx_{img} \times Ly_{img}$ è la dimensione totale dell'immagine in celle o pixel, Lx_r e Ly_r è la dimensione reale, a e b sono i lati del pixel ovvero la risoluzione spaziale, riportata in dimensioni reali corrispondenti a metri (Pirotti, 2016).

2. Risoluzione radiometrica

La risoluzione radiometrica rappresenta la capacità di percepire e codificare in segnale le differenze di flusso radiante riflesso o emesso dalle superfici analizzate. Le caratteristiche radiometriche descrivono il contenuto informativo di un'immagine. Vengono rappresentate con il numero di *bit* usati per registrare l'intensità della riflettanza della radiazione registrata dal sensore. Si va dall'utilizzo di un unico *bit* (immagini in bianco o nero) fino a 64 *bit*. I dati riportati nell'immagine digitale corrispondono ad un numero variabile da 0 a un valore in meno del risultato dato dalla potenza con base 2 e con esponente il numero di *bit*. Ad esempio se un sensore utilizza 8 *bit* per registrare saranno disponibili $2^8=256$ valori nell'immagine digitale, ovvero da 0 a 255.

3. Risoluzione spettrale

La risoluzione spettrale può essere espressa con il numero di bande che un sensore acquisisce e la loro ampiezza (Fig. 1.4.1.3). Ogni sensore rileva l'intensità di radiazioni EEM in una certa zona dello spettro, queste zone sono chiamate bande. Le bande hanno una determinata lunghezza d'onda nello spettro EEM

una scala temporale di giorni, mesi o anni. Esistono varie tecniche di monitoraggio della morfologia attraverso l'utilizzo di modelli digitali di elevazione (DEM, *Digital Elevation Model*). Questi includono sistemi ARGUS di *video-imaging*, *Airborne Light Detection and Ranging* (LiDAR), *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) posizionati a terra, il monitoraggio topografico tradizionale utilizzando un *Real Time Kinematic Differential Global Positioning System* (RTK-DGPS), *Total Station* e tecniche fotogrammetriche (Brunier *et al.*, 2016). Ognuna di queste tecniche presenta vantaggi e limitazioni in termini di copertura spaziale e temporale, di precisione, di competenze tecniche e software di cui necessitano e per quanto riguarda i costi operativi (James *et al.*, 2013).

I DEM possono essere definiti come la simulazione digitale delle superfici del terreno, utilizzando dati di elevazione del suolo. In letteratura vengono organizzati a seconda della fonte dei dati e del campo di applicazione, tre sono le configurazioni descritte (Fig. 1.5.1) (Moore *et al.*, 1991; Weibel e Heller, 1991; Wilson e Gallant, 2000):

- DEM *grid*
- *Triangulated Irregular Networks* (TIN)
- Tubi di flusso (DEM basati su curve di livello)

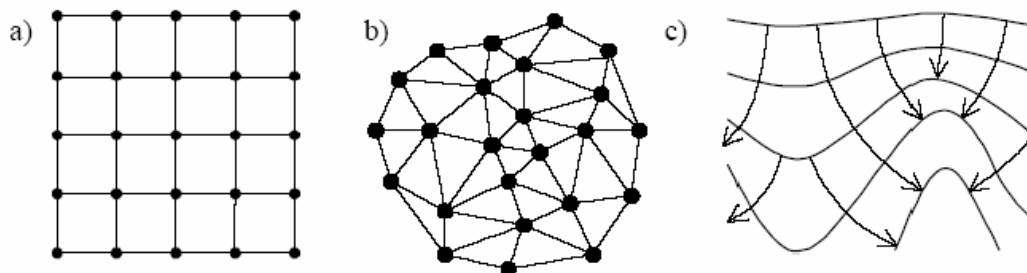


Figura 1.5.1: Differenti strutture del DEM: a) DEM *grid*, b) *Triangulated Irregular Networks* (TIN), c) Tubi di flusso (Moore *et al.*, 1991).

Un DEM *grid* viene rappresentato mediante una matrice, ovvero una griglia regolare formata da molte celle (o pixel) di uguale dimensione contenenti al loro interno l'informazione altimetrica. La dimensione della cella rappresenta la risoluzione spaziale del modello.

Un TIN è, invece, un modello di rappresentazione in cui l'area è suddivisa mediante una serie di triangoli di dimensione variabile e disposti irregolarmente nello spazio. I vertici

dei triangoli costituiscono i nodi del modello e rappresentano i campioni misurati. I TIN sono utilizzati in ambito GIS esclusivamente per rappresentare l'andamento della superficie del terreno attraverso visualizzazioni bidimensionali e tridimensionali (Pirotti, 2016).

La formazione dei due DEM avviene tramite due processi differenti, il DEM *grid* si ottiene tramite interpolazione dei dati rilevati, mentre il TIN tramite triangolazione (Fig. 1.5.2).

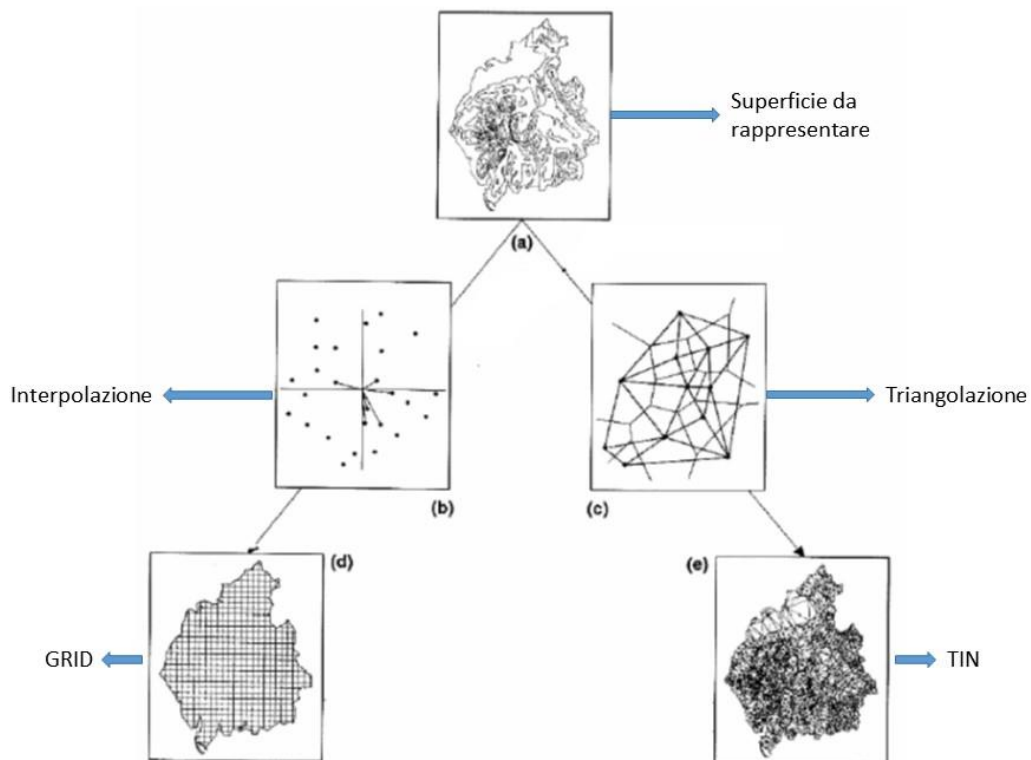


Figura 1.5.2: Confronto tra DEM *grid* e TIN (modificata da Pirotti, 2016).

Un'altra differenza molto importante tra le due tipologie è che il DEM *grid* tende a essere ridondante nelle aree pianeggianti, risulta così meno attendibile e tende a semplificare troppo le superfici montuose e a rappresentare con sovrabbondante numero di punti quelle pianeggianti. La dimensione variabile dei triangoli del modello TIN si traduce in una risoluzione variabile che consente di rappresentare la superficie in modo più efficiente rispetto al DEM *grid* (Pirotti, 2016).

Nonostante la miglior rappresentazione della realtà da parte del modello TIN, nelle analisi GIS, vengono utilizzati maggiormente i DEM *grid* poiché si prestano con più semplicità alle applicazioni di modelli matematici di calcolo e per la loro facilità di implementazione di algoritmi.

È opportuno però effettuare una distinzione dei vari modelli digitali che si possono utilizzare durante le analisi GIS:

- DEM (*Digital Elevation Model*): Comprende tutti i modelli digitali delle elevazioni, è la rappresentazione digitale di una superficie topografica; esso non distingue se è costituito da quote corrispondenti alla prima superficie riflettente o a quelle del suolo nudo.
- DSM (*Digital Surface Model*): È il modello digitale non filtrato rappresentato dalla prima superficie riflettente (terreno, edifici, vegetazione) (Fig. 1.5.3).
- DTM (*Digital Terrain Model*): Modello digitale del solo terreno, corrisponde alle quote dei punti a terra. Mediante l'elaborazione del DSM, attraverso procedure automatica, semimanuali o manuali, è possibile eliminare edifici e vegetazione (Fig. 1.5.3).

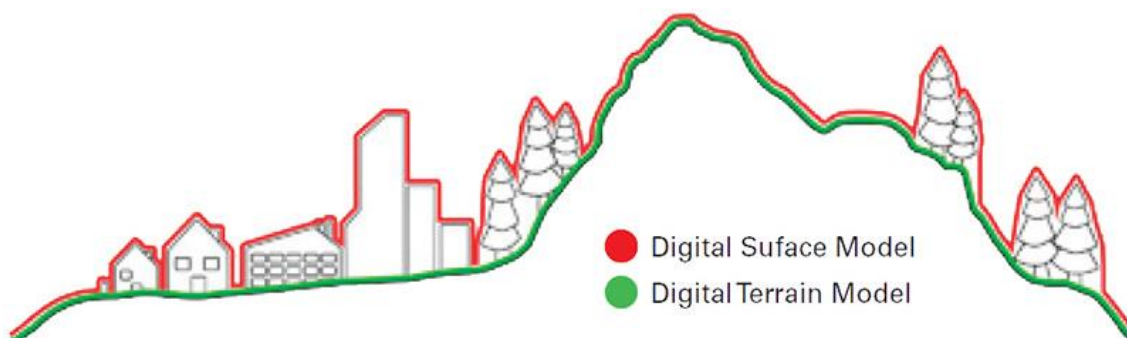


Figura 1.5.3: Differenza tra DSM e DTM.

1.6 UAV IN GEOMORFOLOGIA

Come detto in precedenza svariati sono i metodi per la creazione di modelli digitali, in particolare noi ci concentreremo sull'utilizzo degli UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) o

APR (Aeromobile a pilotaggio remoto), o più comunemente chiamati droni, come strumenti di supporto affidabili e efficienti nel campo del telerilevamento.

Fino a poco tempo fa i droni erano sviluppati e utilizzati esclusivamente per scopi militari. Sono dotati di sensori di precisione, ad esempio, l'IMU (*Inertial Motion Units*) e di giroscopi, per riconoscere l'allineamento e la posizione dell'aeromobile e un microcomputer che agevola la navigazione manuale del pilota. A causa dei costi e della taglia dei droni non fu possibile un uso commerciale. Il recente progresso migliorò l'accuratezza e diminuì i costi dei sistemi GPS aprendo alla possibilità di un sistema referenziale globale che consenta di avere una posizione del sistema UAV univoca nel mondo e nello stesso momento. Comunque una disponibilità non totale di molti segnali GPS ha impedito molte applicazioni commerciali, finché a metà del 1990 l'accuratezza del GPS è scesa a qualche metro. Lo sviluppo dei giroscopi per misurare l'allineamento e l'orientamento, principalmente per i telefoni, ha portato ad aggiornare i modelli di aeroplani, elicotteri e UAV. Questo è uno dei motivi per cui gli UAV hanno avuto sempre più successo. Con l'avvento del GPS di precisione e l'aumento delle prestazioni dei giroscopi è migliorato in particolare il carico utile, la resistenza e la flessibilità per diverse applicazioni degli UAV. Più recentemente grazie a fotocamere sempre più leggere i sistemi UAV si sono trasformati in piattaforme sensoriali mobili. Tuttavia poche sono state le applicazioni in ingegneria civile e nel campo ambientale e non sono state ancora del tutto esplorate, nonostante vi siano buone speranze in termini di diminuzione di costi e di maggior efficienza rispetto ai tradizionali approcci. Le applicazioni di telerilevamento si basano per lo più su GPS, stazione totale, laser scanner oppure tecnologie satellitari. Tutti questi metodi sono però limitati da una costosa e alta intensità di lavoro, oltre a potenziali elevati errori di misurazione. La tecnologia UAV offre la soluzione e una volta che si dimostrerà accurata e affidabile potrà sostituire definitivamente molti metodi di rilevamento. L'area potenziale di applicazione della tecnologia UAV è riportata nella figura 1.6.1.

L'utilizzo dei droni è regolato in ogni paese da direttive e per motivi di sicurezza il volo è limitato al campo visivo dell'operatore. L'operatore è un vero e proprio pilota, dotato di

un patentino certificato, deve garantire la piena sicurezza del volo mantenendo il controllo del mezzo e rispondendo adeguatamente a imprevisti che possono insorgere.

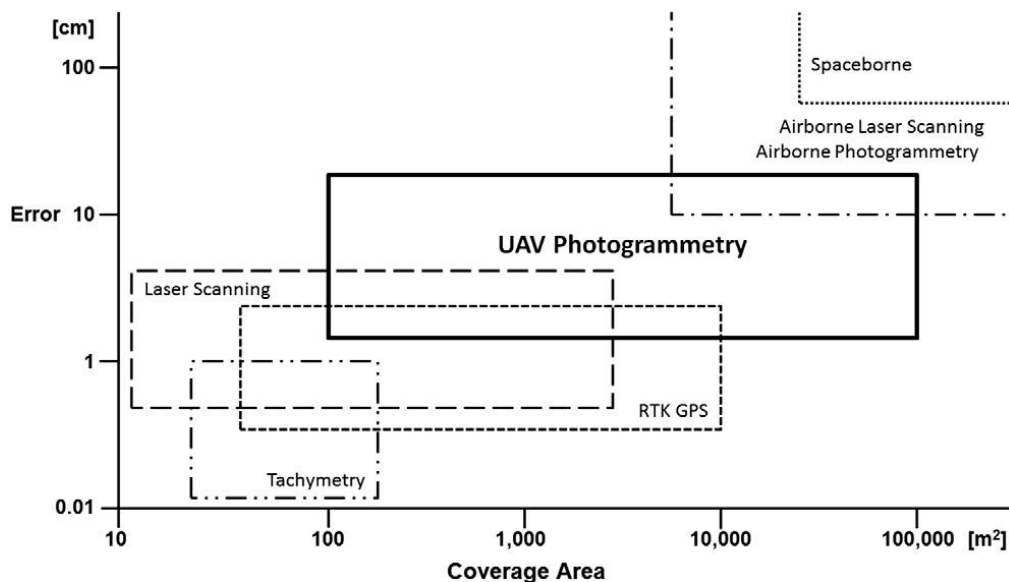


Figura 1.6.1: Area di applicazione degli UAV (Siebert e Teizer, 2014).

Negli ultimi anni i ricercatori hanno mostrato un gran interesse per gli UAV, per applicazioni forestali o agricole, sorveglianza durante eventi di emergenza o per la gestione di eventi catastrofici, gestione del traffico, fotogrammetria per modellazione 3D e molti altri campi di applicazione. Ciò è dovuto principalmente al basso costo, ad una velocità elevata, alta manovrabilità ed elevata sicurezza dei sistemi UAV per la raccolta di immagini. Hudzietz e Saripalli (2011) hanno impiegato con successo tecniche di *structure from motion* (SfM) per la ricostruzione di modelli 3D del terreno da foto aeree di paesaggi. Essi hanno dimostrato come un UAV possa essere uno strumento efficace e preciso per la creazione di modelli del terreno.

Gli UAV più utilizzati sono i *multicopters*, velivoli dotati di alee rotanti. Il loro vantaggio principale è la facilità di funzionamento, l'elevata flessibilità e la stabilità. I modelli più recenti consentono un carico utile fino a 5 kg permettendo il trasporto di sistemi di rilevamento complessi e pesanti. I droni più comunemente utilizzati hanno quattro rotori (*quadrocopter*) ma possono averne anche di più (*hexacooper* o *octocoper*). Richiedono un operatore esperto per il loro funzionamento nonostante sia relativamente facile l'utilizzo, hanno bassa manutenzione ed i costi sono

sostanzialmente bassi. Nella figura 1.6.2 vengono mostrati i componenti principali del *quadrocopter* (Siebert e Teizer, 2014).

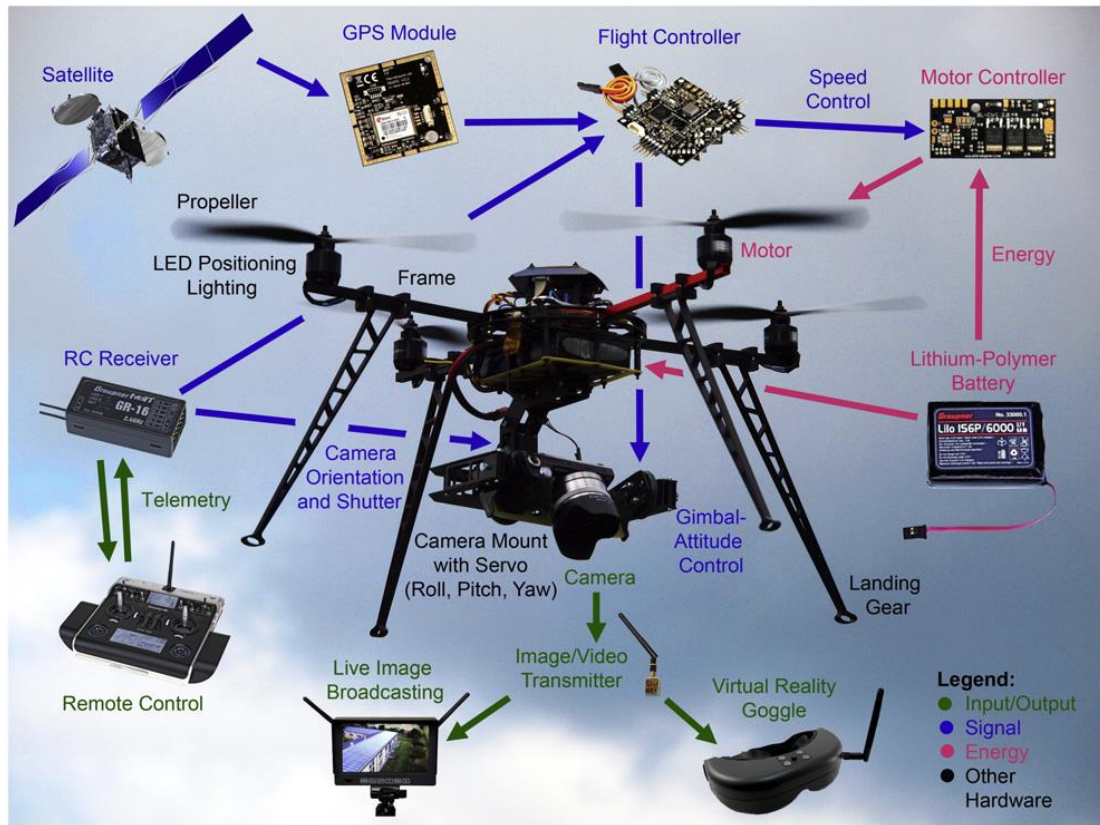


Figura 1.6.2: Componenti principali del sistema UAV (Siebert e Teizer, 2014).

2. OBIETTIVI

Il tema della gestione ambientale e della conoscenza dell'evoluzione del territorio per il controllo e la prevenzione di eventi naturali, è divenuto di elevato interesse negli ultimi anni. La tecnologia ha accompagnato questo interesse e ha fatto molti passi avanti. Se nel corso dell'ultimo decennio il LiDAR era considerato il mezzo più vantaggioso ed efficiente per ottenere modelli digitali del terreno, recentemente, la fotogrammetria si sta dimostrando una valida concorrente. I passi in avanti fatti dai sensori ottici, i nuovi algoritmi sviluppati e i costi sempre più ridotti hanno aumentato notevolmente la competitività della fotogrammetria, anche per aree ad elevata estensione (Renzi, 2014). L'adozione di metodologie di rilievo aereo tramite UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) permettono di ottenere modelli digitali del terreno che possono essere paragonati ai rilievi LiDAR (*Light Detection and Ranging*), ma estremamente più economici da generare ed in tempi rapidi.

Obiettivo della presente ricerca è quello di verificare la reale competitività della fotogrammetria in campo fluviomorfologico, verificarne i limiti ed ottimizzare i risultati. Al fine di appurare la capacità di questa nuova tecnologia verrà in primo luogo estratto il DTM. Sarà valutata la classificazione dei punti del terreno e, infine, sarà utilizzato il DTM ricavato dal rilievo aereo fotogrammetrico mediante UAV per studiare le recenti dinamiche morfologiche del tratto in esame considerando i rilievi LiDAR del 2003 e del 2010, relativi all'area in esame. Si cercherà, quindi, di acquisire informazioni sulla maturità di questa tecnologia e sulle carenze che tutt'oggi sono ancora presenti.

3. AREA DI STUDIO

3.1 INQUADRAMENTO GENERALE E MORFOLOGICO DEL BACINO PLAVENSE

Il Piave è uno dei più importanti fiumi d'Italia, sia per le sue dimensioni che per la sua storia. Sito nell'Italia nordorientale (Fig. 3.1.1) sorge alle pendici del monte Peralba ad una quota di circa 2037 m s.l.m. e sfocia nel Mar Adriatico, presso il porto di Cortellazzo, a nord-est di Venezia (Ravazzolo, 2011).

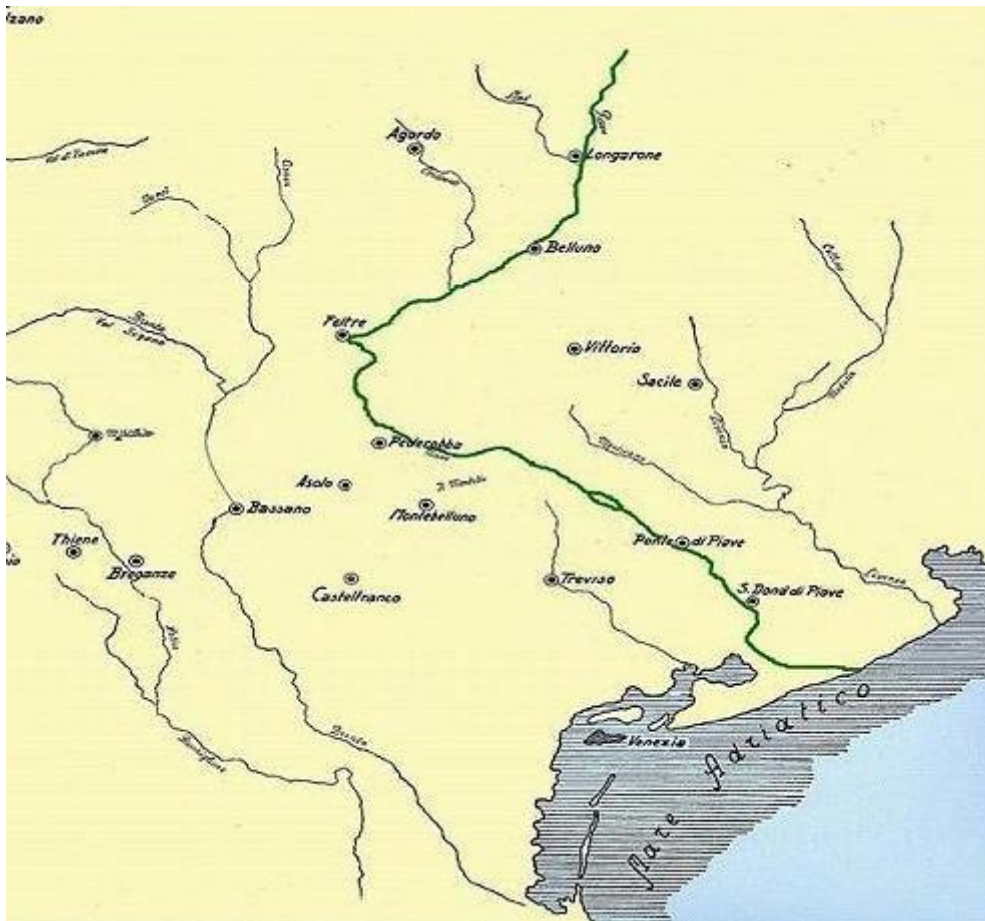


Figura 3.1.1: Inquadramento geografico del fiume Piave (www.kingofwallpapers.com). Il fiume è riportato in verde.

Ha una lunghezza complessiva pari a circa 220 km e il suo bacino ha un'estensione di circa 3900 km² (Fig. 3.1.2).

Per la maggior parte il substrato è costituito da roccia sedimentaria, prevalentemente calcare e dolomite (Picco *et al.*, 2017).

Le sue caratteristiche morfologiche (larghezza, pendenza, granulometria, etc.) tendono a variare molto lungo il corso del fiume. Questa eterogeneità morfologica ha portato ad una suddivisione del Piave, da monte a valle, in tre tratti.

Il primo tratto è composto da un alveo relativamente stretto, pendenze elevate e sedimenti grossolani: caratteristiche tipiche dei corsi d'acqua montani. Ha origine alle sorgenti e termina nei pressi di Longarone (BL) per una lunghezza di circa 70 km. La pendenza varia da valori massimi di 8,8% nella parte superiore per arrivare a pendenze di 0,5-0,6% in prossimità di Longarone. I sedimenti in prossimità delle sorgenti sono molto grossolani mentre hanno dimensioni inferiori, con prevalenza di ghiaie, più ci si avvicina alla parte finale di questo primo tratto. Per quanto riguarda invece la larghezza dell'alveo si passa da pochi metri ad alcune decine di metri; solo da Perarolo a Longarone vi sono alcune sezioni in cui si raggiungono i 400 m.



Figura 3.1.2: Carta idrografica del bacino del fiume Piave (Bondesan, 2004).

Il tratto intermedio, da Longarone a Ponte di Piave (TV), ha una lunghezza di 110 km e presenta gli aspetti tipici dei corsi d'acqua pluricursali a canali intrecciati. Questi corsi d'acqua si formano da pendenze sostenute (superiori al 3%), portate variabili, elevato trasporto di fondo e sponde non coesive. È una morfologia tipica di fiumi che possiedono un'elevata energia. In questo tratto l'alveo ha una larghezza che varia da qualche

centinaia di metri fino a 2-3 km. Inoltre è possibile suddividere l'alveo in "attivo", ovvero quello interessato dai processi fluviali e privo di vegetazione, e quello "inattivo", ossia aree non interessate dalla dinamica del fiume, ma che vengono inondate durante eventi eccezionali con tempo di ritorno superiore ai due anni. La pendenza in questo tratto non varia molto, tra 0,2% e 0,7%, e pure la granulometria risulta abbastanza omogenea con predominio di ghiaie.

Il tratto finale, da Ponte di Piave alla foce, con una lunghezza di 40 km, presenta un notevole cambio morfologico rispetto al tratto precedente: diviene monocursale e larghezza, pendenza e granulometria dei sedimenti diminuiscono in modo consistente. Da Ponte di Piave a San Donà di Piave (VE) il fiume è meandriforme, da San Donà di Piave a Eraclea (VE) il corso d'acqua è rettificato artificialmente, infine negli ultimi chilometri prima della foce ritorna ad elevata sinuosità (Surian, 2004).

3.2 ASPETTI CLIMATICI DEL BACINO

Molteplici sono i fattori che influenzano le caratteristiche climatiche di un bacino, gli aspetti geografici, fisici e meteorici fanno sì che il clima vari da zona a zona. L'analisi andrebbe quindi condotta località per località (Rusconi, 2004), ma in generale si può dire che il bacino del Piave ha un clima temperato-continentale umido. Il bacino è caratterizzato da stagioni ben definite: l'inverno è freddo ma non troppo rigido (temperature medie di 2-4° C) con precipitazioni scarse, il mese meno piovoso risulta essere febbraio con 50-90 mm di precipitazioni medie. In primavera vi è un aumento delle precipitazioni che raggiungono il loro picco nel mese di giugno (90-160 mm di precipitazioni medie), le ultime gelate si presentano a marzo mentre già a maggio possiamo avere punte di 30° C. Il periodo iniziale dell'estate può registrare giornate perturbate, mentre con il proseguo della stagione il bel tempo è più comune, con massime attorno ai 35 °C ed un'umidità molto elevata. Infine, i mesi autunnali sono i più piovosi, a novembre, come a giugno, vi è il picco delle precipitazioni con medie di 90-160 mm e la temperatura inizia pian piano a calare, portando le prime gelate (Rusconi, 2000).

Questa descrizione generale varia a seconda della zona, infatti, nella zona costiera il clima risulta ancor più mite con estati leggermente più fresche ed inverni temperati, nella zona del veneziano le temperature medie annue sono di 18-20 °C (Monai, 2003), viceversa, nelle zone più a monte il clima diventa più rigido con l'aumentare della quota, nel bellunese le temperature medie annue sono di 11 °C, con medie estive di 21 °C e invernali di 1 °C (Barbi, 2013).

Per quanto concerne il regime pluviometrico (Fig. 3.2.1), il bacino del Piave è stato suddiviso in quattro zone:

- Fascia costiera e di bassa pianura. Zona compresa tra il mare e il confine con la provincia di Treviso. È la meno piovosa di tutto il bacino, le precipitazioni medie annue si aggirano tra 800-1000 mm.
- Fascia dell'alta pianura e collinare. Si estende dai confini della fascia precedente ai primi rilievi prealpini, presso Valdobbiadene, ed include le colline antistanti le prealpi del Montello. In questa area le piovosità varia con la quota, si va dai 1000 mm medi annui delle zone più meridionali ai 1400 mm più ci si avvicina alle montagne.
- Fascia prealpina. In questa fascia vengono inclusi lo spartiacque tra le provincie di Belluno e Treviso, la parte settentrionale del Grappa e la valle del Piave fino a Belluno e all'Alpago. La piovosità media annua si assesta tra 1400 e 1600 mm, dimostrandosi la zona più piovosa di tutto il bacino.
- Fascia alpina. Rappresentata dalla parte settentrionale della provincia di Belluno. Al contrario della fascia dell'alta pianura e collinare in questa fascia le precipitazioni calano all'aumento della quota. Nelle zone più meridionali di questa zona i valori medi annui sono di 1500 mm mentre nelle dolomiti attorno a Cortina i valori medi annui sono di 1100 mm.



Figura 3.2.1: Carta delle precipitazioni medie annue (Rusconi, 2000).

3.3 ASPETTI VEGETAZIONALI DEL BACINO

L'eterogeneità del bacino idrografico del Piave fa sì che la complessità della vegetazione presente aumenti esponenzialmente. Verranno perciò utilizzate delle tipologie ecologiche, in ordine dalla foce alla sorgente, per descrivere la flora presente:

- Vegetazione psammofila e termofila. Tipica del litorale sabbioso, comprende vegetazione erbacea pioniera delle prime dune a sparto pungente, praterie di duna o di depressione interdunale a giunco nero, pinete artificiali a pino domestico prevalente e boscaglia termo-xerofila.
- Vegetazione alofila. Flora tipica degli ambienti lagunari salmastri, composta da formazioni erbacee e suffruticose costituite da vegetazione a salicornia e limonio.
- Vegetazione dulcacquicola. Formazioni floristiche di idrofite e di elofite, sono popolamenti caratteristici di acque correnti ma anche di ambienti palustri. Comprendono vegetazione a potameto-lamineto e ninfeeto, fragmiteto e formazioni a tifa e sparganio.
- Vegetazione igrofila e riparia. Composta da aggregazioni vegetazionali d'alveo, le forme sono di tipo forestale costituite arbusti e piante ad alto fusto. Sono presenti dalle golene di bassa pianura al greto fluviale del piano montano. Le aggregazioni sono le seguenti: boschi a salice bianco e pioppo nero, boschi a pioppo bianco e pioppo nero, boschi a ontano nero, flora delle forre umide collinari e montane, boscaglie di salice ripaiolo, salice nero e ontano bianco.
- Vegetazione mesofila. Questa formazione del bacino del fiume Piave presenta forme di tipo forestale e prativo, distribuite tra la bassa pianura e il piano montano inferiore. Comprende formazioni vegetazionali di: boscaglie esotiche a robinia prevalente, quercu-carpineti, castagneti, faggete prealpine e alpine, prati falciabili di pianura e di collina a arrenatereto e prati-pascolo montani a triseteto.
- Vegetazione xerofila. Si trovano tra l'alta pianura ed il piano montano, svariate sono le forme vegetazionali e comprendono: boscaglie a olivello spinoso delle grave di pianura, orno-ostrieti collinari e pedemontati, pinete a pino silvestre e pino nero, magredi di grava e prati aridi di dorsale collinare e brometi montani.

- Vegetazione microterma. Localizzata nel piano montano superiore e nel piano culminale dolomitico del bacino fluviale. Queste aggregazioni floristiche sono costituite da: peccete, lariceti, mugheti, rodoreti-vaccinieti, boscaglie ad ontano verde, praterie calcaree a sesleria, vegetazione pioniera dei ghiaioni calcarei a firmeto, praterie ossifile a nardo, vegetazione pioniera delle rupi e degli sfasciumi silicei, vegetazioni delle rupi calcaree e vegetazione delle vallecicole nivali di vetta (Zanetti, 2004).

3.4 AREA DI RILIEVO UAV

L'area dove si sono svolti i rilievi UAV è situata a nord est di Belluno e copre un'area di 1,53 km² (Fig. 3.4.1).



Figura 3.4.1: In rosso è evidenziata l'area dove sono stati effettuati i voli tramite drone.

L'area ha le caratteristiche di un corso d'acqua *wandering* poiché presenta un grado di intrecciamento modesto ed è principalmente caratterizzata dalla presenza di un unico canale. Possiamo ipotizzare che l'andamento unicursale del fiume sia causato da azioni

antropiche come il prelievo di inerti in alveo e l'artificializzazione delle portate (Lenzi, 2015).

La pendenza media è di 0,0033 m/m e la larghezza dell'alveo attivo è compresa tra i 100 m e i 550 m. Le due sponde del fiume si presentano molto differenti l'uno dall'altro, nella riva destra la vegetazione è stabile, abbondante con presenza di piante già mature. Nella riva sinistra vi è la presenza del canale attivo e la vicinanza di un terrazzo post glaciale ad un livello più elevato del canale (Picco *et al.*, 2017).

Nella figura 3.4.2 si può notare una foto aerea di un tratto del fiume analizzato.



Figura 3.4.2: Immagine aerea di un tratto del fiume Piave.

4. MATERIALI E METODI

Il lavoro svolto lungo il corso del Fiume Piave è stato orientato verso la ricerca di una metodologia che ottimizzi i procedimenti di elaborazione dei dati ottenuti tramite rilievi eseguiti con tecnologia UAV. Ha visto l'impiego di diversi strumenti, *software*, *app* e metodologie di lavoro.

4.1 STRUMENTI UTILIZZATI

4.1.1 UAV

L'UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) utilizzato per i rilievi in campo è il Phantom 4 della DJI (Fig. 4.1.1). Questo drone monta una fotocamera da 12 MP e ha una batteria litio che garantisce un'autonomia di volo di 28 min. Inoltre è dotato di radiocomando che permette di visualizzare in tempo reale di dati di volo (www.djitop.com).



Figura 4.1.1.1: Immagine di un Phantom 4 DJI con relativo radiocomando (www.genialpix.it).

4.1.2 GPS

Il GPS, sigla di *Global Positioning System*, è un sistema che permette la rilevazione di latitudine, longitudine e quota assoluta in ogni punto della superficie terrestre o posto al di sopra di essa. Il funzionamento del sistema GPS è legato a 24 satelliti, di cui 18 operativi e 6 di riserva, orbitanti attorno alla Terra. Si basa sull'analisi del tempo che impiega il segnale radio ad arrivare dal satellite al *receiver*. Per una corretta misurazione è richiesta la ricezione da almeno 4 satelliti.

Il modello di ricevitore GPS utilizzato nella realizzazione del presente lavoro è il Topcon Hiper2 Rover con controller FC236 (Fig. 4.1.2.1). Il ricevitore sfrutta la tecnica di misurazione differenziale (dGPS). Essa si basa sull'impiego di dati acquisiti contemporaneamente da due ricevitori. Il primo ricevitore, in genere fisso, misura gli errori rispetto al punto, conosciuto, in cui è posizionato e li trasmette. Il secondo ricevitore, che può essere sia fisso che mobile, esegue le misurazioni depurandole dagli errori (Lazzari, 2003). Questa tecnica permette di migliorare precisione, accuratezza e affidabilità, delle posizioni orizzontali (latitudine e longitudine) e verticali (quota assoluta), attraverso la correzione del segnale inviato dalla stazione fissa.



Figura 4.1.2.1: GPS Topcon Hiper2 Rover con controller FC236.

4.1.3 TARGET

Per la realizzazione del progetto sono stati realizzati 112 *target* (Fig. 4.1.3.1) da 50 cm per lato. La caratteristica fondamentale è che dovessero essere ben visibili e facilmente individuabili dalle foto aeree. I *target*, precedentemente posizionati a terra e georeferiti attraverso la strumentazione dGPS, hanno permesso la georeferenziazione delle immagini acquisite con UAV.

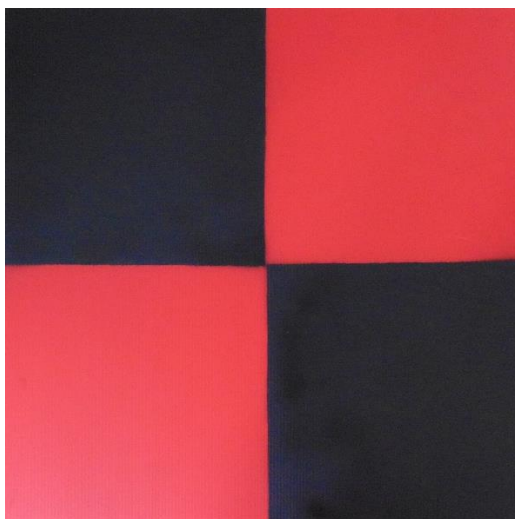


Figura 4.1.3.1: *Target* utilizzato per il rilievo GPS.

4.1.4 SOFTWARE E APP

Per la realizzazione di questo progetto sono stati impiegati: *tool* per calcolare i percorsi di volo, *application* per la gestione dei voli automatici, *software* di analisi fotogrammetrica e analisi GIS (Fig. 4.1.4.1).

Attraverso il *tool MapsMadeEasy – Point Estimator* sono stati creati i piani di volo del drone in modo tale che andassero a coprire tutta l'area di studio richiesta. Una volta elaborati, i percorsi di volo sono stati importati all'interno dell'*app* per voli automatici *Litchi*.

Il *software* utilizzato per l'elaborazione delle immagini ricavate dai voli UAV, che ha permesso la creazione del DTM, è *Agisoft Photoscan*. Questo *software* unisce le immagini a diversa profondità ed è in grado di costruire una nuvola di punti attraverso i *target* posizionati a terra. La nuvola di punti può essere convertita in una *mesh* 3D a

diverse densità (Dallavalle, 2014). Per elaborare il DTM viene utilizzata la tecnica *Structure from Motion* (SfM). Questa tecnica utilizza degli algoritmi che individuano le caratteristiche di una serie di immagini sovrapposte, calcola la posizione e l'orientamento della fotocamera. Sulla base di questi calcoli, le immagini sovrapposte possono essere utilizzate per ricostruire una nuvola di punti dell'oggetto, della superficie o della scena fotografata (Carrivick, 2016). Il risultato di questo processo, però, è privo di un orientamento ed una scala.. Per effettuare la georeferenziazione ci si avvale di punti noti (GCP, target o marker) facilmente riconoscibili dalle immagini e di cui si abbia rilevata la posizione tramite GPS (Arcangeletti, 2016).

Infine le analisi dei vari DTM ottenuti dai diversi voli, del DTM totale di tutti i voli ed il confronto con i DTM LiDAR del 2003 e 2010 sono state eseguite attraverso il *software ArcGis*.

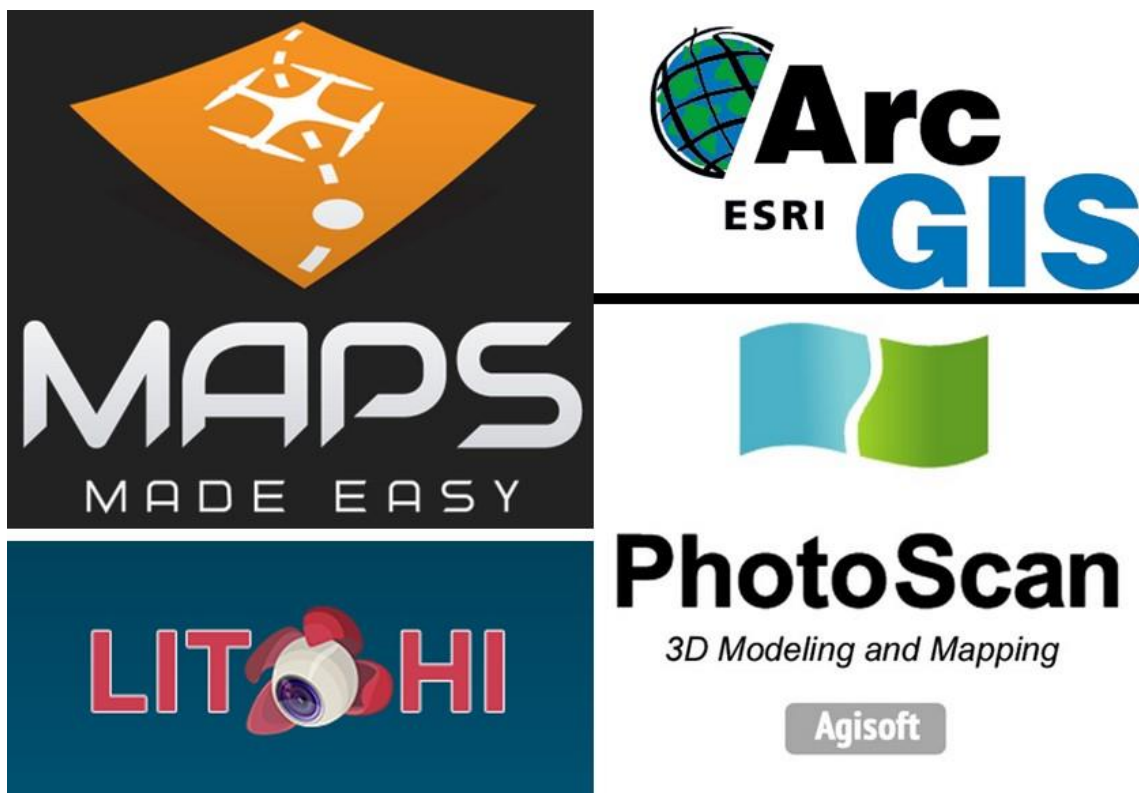


Figura 4.1.4.1: Programmi utilizzati durante lo svolgimento della tesi.

4.2 METODOLOGIA DI LAVORO APPLICATA

Il procedimento seguito nello svolgere la presente ricerca si suddivide principalmente in due parti: i rilievi svolti in campo e la successiva elaborazione dei dati ottenuti. La prima parte comprende azioni volte all'ottenimento di immagini aeree e rilevamento delle coordinate GPS di ogni *target* posizionato a terra. Le azioni successive sono finalizzate esclusivamente alla elaborazione delle immagini ottenute per la creazione di un modello digitale del terreno, che permetta di confrontare la morfologia attuale con quella passata.

4.2.1 RILEVAMENTO AEREO E GPS

Prima di eseguire i rilievi in campo sono stati svolti due test che hanno permesso in primo luogo la scelta dell'altezza, della velocità di volo e della frequenza di scatto delle foto aeree e inoltre hanno consentito di verificare le potenzialità del *tool MapsMadeEasy – Point Estimator* e dell'*app Litchi*.

I risultati che meglio coniugavano qualità delle immagini ed elevata produttività sono stati:

Tabella 4.2.1.1: Impostazioni di volo e fotografiche.

<i>Altezza di volo (m)</i>	<i>Velocità di volo (m/s)</i>	<i>Velocità scatto (n/s)</i>
50	9	1/2

Una volta appurate le reali capacità dei due *software* si è proceduto con la creazione dei piani di volo. Dapprima sono stati creati attraverso *MapsMadeEasy – Point Estimator* (Fig. 4.2.1.1) e sono stati esportati come file klm. Successivamente sono stati importati nell'*app Litchi* e sono stati opportunamente modificati a seconda della morfologia dell'alveo fluviale (Fig. 4.2.1.2).

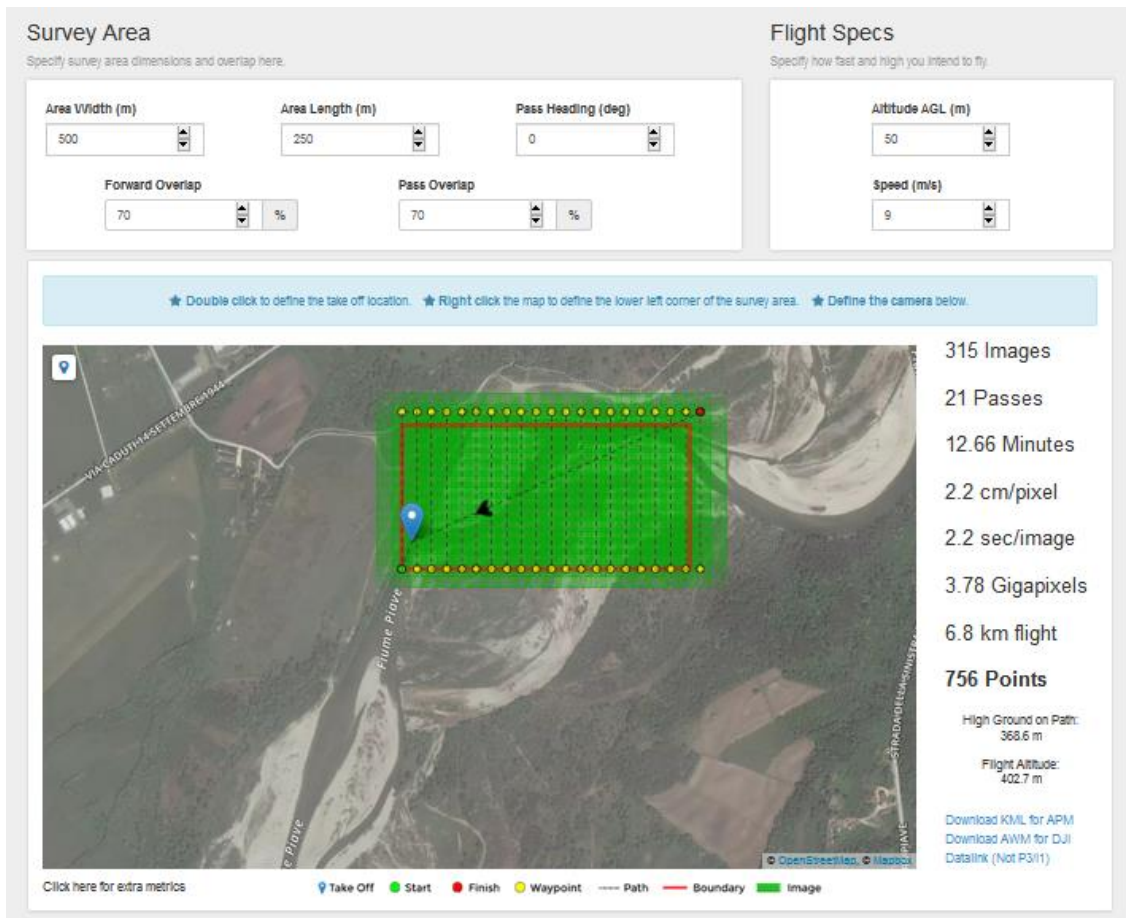


Figura 4.2.1.1: Creazione dei piani di volo mediante *MapsMadeEasy – Point Estimator*.

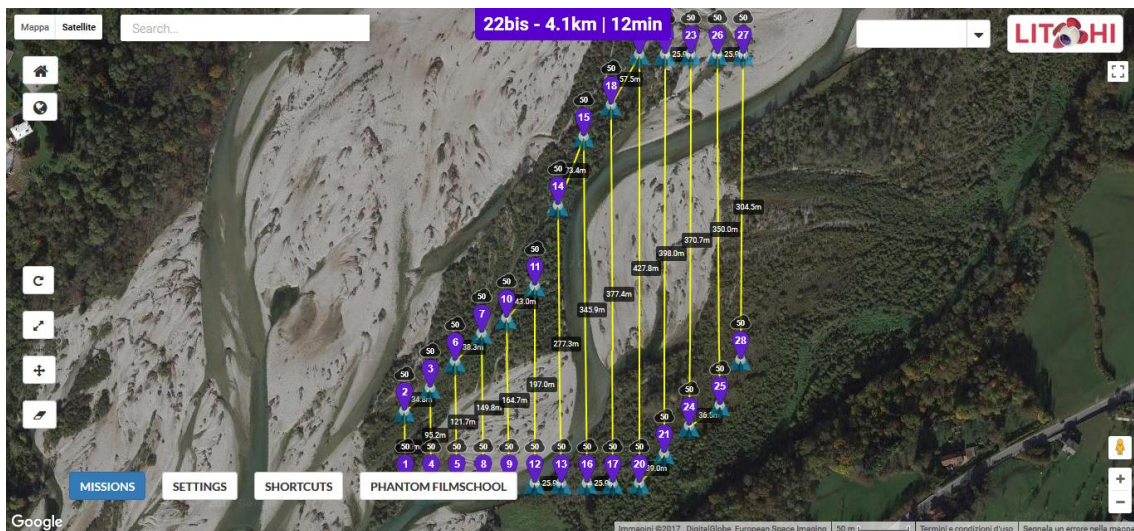


Figura 4.2.1.2: Piano di volo correttamente modificato seguendo la morfologia dell'alveo attivo del fiume Piave.

Una volta opportunamente elaborati i piani di volo, i quali hanno coperto interamente l'area di 1,53 km² oggetto di studio, sono stati svolti i rilievi in campo. In 4 giorni di luglio sono stati effettuati 25 voli per un totale di 6745 foto scattate, sono stati posizionati a terra i target e rilevate le coordinate GPS per un numero complessivo di 634 dati acquisiti (Tab. 4.2.1.2).

Tabella 4.2.1.2: Tabella riassuntiva del lavoro svolto.

<i>Area (km²)</i>	<i>N° voli</i>	<i>Foto scattate</i>	<i>Punti GPS</i>
1,53	25	6754	634

4.2.2 ELABORAZIONE FOTOGRAMMETRICA

L'elaborazione delle immagini ottenute è stata eseguita mediante il *software Agisoft Photoscan*.

In precedenza si è svolto un lavoro di selezione delle immagini scattate, sono state eliminate le foto acquisite nelle fasi di decollo e atterraggio del drone. Sono quindi state utilizzate 5270 foto per effettuare l'elaborazione.

L'importazione delle immagini all'interno del programma avviene tramite il comando *Workflow – Add Photos*, il quale permette di ricercare all'interno del pc le foto da inserire. Una volta eseguita l'importazione il passo da effettuare è allineare le foto attraverso il comando *Workflow – Align Photos*. In questa fase *Photoscan* perfeziona la posizione della fotocamera per ogni foto e costruisce la *Sparse Point Cloud*. Il processo di allineamento per un grande set di foto richiede un tempo elevato di elaborazione oltre ad un hardware ad elevate prestazioni (Tab. 4.2.2.1).

Tabella 4.2.2.1: Consumo di memoria durante il processo di allineamento delle foto (modificata da Photoscan Memory Requirements, Agisoft).

<i>Photos</i>	<i>Memory consumption</i>
100	500 MB
200	1 GB
500	2.5 GB
1000	5 GB
2000	10 GB
5000	25 GB
10000	50 GB

Vista l'elevata mole di dati da elaborare e l'*hardware* a disposizione (32 GB di RAM) si è optato per l'opzione *Medium* dell'*Accuracy*. Mentre nella sezione *Pair preselection* si è selezionata l'opzione *Reference* poiché permette al *software* di avvalersi delle posizioni già misurate dalla fotocamera per effettuare la sovrapposizione delle foto, rendendo più semplice e veloce il processo (Fig. 4.2.2.1).

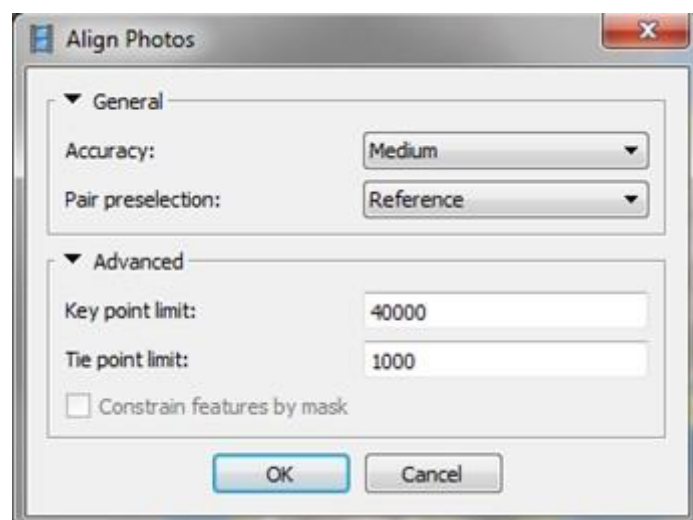


Fig. 4.2.2.1: Comando *Align Photos*.

Successivamente vanno inseriti i *markers*, ovvero i punti dove sono state rilevate le coordinate. Per essere in grado di eseguire un corretto posizionamento dei *markers* è necessario innanzitutto ricostruire la geometria. Questo processo si esegue tramite

Workflow – Build Mesh (Fig. 4.2.2.2) nel quale il *Source data* è la *Sparse cloud* che si è venuta a creare in precedenza. Il *Surface type* è *Height field*, questo è il parametro utilizzato quando si elaborano foto aeree, in quanto richiede una minor quantità di memoria (Tab. 4.2.2.2) e consente di elaborare una mole più grande di dati. Dall’analisi della tabella 4.2.2.2 si è scelto di impostare *Medium* nella sezione *Face count*.

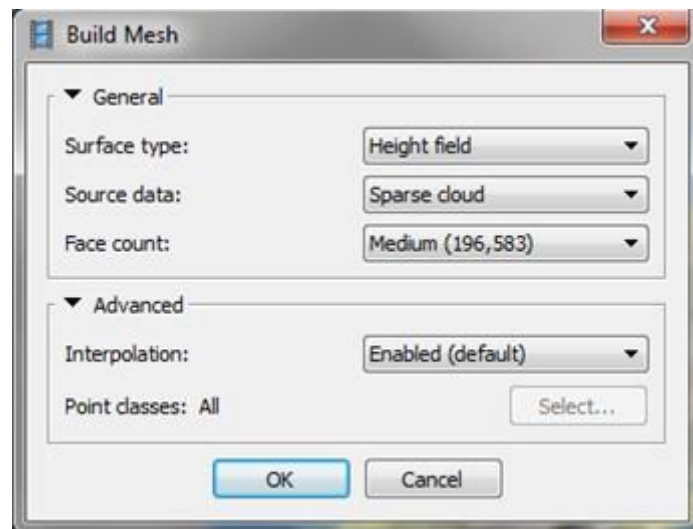


Figura 4.2.2.2: Comando *Build Mesh*.

Tabella 4.2.2.2: Consumo di memoria nella costruzione del modello attraverso il metodo *Height-field* (modificata da *Photoscan Memory Requirements*, Agisoft).

<i>Photos</i>	<i>Lowest quality (MB)</i>	<i>Low quality (MB)</i>	<i>Medium quality (MB)</i>	<i>High quality (GB)</i>	<i>Ultra high quality (GB)</i>
100	25	100	400	1.6	6.4
200	50	200	800	3.2	12.8
500	125	500	2000	8	32
1000	250	1000	40000	16	64
2000	500	2000	8000	32	128
5000	1250	5000	20000	80	320
10000	2500	10000	40000	160	640

Ora è possibile inserire i *markers*. Una volta selezionata la foto si è focalizzata l'attenzione sul punto ove si sono rilevate le coordinate e si è selezionato il comando *Create Markers*. Apparirà quindi il nuovo *marker* creato. È fondamentale selezionarlo e rinominarlo con lo stesso nome del punto delle coordinate. Sarà necessario controllare la posizione del *marker* su ogni foto e perfezionare la sua posizione. Questo procedimento verrà ripetuto per ogni *marker* inserito. Sono stati inseriti nel progetto 518 *markers* (Fig. 4.2.2.3).

Una volta inseriti si può procedere con l'importazione delle coordinate, aprendo la finestra di dialogo *Import*, e la selezione del sistema di coordinate. In questo caso il sistema di coordinate è: WGS 84 / UTM zone 32N (EPSG: 32632).

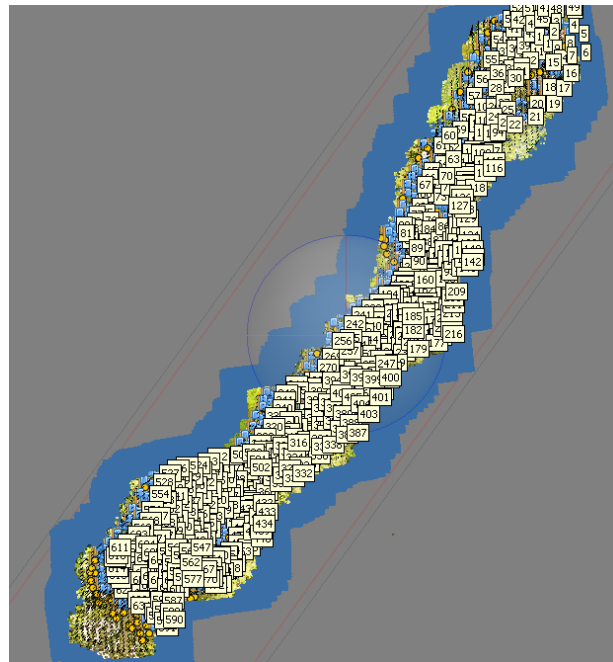


Figura 4.2.2.3: *Markers* inseriti.

Prima di creare la *Dense Cloud* si è ottimizzato l'allineamento delle immagini attraverso il comando *Optimize* il quale corregge possibili distorsioni. Dopodiché, sulla base delle posizioni stimate, il programma calcola le informazioni di profondità di ogni singola immagine, in modo tale da unirle in un'unica nuvola di punti. Il comando che permette la creazione della nuvola di punti è *Workflow – Build Dense Cloud*. L'operazione è stata

settata con *Quality: Medium* e *Depth filtering: Mild* (Fig. 4.2.2.4). È stata scelta l'opzione *Mild* poiché è quella più adatta a scene complesse con piccoli dettagli.



Figura 4.2.2.4: Comando *Build Dense Cloud*.

Il passaggio successivo è stato quello di classificare la *Dense Cloud* per poter ricavare i punti del terreno, in modo tale da poter estrarre il DTM. È una procedura automatica che riesce ad identificare i punti del terreno. In primo luogo il programma suddivide la *Dense Cloud* in celle di una data dimensione ed individua il punto più basso all'interno della cella. La triangolazione di questi punti dà la prima bozza del modello del terreno. Il secondo passaggio consiste nel soddisfare due condizioni: che il punto si trovi ad una certa distanza dal modello del terreno e che l'angolo tra il modello del terreno e la linea, per connettere questo nuovo punto con il punto della classe *Ground*, sia inferiore ad un certo angolo (Agisoft Tutorials). Per effettuare la classificazione si utilizza *Tools – Dense Cloud – Classify Ground Points* (Fig. 4.2.2.5). In questo passaggio sono state effettuate diverse prove di settaggio, che vedremo successivamente nel capitolo Risultati, per quanto riguarda:

- *Max Angle (deg - °)*: impostazione di un angolo limite tra il modello del terreno e la linea che collega il punto in questione con un punto della classe *Ground*. Il valore assume la pendenza massima del terreno all'interno della scena.
- *Max Distance (m)*: impostazione del limite di distanza tra il punto in questione ed il modello del terreno. Il parametro corrisponde alla variazione massima di elevazione del terreno alla volta.

- *Cell size (m)*: definizione dell'area che non comprende nessun punto del terreno (Es. Zone boscate, edifici). Nel progetto le aree boscate sono ben distribuite lungo tutta l'area in analisi, sono naturaliformi e non sono regolari. All'interno delle zone boscate sono sempre presenti punti riconducibili al suolo nudo, per cui, non essendoci la presenza di grandi edifici o grandi opere, si è deciso di mantenere l'impostazione di *default* di 50 m.

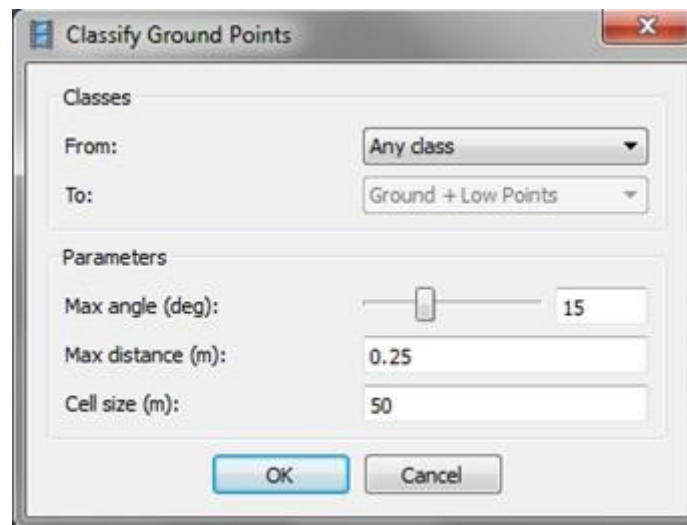


Figura 4.2.2.5: Immagine del *tool Classify Dense Cloud*.

Una volta effettuata la classificazione ed individuati i parametri più corretti si passa alla creazione della maglia attraverso il comando *Workflow – Build Mesh*. In questo secondo passaggio di *Build Mesh* il *Source data* è la *Dense Cloud* e nella sezione *Point classes* si selezionerà solo la classe *Ground* (Fig. 4.2.2.6).

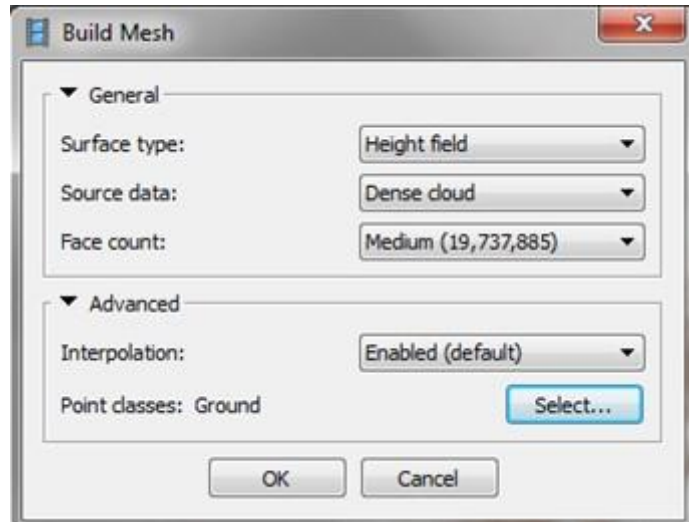


Figura 4.2.2.6: Comando *Build Mesh* dopo aver effettuato la classificazione della nuvola di punti.

Ora è possibile creare il DTM mediante il comando *Workflow – Build DEM*. Anche in questo caso si selezionerà nel menu a tendina del *Source data*, *Dense Cloud* e nella sezione *Point classes*, *Ground*. Una volta terminata l'operazione sarà possibile esportare il DTM in formato TIFF da *File – Export DEM* e con la risoluzione della cella con cui si vuole lavorare. Il programma permetteva l'esportazione con cella fino a 0.08 m. In questo caso il DTM è stato esportato con cella 0.5 m per poterlo poi paragonare con i DTM ottenuti tramite rilievi LiDAR del 2003 e del 2010.

Per ottenere anche l'ortofoto del rilievo si procede eseguendo il comando *Workflow – Texture*. Una volta terminato il processo si può creare l'ortofoto attraverso *Workflow – Build Orthomosaic* ed al termine di quest'ultimo passaggio è possibile da *File – Export Orthomosaic* esportare l'ortofoto con cella fino a 0.05 m (Fig. 4.2.2.7).

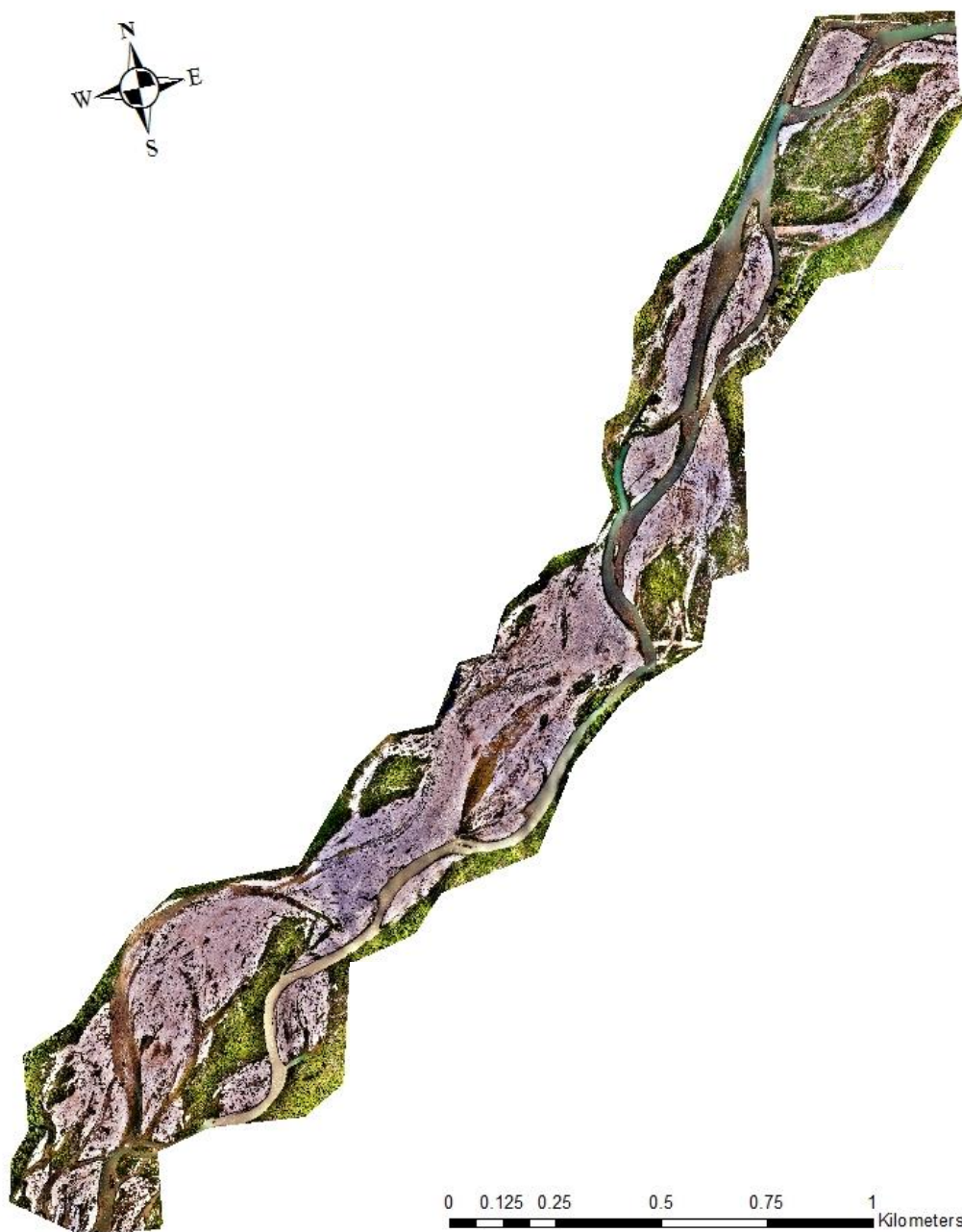


Figura 4.2.2.7: Ortofoto dell'area di studio.

5. RISULTATI

5.1 FASI DI SVILUPPO DEL DTM

I passaggi descritti in precedenza sono stati effettuati inizialmente solo su piccoli tratti, su 6 dei 25 voli realizzati. I voli selezionati, distribuiti in modo uniforme lungo tutta l'area presa in analisi, hanno in media 194 foto, 33 *markers* presenti ed un'area media di 94000 m². Sono state eseguite prove per ottenere il *setting* più consono, che elaborasse il DTM più corrispondente alla realtà possibile. Le prove sono state compiute sul *tool Classify Ground Points* del *software Photoscan*. Sono stati variati i campi *Max angle (deg)* e *Max distance (m)*.

Per verificarne la corrispondenza, i DTM estratti sono stati elaborati attraverso il *tool Fill (Spatial Analyst)*. Il *tool* permette di eliminare le imperfezioni che si vengono a creare nel *raster* a causa di dati errati o mancanti (per esempio, depressioni). Questo *tool* è stato utilizzato in tutti i DTM estratti. Una volta elaborati i modelli del terreno è stato possibile individuare 9 sezioni trasversali sui 6 voli analizzati. Le sezioni trasversali sono state selezionate in modo tale che fossero più eterogenee possibili, così da analizzare come il programma si comporta nei diversi ambienti e verificarne eventuali lacune nel ricavare i punti del terreno. I dati estratti sono stati importati in *Excel* dove, una volta realizzati i grafici dei DTM con settaggio diverso l'uno dall'altro, sono stati comparati e si è individuato il *setting* migliore.

Di seguito vengono riportate le immagini di ogni sezione trasversale, grafico *Excel* e relativa scelta finale del *setting* più appropriato secondo le considerazioni eseguite.



Figura 5.1.1: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 43 e 11. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il *tool* di ArcGis Fill (*Spatial Analyst*)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance* (m), lasciando il valore di *default* nel *Max angle* (°)(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle* (°), impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance* (m)(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata si localizza in una zona caratterizzata dalla presenza del canale principale, ghiaie esposte e zone vegetate.

In figura 5.1.1A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, in corrispondenza delle zone vegetate vi è un aumento di quota nel grafico della sezione. Inoltre, è possibile rilevare come il *software Photoscan* abbia problematiche nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Queste imperfezioni vengono limitate attraverso l'uso del *tool Fill (Spatial analyst)*, poiché il *tool* elimina solo le depressioni che si formano e non gli alti che il programma restituisce in corrispondenza dell'acqua. I picchi che si formano vengono eliminati successivamente utilizzando il *tool* di *Photoscan Classify Ground Points*.

In figura 5.1.1B viene riportato il confronto dei DTM elaborati, attraverso il *tool Classify Ground Points*, con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle* non è stato variato durante questa prova, si è lasciata l'impostazione di *defalut* corrispondente a 15°. Nella tabella 5.1.1 vengono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova:

Tabella 5.1.1: Valori utilizzati nella prova riportata nella figura 5.1.1.B.

<i>Max distance (m)</i>
1
0.5
0.25
0.1

Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato più vicino alla realtà sono stati analizzati diversi tratti specifici della sezione. Innanzitutto si sono confrontati il punto iniziale e finale della sezione, corrispondenti ai punti 11 e 43 rilevati con il GPS. Vista l'elevata differenza di quota nel punto 11 del DTM elaborato con 0.1 m è stato possibile scartarlo. Dopodiché si è posta l'attenzione sulle zone vegetate, sono stati scartati i DTM elaborati con 1 e 0.5 m poiché riportano picchi non riconducibili al suolo nudo. Si è così ritenuto più corrispondente alla realtà il DTM elaborato con 0.25 m.

In figura 5.1.1.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando il parametro 0.25 m, individuato in precedenza, nella *Max distance*.

I parametri utilizzati in questo primo confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.2):

Tabella 5.1.2: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.1.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	10
	15
	20
	25
	30

Come nella sezione precedente, dapprima sono state analizzate le quote del punto iniziale e finale. È stata quindi scartata l'opzione elaborata con 10°. Successivamente abbiamo analizzato le sezioni rimanenti e, in base ai picchi presenti, alla regolarità della sezione e alla conoscenza della zona in analisi è stato determinato che il DTM più corrispondente alla realtà è quello elaborato con 15°.

Infine, in figura 5.1.1.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa prima prova si è dimostrato il DTM elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15° (Tab. 5.1.3).

Tabella 5.1.3: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	15

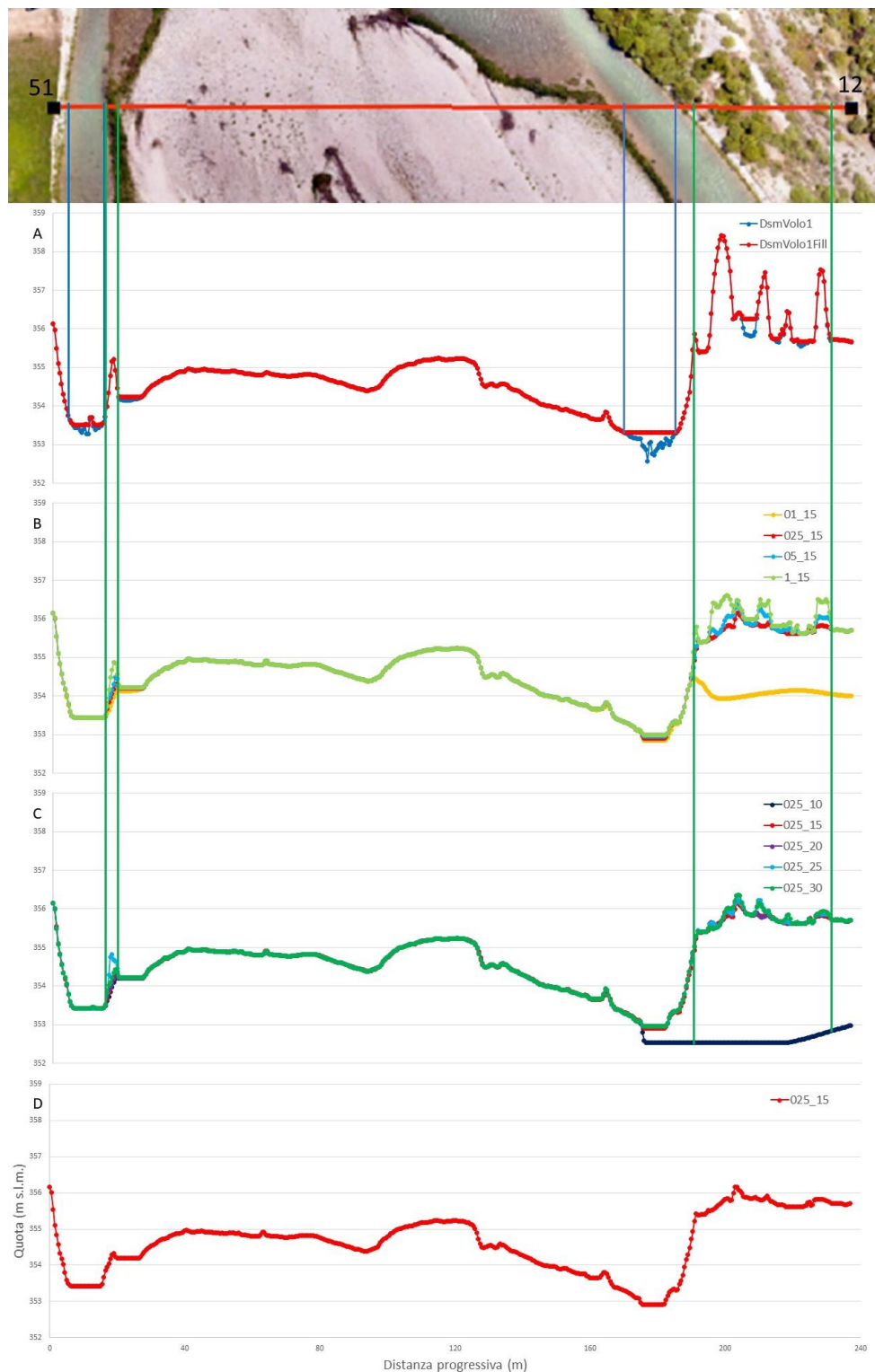


Figura 5.1.2: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 51 e 12. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il *tool* di ArcGis Fill (*Spatial Analyst*)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance* (m), lasciando il valore di *default* nel *Max angle* (°)(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle* (°), impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance* (m)(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata si localizza in una zona caratterizzata dalla presenza di una barra nuda delimitata da un canale secondario situato in prossimità del punto 51 e dal canale principale. Inoltre, in prossimità del punto 12 vi è alternanza di zone vegetate e ghiaie esposte.

In figura 5.1.2A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, come in precedenza, in corrispondenza delle zone vegetate vi è un aumento di quota nel grafico della sezione. Inoltre, è possibile rilevare come il *software Photoscan*, in corrispondenza dei canali, mostri le stesse problematiche evidenziate precedentemente nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Queste imperfezioni vengono eliminate attraverso l'uso del *tool Fill (Spatial analyst)*.

In figura 5.1.2B viene riportato il confronto dei DTM elaborati, attraverso il *tool Classify Ground Points*, con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle* non è stato variato durante questa prova, si è lasciata l'impostazione di *defalut* corrispondente a 15°. Nella tabella 5.1.1 sono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova.

Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato più vicino alla realtà sono stati analizzati diversi tratti specifici della sezione. Innanzitutto si sono analizzati il punto iniziale e finale della sezione, corrispondenti ai punti 51 e 12 rilevati con il GPS. Data l'elevata differenza di quota nel punto 12 del DTM elaborato con valore pari a 0.1 m è stato possibile scartarlo. Dopodiché, spostando l'attenzione sulle zone vegetate, sono stati scartati i DTM elaborati con valori di 1 e 0.5 m poiché hanno presentato picchi non riconducibili al suolo nudo. Si è, così, ritenuto più corrispondente alla realtà il DTM elaborato con 0.25 m.

In figura 5.1.2.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando il parametro 0.25 m, individuato in precedenza, nella *Max distance*. I parametri utilizzati in questo secondo confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.4):

Tabella 5.1.4: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.2.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	10
	15
	20
	25
	30

Come nella sezione precedente, dapprima sono state analizzate le quote del punto iniziale e finale. È stata quindi scartata l'opzione elaborata con 10°. Successivamente sono state analizzate le sezioni rimanenti e, in base ai massimi presenti, alla regolarità della sezione e alla conoscenza della zona in analisi è stato selezionato il DTM elaborato con 15°.

Infine, in figura 5.1.2.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa seconda prova il DTM elaborato con *Max distance (m)* = 0.25 e *Max angle (deg)* = 15 (Tab. 5.1.5).

Tabella 5.1.5: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	15

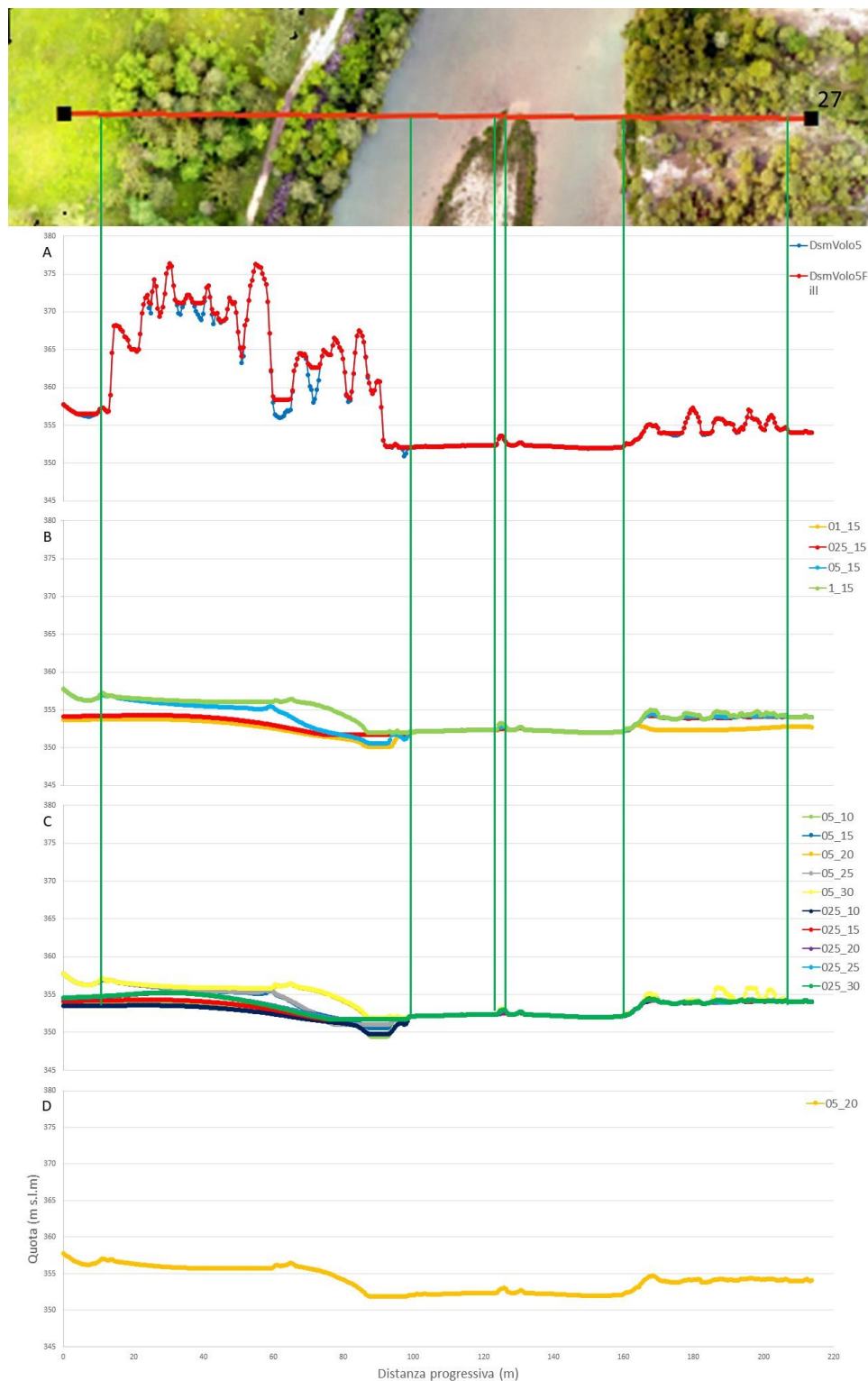


Figura 5.1.3: Analisi della sezione trasversale che collega il punto 27 ed un punto situato nella sponda opposta. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il tool di ArcGis Fill (Spatial Analyst)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di Max distance (m), lasciando il valore di default nel Max angle (°)(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di Max angle (°), impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella Max distance (m)(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata si localizza in un'area caratterizzata dalla presenza del canale principale, zone vegetate e tocca la punta più a monte di una barra.

In figura 5.1.3A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, si può notare come in corrispondenza delle zone vegetate vi siano alti topografici. In questa analisi, invece, il *software* ha mostrato solo lievi problematiche nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Queste lievi imperfezioni sono comunque state eliminate attraverso l'uso del *tool Fill (Spatial analyst)*.

In figura 5.1.3B viene riportato il confronto dei DTM elaborati con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle*, come nell'analisi delle sezioni precedenti, non è stato variato durante questa prova.. Nella tabella 5.1.1 sono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova.

Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato che si è ritenuto più vicino alla realtà sono stati analizzati diversi tratti specifici della sezione. Innanzitutto è stato verificato il punto finale della sezione, corrispondente al punto 27 rilevato con il GPS. A causa della differenza di quota mostrata nel punto 27 del DTM elaborato con 0.1 m è stato possibile. Dopodiché l'attenzione si è protratta sulle zone vegetate, sono stati scartati i DTM elaborati con 1 e 0.25 m. Il DTM elaborato con 1 m mostra alti topografici non riconducibili al suolo nudo mentre il DTM con 0.25 m mostra, nella parte iniziale della sezione, un completo taglio senza alcun dettaglio riconducibile al suolo. Si è così ritenuto più corrispondente alla realtà il DTM elaborato con 0.5 m.

In figura 5.1.3.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando il parametro 0.5 m, individuato in precedenza, nella *Max distance*. Si è, inoltre, provato ad utilizzare anche il valore 0.25 m. I parametri utilizzati in questo terzo confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.6):

Tabella 5.1.6: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.3.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25 0.5	10
	15
	20
	25
	30

Come nella sezione precedente, dapprima è stata analizzata la quota del punto 27. In questo caso tutte le sezioni riportavano la quota corretta. Successivamente abbiamo analizzato le sezioni in base ai picchi presenti, alla regolarità della sezione e alla conoscenza della zona in analisi. È quindi possibile determinare che il DTM più corrispondente alla realtà è quello elaborato con 20° e *Max distance* pari a 0.5 m.

Infine, in figura 5.1.3.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa terza prova il DTM elaborato con *Max distance* = 0.5 m e *Max angle* = 20° (Tab. 5.1.7).

Tabella 5.1.7: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.5	20

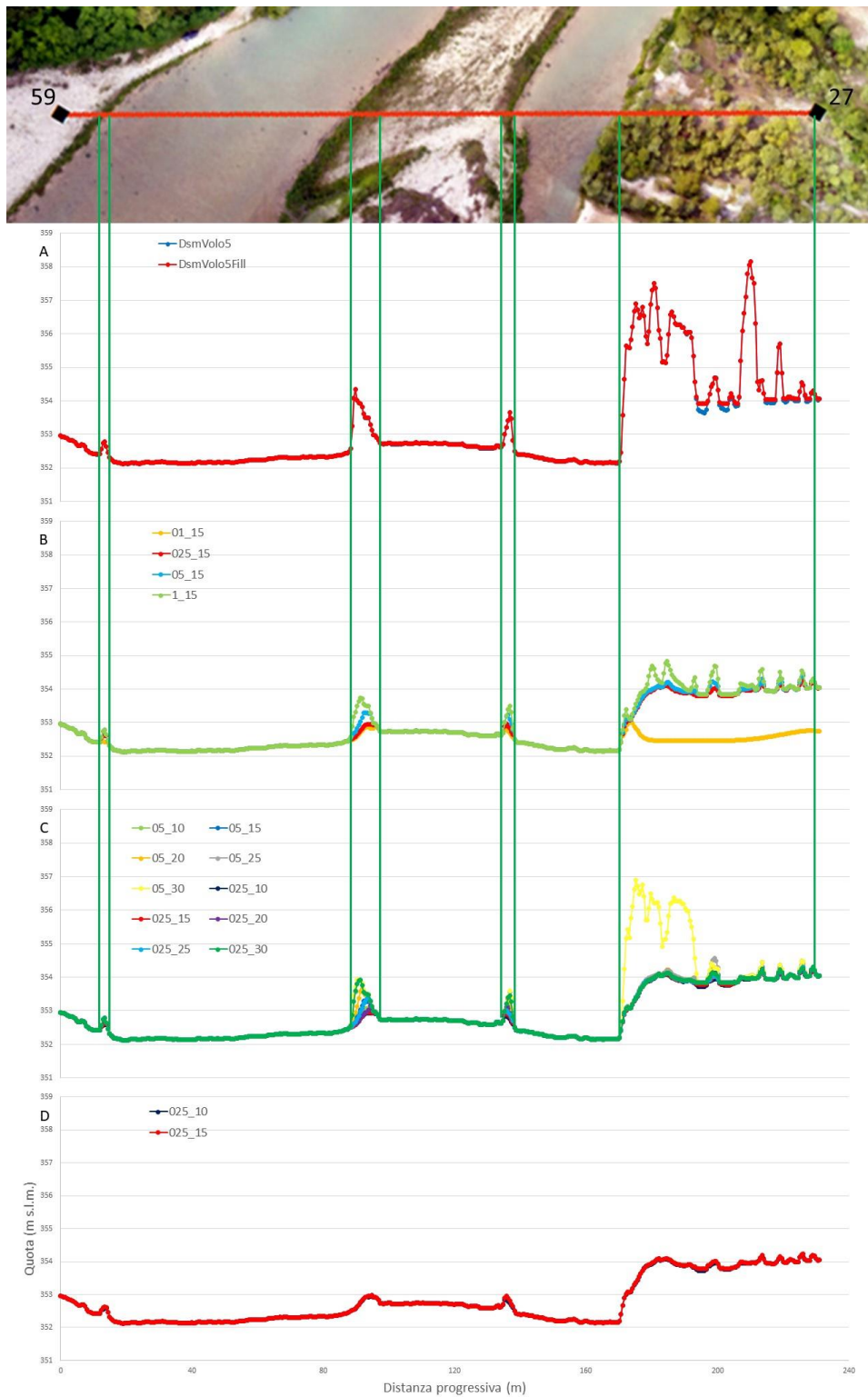


Figura 5.1.4: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 59 e 27. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il *tool* di ArcGis Fill (*Spatial Analyst*)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance* (m), lasciando il valore di *default* nel *Max angle* (°)(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle* (°), impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance* (m)(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata è composta da una barra nuda laterale, il canale principale, una barra nuda centrale, un canale secondario ed una zona vegetata in prossimità del punto 27.

In figura 5.1.4A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, i massimi del grafico sono presenti in corrispondenza delle zone vegetate. In questa analisi il *software* non ha mostrato problematiche nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Nonostante ciò, tutti i DTM sono stati elaborati attraverso il *tool Fill (Spatial analyst)*.

In figura 5.1.4B viene riportato il confronto dei DTM elaborati, attraverso il *tool Classify Ground Points*, con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle* non è stato variato durante questa prova, si è mantenuta l'impostazione di *default* corrispondente a 15°. Nella tabella 5.1.1 vengono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova.

Sono stati analizzati diversi tratti della sezione per individuare il valore di *Max distance* in grado di restituire il risultato più vicino alla realtà. Innanzitutto si sono confrontati il punto iniziale e finale della sezione, corrispondenti ai punti 59 e 27 rilevati con il GPS. Data l'elevata disparità di quota nel punto 27 del DTM elaborato con 0.1 m è stato possibile scartarlo. Dopodiché ci siamo concentrati sulle zone vegetate, è stato scartato il DTM elaborato con 1 m, poiché mostra picchi non riconducibili al suolo nudo. Vista la poca differenza ed i precedenti confronti si è ritenuto tenere in considerazione i DTM elaborati con 0.25 e con 0.5 m.

In figura 5.1.4.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando i parametri 0.25 e 0.5 m, individuati in precedenza, nella *Max distance*. I parametri utilizzati in questo quarto confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.8):

Tabella 5.1.8: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.4.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25 0.5	10
	15
	20
	25
	30

Come nella sezione precedente, dapprima è stata analizzata la quota dei punti 59 e 27. In questo caso tutte le sezioni trasversali riportavano una quota molto vicina al rilievo GPS. Successivamente sono state analizzate le sezioni in base agli alti presenti, alla regolarità della sezione e alla conoscenza della zona in analisi. In questo caso si sono dimostrati più consoni i DTM con 10 e 15° ed il parametro *Max distance* impostato a 0.25 m.

Infine, in figura 5.1.4.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa quarta prova due DTM si sono dimostrati molto simili. I DTM elaborati con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 10° e 15° (Tab. 5.1.9).

Tabella 5.1.9: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	10
	15

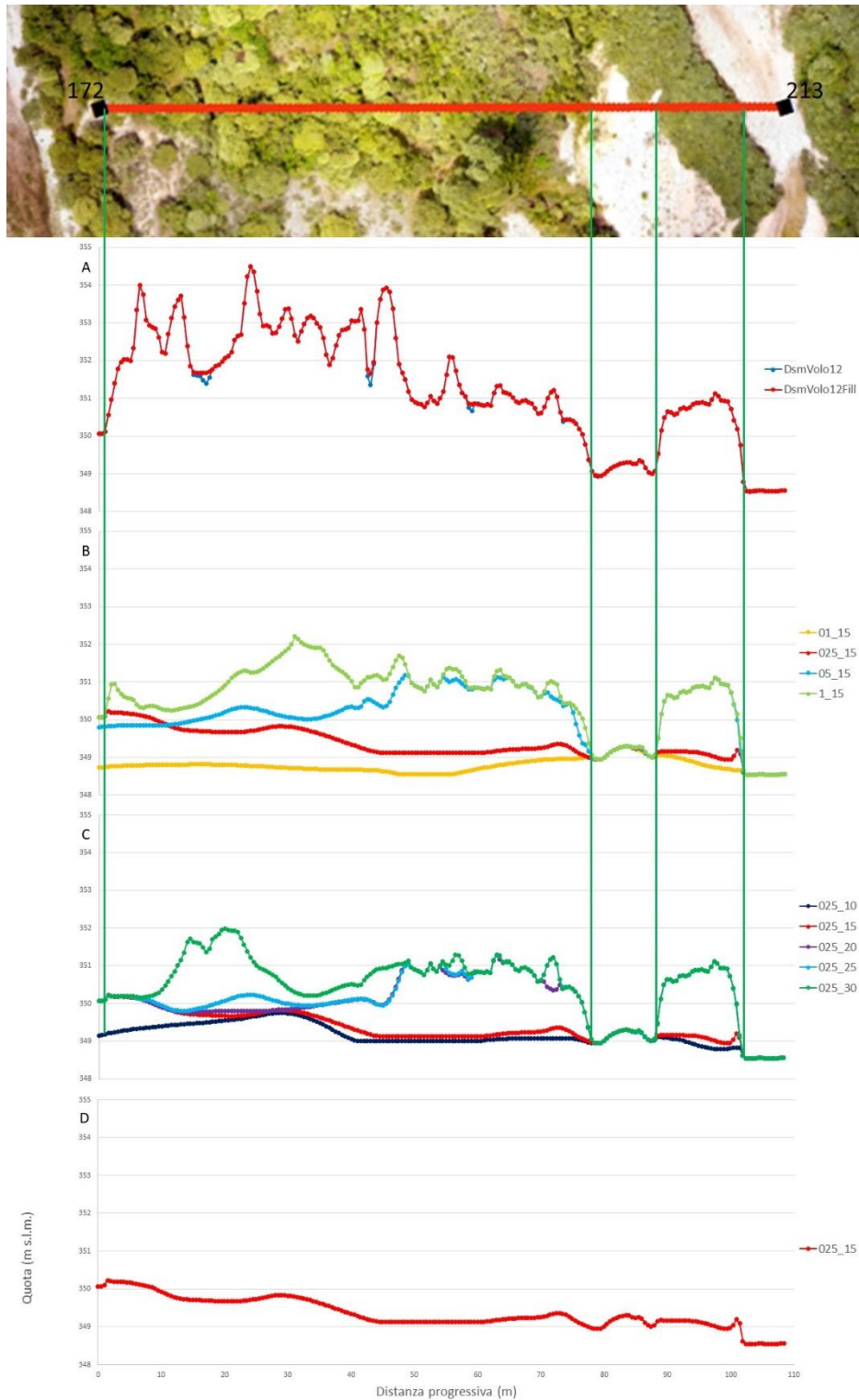


Figura 5.1.5: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 172 e 213. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il *tool* di ArcGis Fill (*Spatial Analyst*)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance (m)*, lasciando il valore di *default* nel *Max angle (°)*(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle (°)*, impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance (m)*(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata si trova all'interno di una zona vegetata con all'interno qualche zona a ghiaie esposte.

In figura 5.1.5A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, in corrispondenza delle zone vegetate vi è un aumento di quota nel grafico della sezione.

In figura 5.1.5B viene riportato il confronto dei DTM elaborati, attraverso il tool *Classify Ground Points*, con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle* non è stato variato durante questa prova, si è lasciata l'impostazione di *default* corrispondente a 15°. Nella tabella 5.1.1 vengono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova. Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato più vicino alla realtà sono stati analizzati diversi tratti specifici della sezione. Innanzitutto si sono confrontati il punto iniziale e finale della sezione, corrispondenti ai punti 172 e 213 rilevati con il GPS. Data la rimarcabile differenza di quota nel punto 172 dei DTM elaborati con 0.1 e 0.5 m è stato possibile scartarli. Dopodiché l'analisi si è spostata sulle zone vegetate ed, a causa massimi non riconducibili al suolo nudo, è stato scartato il DTM elaborato con 1 m. Si è così ritenuto più corrispondente alla realtà il DTM elaborato con 0.25 m.

In figura 5.1.5.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando il parametro 0.25 m, individuato in precedenza, nella *Max distance*. I parametri utilizzati in questo quinto confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.10):

Tabella 5.1.10: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.5.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	10
	15
	20
	25
	30

Come nella sezione precedente, è stata dapprima analizzata la quota dei punti 172 e 213. È stata quindi scartata l'opzione elaborata con 10°. Successivamente sono state

analizzate le sezioni in base ai picchi presenti. In questo caso il DTM che più rappresentava il suolo nudo è quello elaborato con 15°.

Infine, in figura 5.1.5.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa quinta prova il DTM elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15° (Tab. 5.1.11).

Tabella 5.1.11: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	15

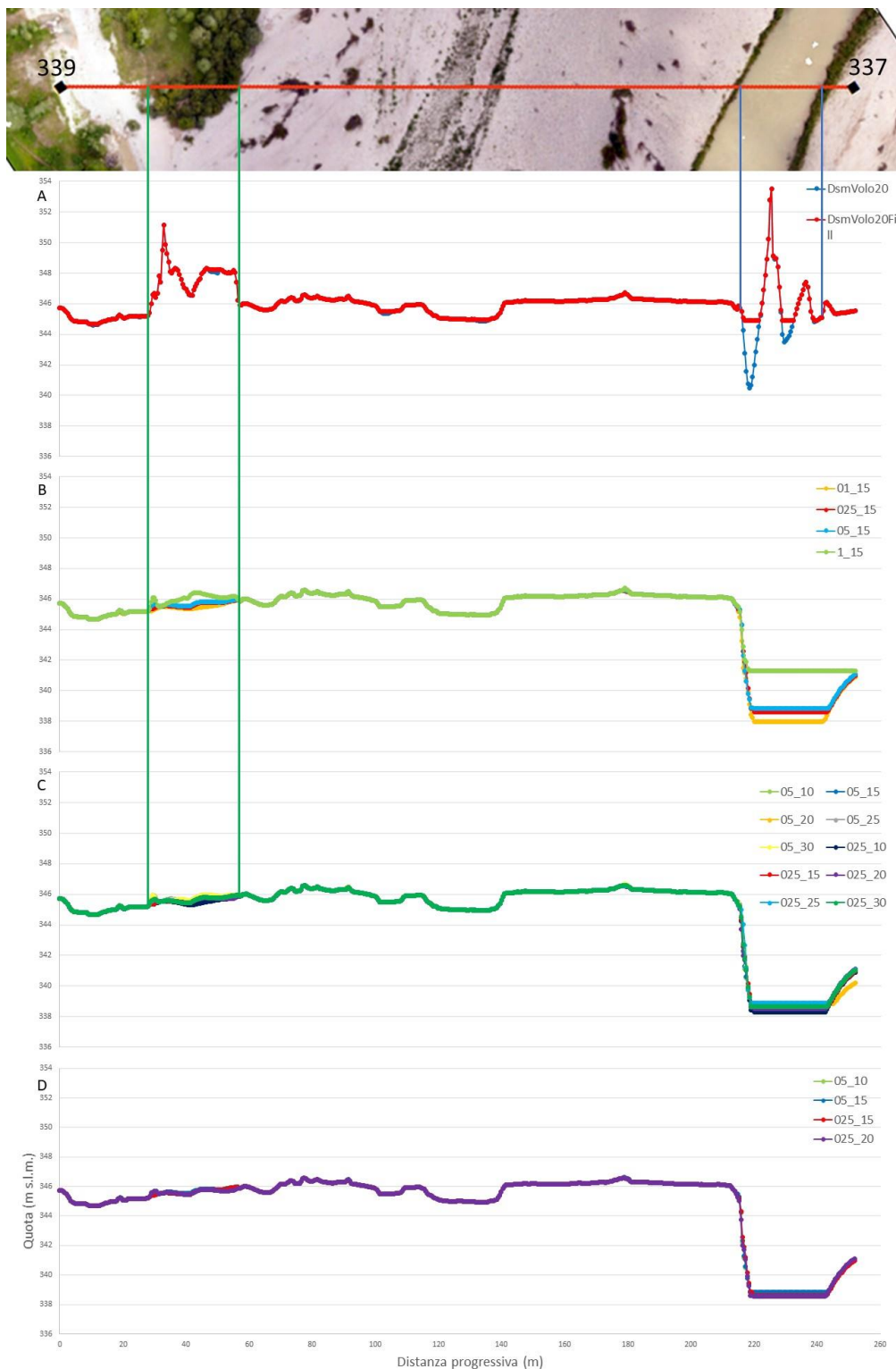


Figura 5.1.6: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 339 e 337. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il *tool* di ArcGis Fill (*Spatial Analyst*)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance* (m), lasciando il valore di *default* nel *Max angle* (°)(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle* (°), impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance* (m)(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata si localizza in una zona caratterizzata dalla presenza del canale principale, barre nude ed una piccola zona vegetata.

In figura 5.1.6A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, in corrispondenza delle zone vegetate si nota un aumento di quota nel grafico. Inoltre, è possibile rilevare come il *software Photoscan* mostri nuovamente problematiche nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Queste imperfezioni vengono limitate attraverso l'uso del *tool Fill (Spatial analyst)* poiché il *tool* elimina le depressioni ma non gli alti topografici che il programma restituisce in presenza di acqua. I picchi che si formano vengono eliminati successivamente utilizzando il *tool* di *Photoscan Classify Ground Points*.

In figura 5.1.6B viene riportato il confronto dei DTM elaborati, attraverso il *tool Classify Ground Points*, con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle*, come nelle precedenti analisi, non è stato variato durante questa prova. Nella tabella 5.1.1 sono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova. Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato più vicino alla realtà sono stati analizzati diversi tratti specifici della sezione. Innanzitutto si sono confrontati il punto iniziale e finale della sezione, corrispondenti ai punti 339 e 337 rilevati con il GPS. In questa prova tutti i DTM elaborati riportavano un valore di quota nel punto 337 errato. Il *software* non è riuscito a restituire un'elaborazione corretta in prossimità del canale principale, dimostrando i problemi già citati di *Photoscan* nell'elaborare superfici riflettenti come l'acqua. Così è stata spostata l'attenzione sulla zona vegetata. È stato possibile scartare i DTM elaborati con 1 e 0.1 m e si sono ritenuti più corrispondenti alla realtà i DTM elaborati con 0.5 e 0.25 m.

In figura 5.1.6.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando i parametri 0.5 e 0.25 m, individuati in precedenza, nella *Max distance (m)*. I parametri utilizzati in questo sesto confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.12):

Tabella 5.1.12: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.6.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25 0.5	10
	15
	20
	25
	30

In questa prova, dati i problemi di elaborazione delle sezioni in prossimità del canale, sono state confrontate principalmente sulla base dei picchi presenti e della regolarità della sezione nella zona vegetata.

Infine, in figura 5.1.6.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa sesta prova i DTM elaborati con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15° e 20° e con *Max distance* = 0.5 m e *Max angle* = 10° e 15°. (Tab. 5.1.13).

Tabella 5.1.13: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25	15
	20
0.5	10
	15

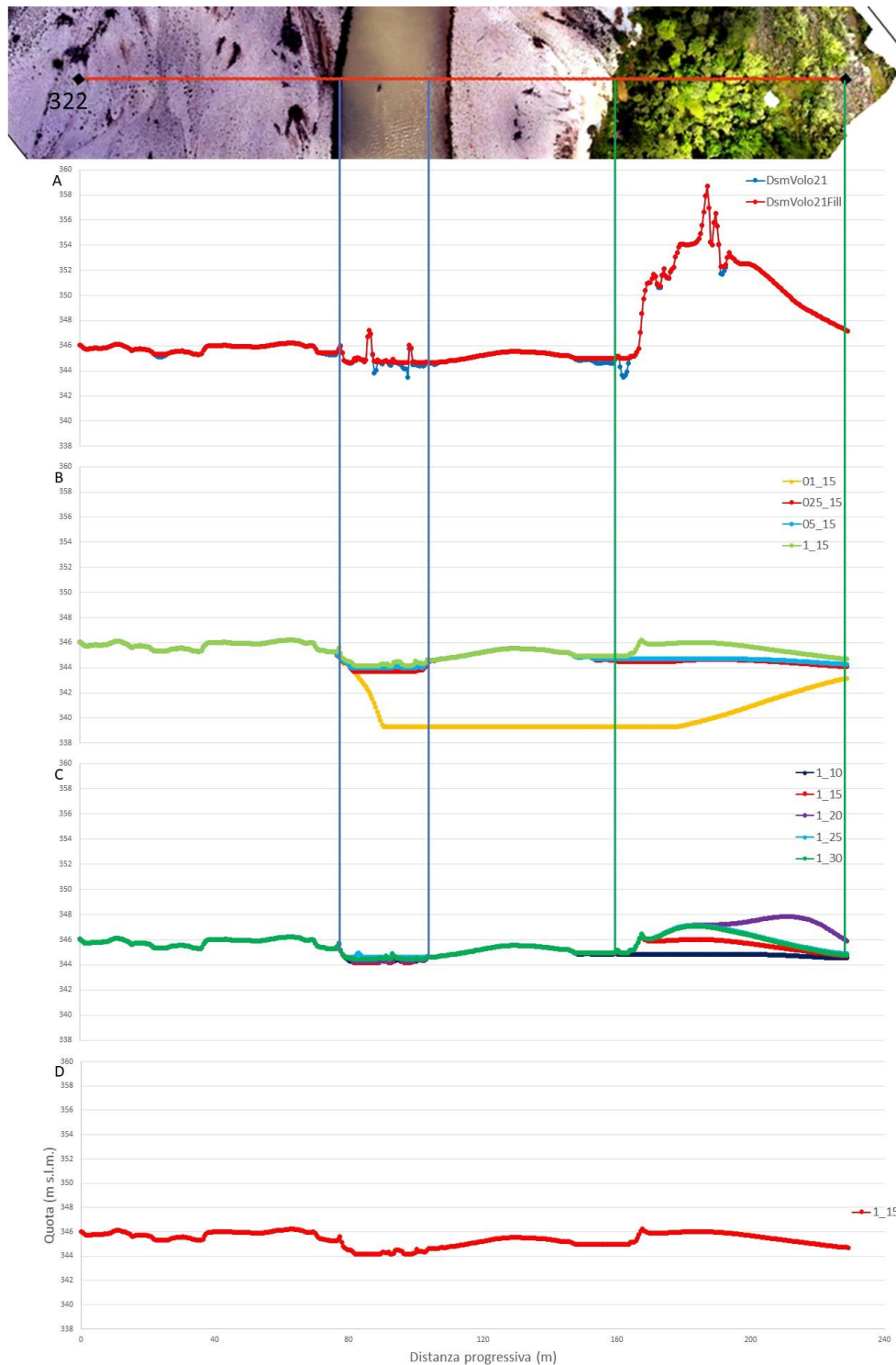


Figura 5.1.7: Analisi della sezione trasversale che collega il punto 322 e un punto oltre la vegetazione proprio al limite del rilievo. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il *tool* di *ArcGis Fill (Spatial Analyst)*(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance (m)*, lasciando il valore di *default* nel *Max angle (°)*(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle (°)*, impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance (m)*(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata si localizza in una zona caratterizzata dalla presenza del canale principale, barre nude ed una zona vegetata.

In figura 5.1.7A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, sono presenti alti topografici in corrispondenza delle zone vegetate. Inoltre, è possibile rilevare come il *software Photoscan* nuovamente dimostri problematiche nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Queste imperfezioni vengono limitate attraverso l'utilizzo del *tool Fill (Spatial analyst)*, poiché, come già citato in precedenza, il *tool* riesce ad eliminare le depressioni che il programma restituisce ma non i picchi che si formano nelle superfici sommerse. Anche in questa analisi gli alti verranno eliminati successivamente utilizzando il *tool* di *Photoscan Classify Ground Points*.

In figura 5.1.7B viene riportato il confronto dei DTM elaborati, attraverso il *tool Classify Ground Points*, con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle*, come in precedenza non è stato variato, ma si è lasciata l'impostazione di *defalut* corrispondente a 15°. Nella tabella 5.1.1 sono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova. Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato più vicino alla realtà sono stati analizzati diversi tratti specifici della sezione. Innanzitutto si può notare come nel DTM elaborato con 0.1 m la quota si abbassi di colpo in prossimità del canale per poi non rialzarsi più. Inoltre i DTM elaborati con 0.25 e 0.5 m non restituiscono delle quote appropriate in prossimità della zona vegetata. È stato quindi ritenuto più corrispondente alla realtà il DTM elaborato con 1 m.

In figura 5.1.7.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando il parametro 1 m, individuato in precedenza, nella *Max distance*. I parametri utilizzati in questo settimo confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.14):

Tabella 5.1.14: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.7.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
1	10
	15
	20
	25
	30

Come da prassi, sono state analizzati i grafici delle sezioni in base ai picchi presenti, alla regolarità della sezione nella zona vegetata e alla conoscenza della zona in analisi. In questo caso il DTM che più corrispondeva alla realtà è quello elaborato con 15°.

Infine, in figura 5.1.7.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa settima prova il DTM elaborato con *Max distance* = 1 m e *Max angle* = 15° (Tab. 5.1.15).

Tabella 5.1.15: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
1	15

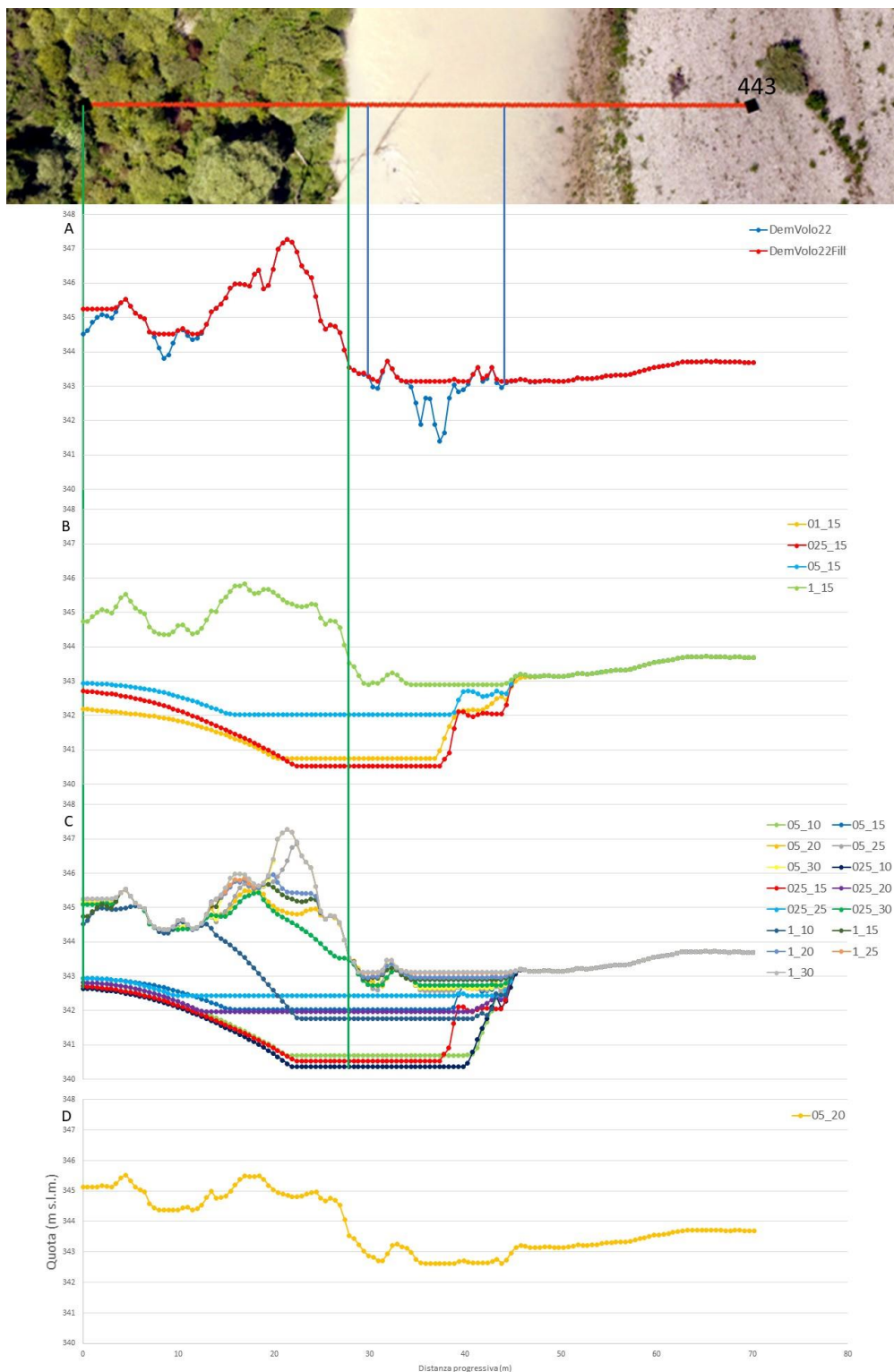


Figura 5.1.8: Analisi della sezione trasversale che collega il punto 443 e un punto all'interno della vegetazione. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il tool di ArcGis Fill (*Spatial Analyst*)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance* (m), lasciando il valore di *default* nel *Max angle* (°)(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle* (°), impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance* (m)(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata è localizzata in una zona caratterizzata dalla presenza di una zona vegetata, del canale principale e una barra nuda.

In figura 5.1.8A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, in corrispondenza delle zone vegetate si localizzano i massimi del grafico della sezione. Ancora una volta il *software Photoscan* mostra le problematiche nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Ed anche in questa analisi le imperfezioni vengono limitate attraverso l'uso del *tool Fill (Spatial analyst)*.

In figura 5.1.8B viene riportato il confronto dei DTM elaborati con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle* non è stato variato durante questa prova, si è lasciata l'impostazione di *default* corrispondente a 15°. Nella tabella 5.1.1 sono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova. Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato più vicino alla realtà abbiamo analizzato principalmente la parte della sezione riguardante il canale principale e la zona vegetata. Si nota subito come i DTM elaborati con 0.5, 0.25 e 0.1 m mostrino un andamento piatto e con nessun dettaglio riconducibile al suolo nudo in prossimità della vegetazione e del canale. Invece, il DTM elaborato con 1 m, si dimostra più rappresentativo della realtà seppur gli alti topografici presenti potrebbero includere parte della vegetazione. Si è quindi ritenuto opportuno, viste le precedenti esperienze, effettuare la prova successiva utilizzando i parametri 1, 0.5 e 0.25 nella *Max distance*.

In figura 5.1.8.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando i parametri 1, 0.5 e 0.25 m nella *Max distance*. I parametri utilizzati in questo ottavo confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.16):

Tabella 5.1.16: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.8.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
	10
0.25	15
0.5	20
1	25
	30

In questa prova le sezioni trasversali erano molto eterogenee, sono state subito scartate quelle che in prossimità della vegetazione e del canale mostravano un andamento piatto con poco dettaglio. Dopodiché si è cercato di individuare la sezione che meglio rappresentasse il suolo nudo. In base ai picchi presenti e alla conoscenza della zona in analisi si è ritenuto più corrispondente alla realtà il DTM elaborato con 20° e *Max distance* impostata a 0.5 m.

Infine, in figura 5.1.8.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa ottava prova il DTM elaborato con *Max distance* = 0.5 m e *Max angle* = 20° (Tab. 5.1.17).

Tabella 5.1.17: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.5	20

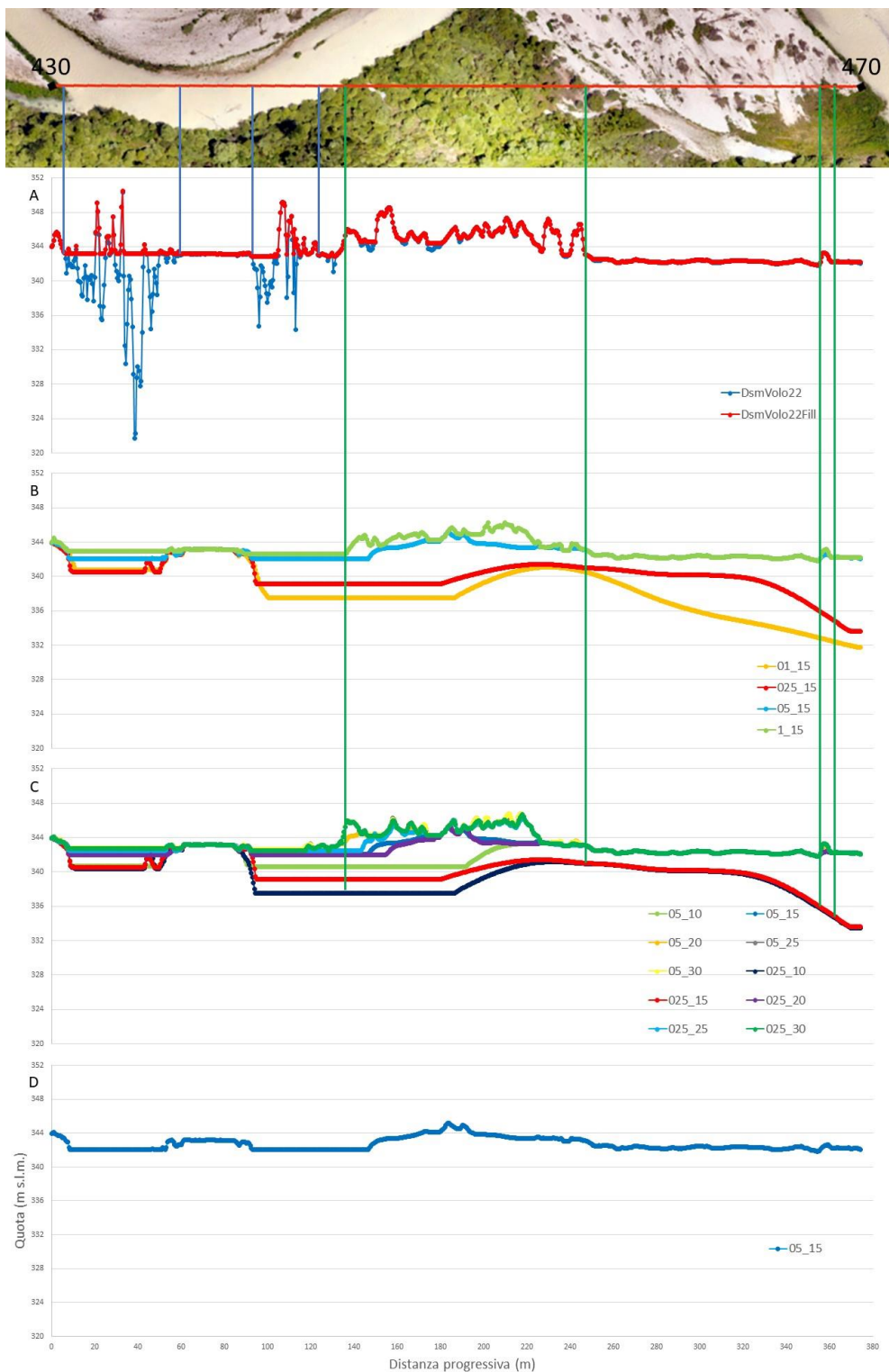


Figura 5.1.9: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 430 e 470. Si riporta il confronto tra DSM e DSM elaborato attraverso il *tool* di ArcGis Fill (*Spatial Analyst*)(A); confronto dei DTM elaborati con diversi valori di *Max distance* (m), lasciando il valore di *default* nel *Max angle* (°)(B); confronto tra i DTM elaborati con diversi valori di *Max angle* (°), impostando il valore più appropriato, individuato in precedenza, nella *Max distance* (m)(C); risultato prescelto(D).

La sezione trasversale individuata si localizza in una zona caratterizzata dalla presenza del canale principale, barre nude e zone vegetate.

In figura 5.1.9A si nota come il DSM rilevi la presenza della vegetazione. Infatti, in prossimità della vegetazione si notano alti topografici.. Inoltre, il *software Photoscan* continua a mostrare problematiche nella restituzione di superfici con presenza di acqua. Le imperfezioni vengono limitate attraverso il *tool Fill (Spatial analyst)*, ma come detto in precedenza, il *tool* elimina solo le depressioni mentre i picchi vengono eliminati successivamente una volta che si utilizza il *tool* di *Photoscan Classify Ground Points*.

In figura 5.1.9B viene riportato il confronto dei DTM elaborati, attraverso il *tool Classify Ground Points*, con diversi parametri di *Max distance*. Il parametro *Max angle* non è modificato ma è stata lasciata l'impostazione di *defalut* corrispondente a 15°. Nella tabella 5.1.1 sono riportati i valori di *Max distance* utilizzati per la prova. Per individuare il valore di *Max distance* che ha restituito il risultato più vicino alla realtà sono stati analizzati diversi tratti specifici della sezione. Innanzitutto si sono confrontati il punto iniziale e finale della sezione, corrispondenti ai punti 430 e 470 rilevati con il GPS. Data l'elevata e visibile differenza di quota nel punto 470 è stato possibile scartare i DTM elaborati con 0.1 e 0.25 m. Dopodiché l'attenzione si è spostata sulle zone vegetate, è stato scartato il DTM elaborato con 1 m poiché mostra massimi non riconducibili al suolo nudo. Si è così ritenuto più rappresentativo del suolo nudo il DTM elaborato con 0.5 m. In figura 5.1.9.C si riporta il confronto tra elaborazioni ottenute con diversi valori di *Max angle*, impostando il parametro 0.5 m, individuato in precedenza, nella *Max distance*. Si è inoltre provato, visti i precedenti risultati, ad utilizzare anche il valore 0.25 m. I parametri utilizzati in questo nono confronto sono riportati nella tabella seguente (Tab. 5.1.18):

Tabella 5.1.18: Parametri utilizzati riportati in figura 5.1.9.C.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.25 0.5	10
	15
	20
	25
	30

Come nella sezione precedente, dapprima sono state analizzate le quote del punto iniziale e finale permettendo una prima riduzione delle opzioni. Successivamente sono state analizzate le sezioni rimanenti e, in base ai picchi presenti, alla regolarità della sezione e alla conoscenza della zona in analisi è stato determinato che il DTM che meglio rappresentava il suolo nudo è quello elaborato con 15° e *Max distance* = 0.5 m.

Infine, in figura 5.1.8.D viene riportato il risultato più confacente alla realtà. In questa nona prova si è dimostrato il DTM elaborato con *Max distance* = 0.5 m e *Max angle* = 15° (Tab. 5.1.19).

Tabella 5.1.19: Parametri che hanno restituito il DTM più attendibile.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
0.5	15

Una volta realizzate tutte queste prove è possibile determinare quale sia il setting più adatto per effettuare la classificazione elaborando tutte le immagini. Nella seguente tabella 5.1.20 vengono riassunti i risultati migliori per ogni prova.

Tabella 5.1.20: I risultati migliori delle varie prove.

<i>Nome Immagine</i>	<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (°)</i>
Fig. 5.1.1	0.25	15
Fig. 5.1.2	0.25	15
Fig. 5.1.3	0.5	20
Fig. 5.1.4	0.25	10 15
Fig. 5.1.5	0.25	15
Fig. 5.1.6	0.25	15 20
	0.5	10 15
Fig. 5.1.7	1	15
Fig. 5.1.8	0.5	20
Fig. 5.1.9	0.5	15

Sulla base della tabella 5.1.20 sono stati selezionati due set per l'elaborazione di tutte le immagini. Si è deciso di impostare *Max distance* = 0.25 e 0.5 m, rispettivamente, e *Max angle* = 15° (Tab. 5.1.21). Una volta ripetuti i vari passaggi per la creazione dei modelli del terreno, i due DTM sono stati importati in *ArcGis* e, dopo esser stati processati attraverso *Fill (Spatial Analyst)*, di entrambi sono state ricavate le sezioni trasversali nelle stesse zone precedentemente analizzate. È stato possibile in tal modo confrontare il miglior risultato della precedente analisi con le sezioni trasversali dei due DTM elaborati con la totalità delle immagini rilevate.

Tabella 5.1.21: Parametri impostati per l'elaborazione dei DTM con la totalità delle immagini.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max Angle (°)</i>
0.25	15
0.5	

Di seguito verranno riportate le immagini inerenti al confronto.



Figura 5.1.10: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 43 e 11. Si riporta il confronto tra il risultato prescelto della figura 5.1.1 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.10A viene riportato il confronto tra i due DTM elaborati con la totalità delle immagini e la scelta effettuata in precedenza. Sono stati paragonati, ed il DTM più somigliante alla scelta precedente e che meglio rappresenta il suolo nudo è quello elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15°.

In figura 5.1.10B viene riportato il DTM più confacente alla realtà (Tab. 5.1.22).

Tabella 5.1.22: Parametri prescelti nel primo confronto.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max Angle (°)</i>
0.25	15



Figura 5.1.11: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 51 e 12. Si riporta il confronto tra il risultato prescelto della figura 5.1.2 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.11A viene riportato il confronto tra i due DTM totalie la scelta effettuata in precedenza. Sono stati paragonati ed il DTM più simile alla scelta precedente si è dimostrato quello elaborato con $Max\ distance = 0.25\ m$ e $Max\ angle = 15^\circ$.

In figura 5.1.10B viene riportato il DTM più vicino alla realtà (Tab. 5.1.23).

Tabella 5.1.23: Parametri prescelti nel secondo confronto.

$Max\ distance\ (m)$	$Max\ Angle\ (^\circ)$
0.25	15

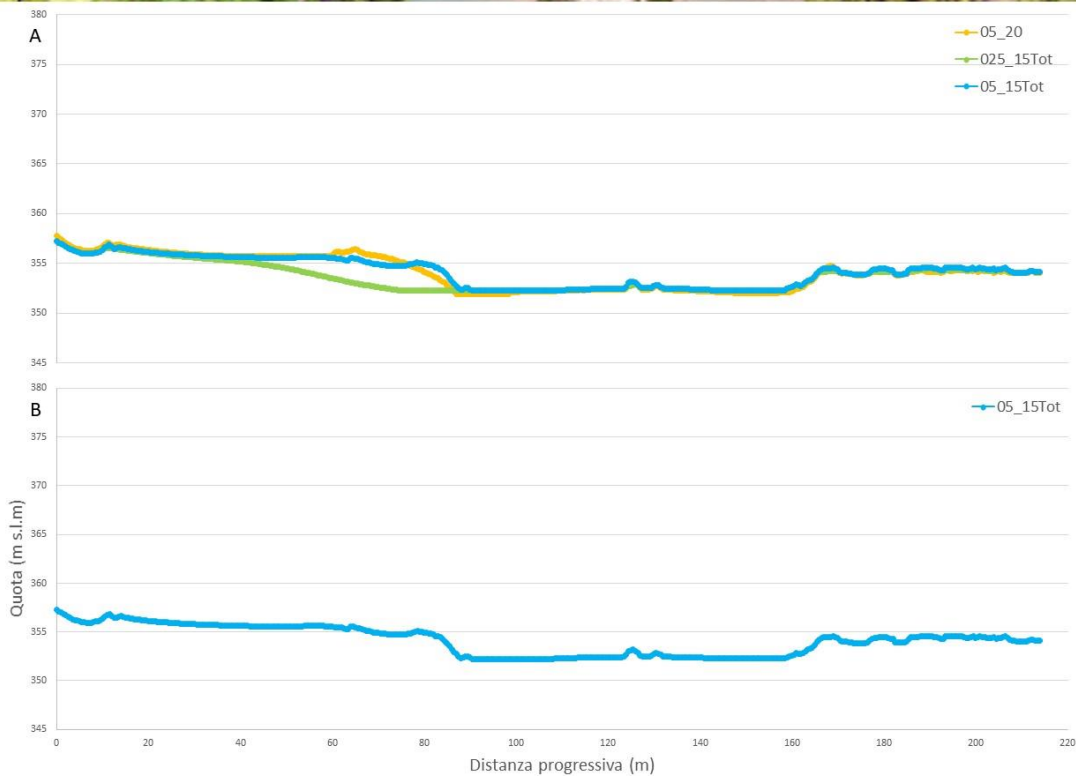


Figura 5.1.12: Analisi della sezione trasversale che collega un punto nel campo adiacente l'alveo attivo ed il punto 27. Si riporta il confronto tra il risultato prescelto della figura 5.1.3 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.12A viene riportato il confronto tra i due DTM elaborati con la totalità delle immagini e la scelta precedente più attendibile. Dal paragone effettuato, è risultato il DTM elaborato con *Max distance* = 0.5 m e *Max angle* = 15° più corrispondente alla realtà.

In figura 5.1.12B viene riportato il DTM più corrispondente alla realtà (Tab. 5.1.24).

Tabella 5.1.24: Parametri prescelti nel terzo confronto.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max Angle (°)</i>
0.5	15

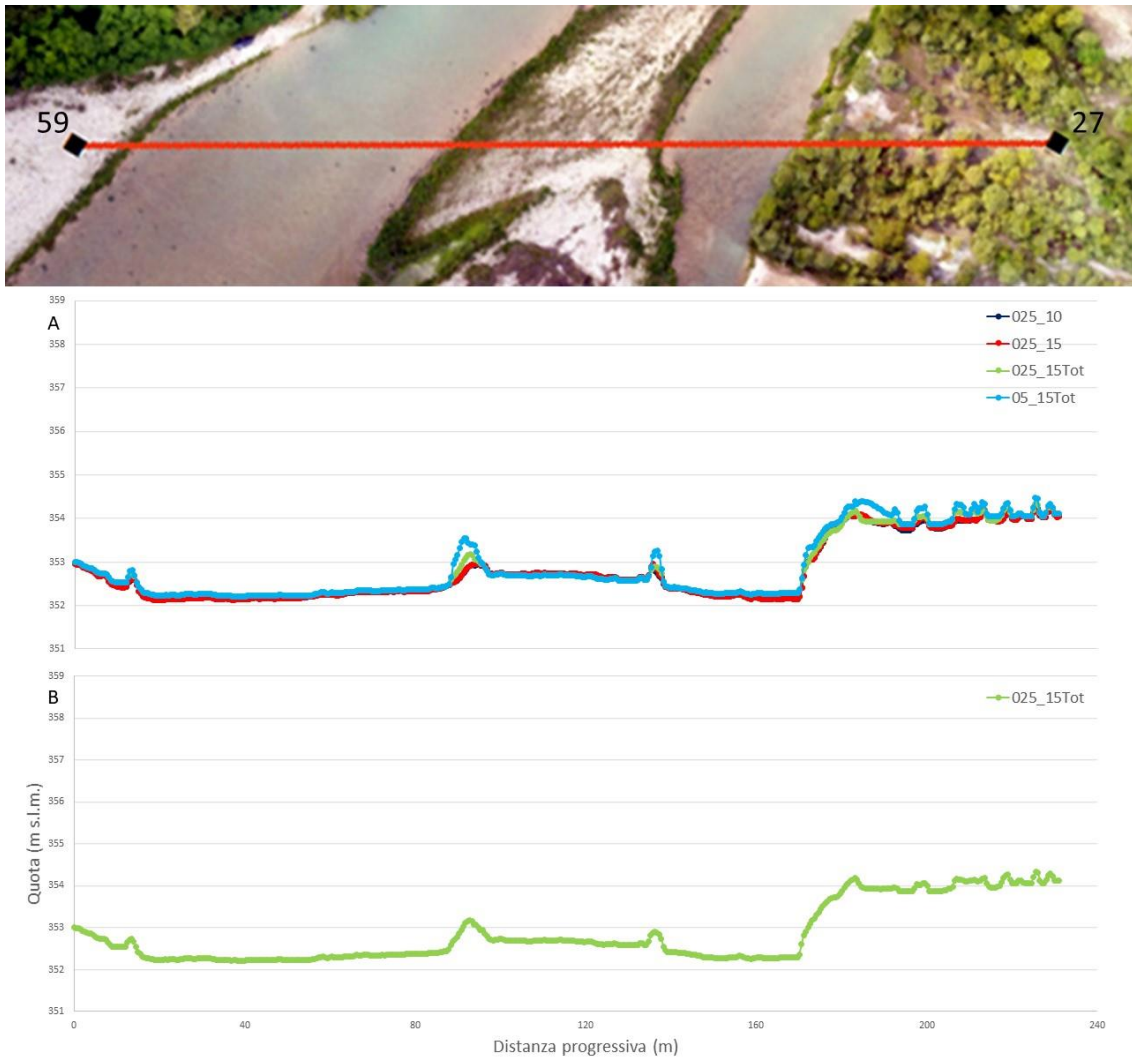


Figura 5.1.13: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 59 e 27. Si riporta il confronto tra i risultati prescelti della figura 5.1.4 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.13A viene riportato il confronto tra i due DTM totali e le scelte che in precedenza sono risultate più attendibili. Si è effettuato il paragone e, il DTM più somigliante alle scelte precedenti, con assenza di picchi insoliti, si è dimostrato quello elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15°.

In figura 5.1.13B viene riportato il DTM più confacente alla realtà (Tab. 5.1.25).

Tabella 5.1.25: Parametri prescelti nel quarto confronto.

<i>Max distance</i> (m)	<i>Max Angle</i> (°)
0.25	15



Figura 5.1.14: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 172 e 213. Si riporta il confronto tra i risultati prescelti della figura 5.1.5 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.14A viene riportato il confronto tra le scelte effettuate in precedenza ed i due DTM totali. Sono stati paragonati ed il DTM che meglio rappresenta il suolo nudo si è dimostrato quello elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15°.

In figura 5.1.14B viene riportato il DTM più rappresentativo della realtà (Tab. 5.1.26).

Tabella 5.1.26: Parametri prescelti nel quinto confronto.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max Angle (°)</i>
0.25	15



Figura 5.1.15: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 339 e 337. Si riporta il confronto tra i risultati prescelti della figura 5.1.6 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.15A viene riportato il confronto tra i due DTM totali e le scelte più appropriate risultanti dalle precedenti analisi. Sono stati confrontati ed il DTM più simile alle scelte precedenti è quello elaborato con *Max distance*= 0.25 m e *Max angle* = 15°.

In figura 5.1.15B viene riportato il DTM più confacente al suolo nudo (Tab. 5.1.27).

Tabella 5.1.27: Parametri prescelti nel sesto confronto.

<i>Max distance</i> (m)	<i>Max Angle</i> (°)
0.25	15

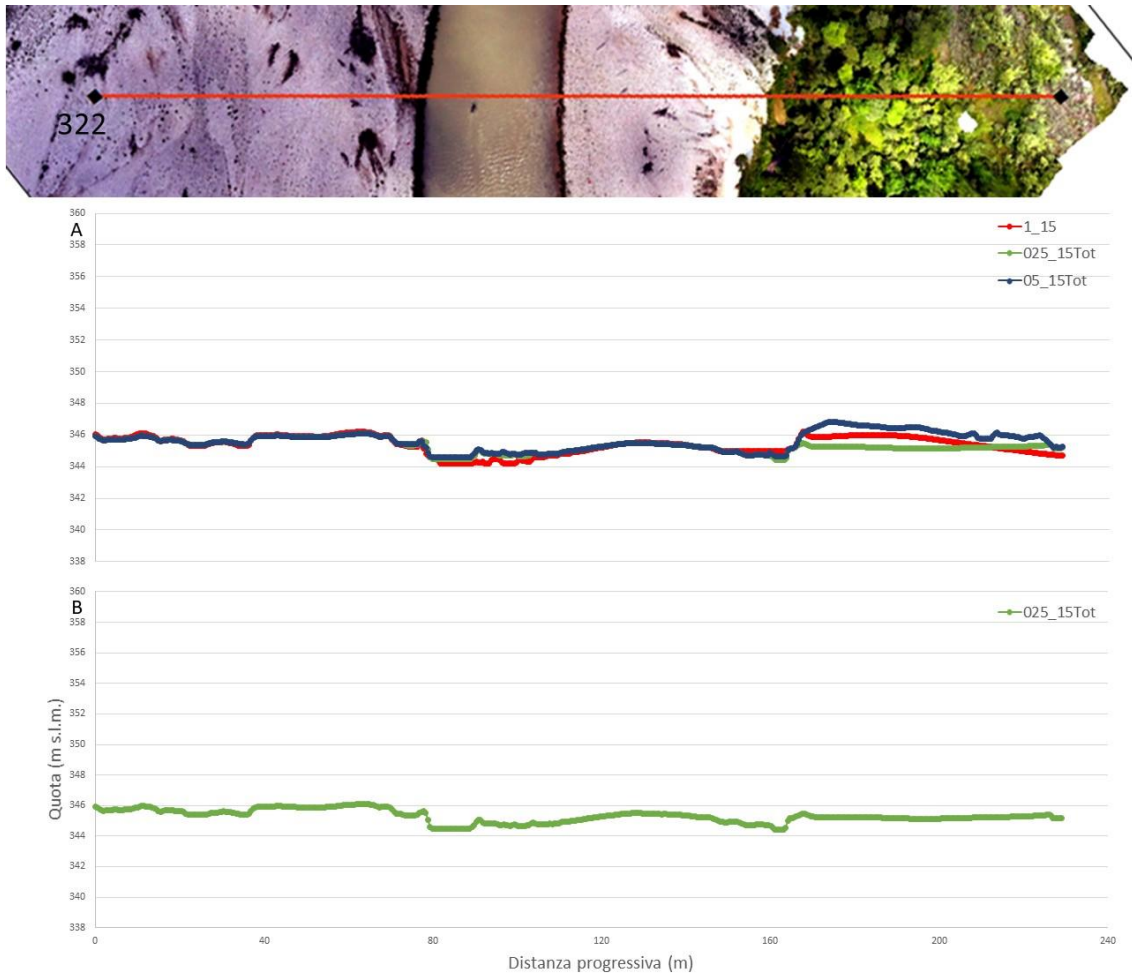


Figura 5.1.16: Analisi della sezione trasversale che collega il punto 322 e un punto oltre la vegetazione proprio al limite del rilievo. Si riporta il confronto tra il risultato prescelto della figura 5.1.7 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.16A viene riportato il confronto tra la scelta effettuata in precedenza ed i DTM totali. Sono stati paragonati ed il DTM con assenza picchi insoliti, più regolare e che meglio rappresenta il suolo nudo è quello elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15°.

In figura 5.1.16B viene riportato il DTM più confacente alla realtà (Tab. 5.1.28).

Tabella 5.1.28: Parametri prescelti nel settimo confronto.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max Angle (°)</i>
0.25	15

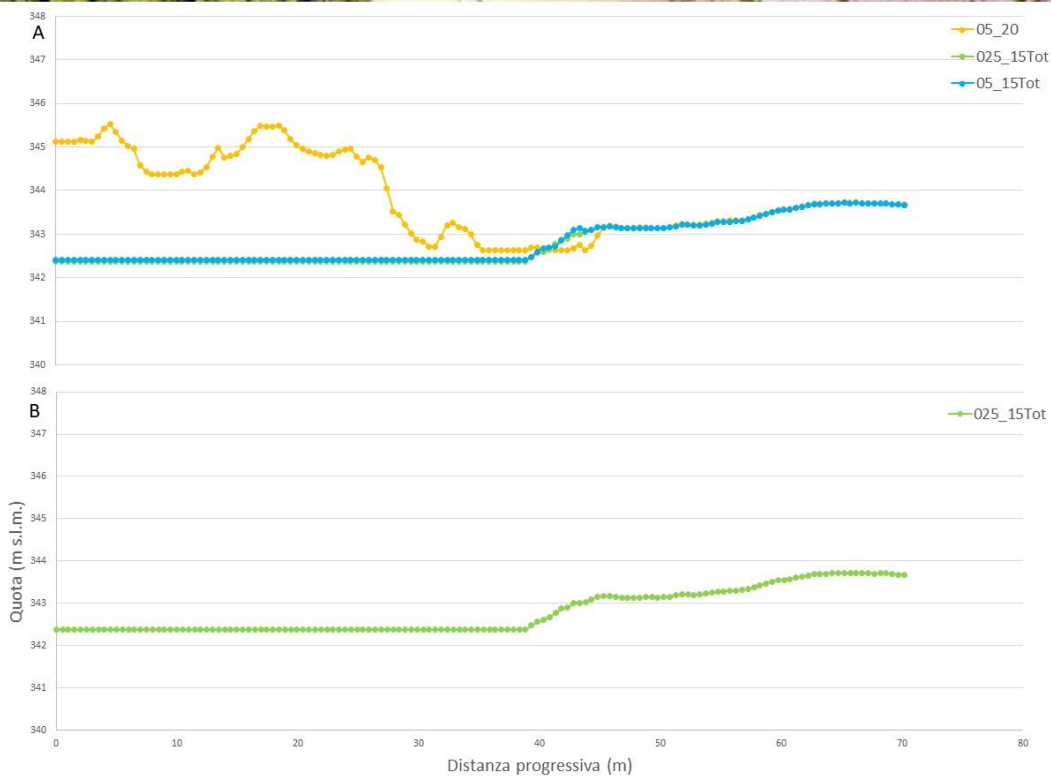


Figura 5.1.17: Analisi della sezione trasversale che collega un punto all'interno della vegetazione ed il punto 443. Si riporta il confronto tra il risultato prescelto della figura 5.1.8 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.17A viene riportato il confronto tra i due DTM elaborati con la totalità delle immagini e la scelta precedente. Si è effettuato il paragone, ed il DTM che si avvicinava di più alla realtà è quello elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15°.

In figura 5.1.17B viene riportato il DTM più corrispondente alla realtà (Tab. 5.1.29).

Tabella 5.1.29: Parametri prescelti nell'ottavo confronto.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max Angle (°)</i>
0.25	15



Figura 5.1.18: Analisi della sezione trasversale che collega i punti 430 e 470. Si riporta il confronto tra il risultato prescelto della figura 5.1.9 e i DTM elaborati con la totalità delle immagini(A); risultato prescelto(B).

In figura 5.1.18A viene riportato il confronto tra i due DTM totali e la scelta effettuata in precedenza. Dal paragone dei grafici, è risultato più somigliante alla scelta precedente, il DTM elaborato con *Max distance* = 0.25 m e *Max angle* = 15°.

In figura 5.1.18B viene riportato il DTM più confacente alla realtà (Tab. 5.1.30).

Tabella 5.1.30: Parametri prescelti nel nono confronto.

<i>Max distance (m)</i>	<i>Max Angle (deg)</i>
0.25	15

Al termine di tutti questi confronti è possibile arrivare a determinare quale DTM risulti più rappresentativo del suolo nudo. Nella tabella 5.1.31 vengono riportati i risultati prescelti di ogni singolo confronto.

Tabella 5.1.31: Risultati migliori nei vari confronti.

<i>Nome Immagine</i>	<i>Max distance (m)</i>	<i>Max angle (deg)</i>
Fig. 5.1.10	0.25	15
Fig. 5.1.11	0.25	15
Fig. 5.1.12	0.5	15
Fig. 5.1.13	0.25	15
Fig. 5.1.14	0.25	15
Fig. 5.1.15	0.25	15
Fig. 5.1.16	0.25	15
Fig. 5.1.17	0.25	15
Fig. 5.1.18	0.25	15

Analizzando la tabella 5.1.31 si può dedurre che il DTM dimostratosi più confacente alla realtà è quello processato con *Max distance* = 0.25 m e *Max Angle* = 15° (Fig. 5.1.19). Verrà quindi utilizzato questo modello del terreno per il confronto temporale con i DTM rilevati nel 2003 e nel 2010.

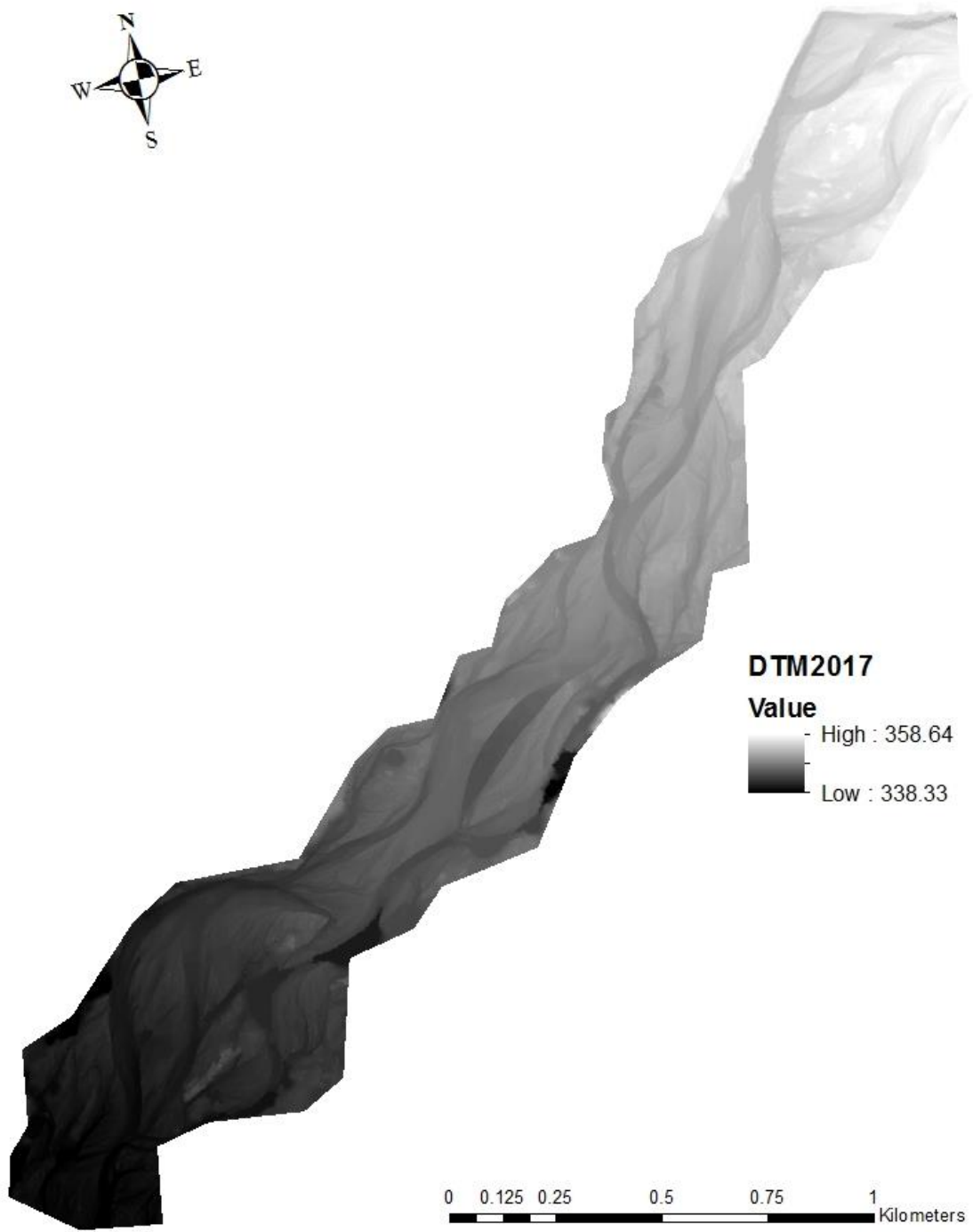


Figura 5.1.19: DTM prescelto.

5.2 ANALISI TEMPORALE ATTRAVERSO DoD

Data la disponibilità di due DTM ricavati da rilievi LiDAR, effettuati nel 2003 e nel 2010, è stato possibile realizzare un confronto lungo un tratto dell'area presa in analisi in questa ricerca (Fig. 5.2.1). Verrà quindi utilizzato il DTM ricavato dalle prove riportate nel precedente capitolo. L'indagine viene eseguita attraverso la realizzazione di differenti *DEM of Differences* (DoDs), in un'area di 0.683 km², che permettono di verificare i cambiamenti morfologici che si sono verificati nel corso degli ultimi 14 anni nell'alveo del fiume Piave.



Figura 5.2.1: Nella figura viene evidenziata, in azzurro, la zona per la quale si sono generati i DoDs.

In primo luogo è stato realizzato il DoD tra i due rilievi LiDAR, del 2003 e del 2010, a disposizione (Fig. 5.2.2).

Il *DEM of Difference* è stato realizzato mediante il *software ArcGis* attraverso l'utilizzo del *tool Raster Calculator*. Il *tool* permette di eseguire operazioni algebriche nei *raster*, consente quindi di effettuare una sottrazione tra il DTM del 2010 e del 2003 e ricavare le differenze morfologiche formatesi nel corso dell'intervallo di tempo considerato.

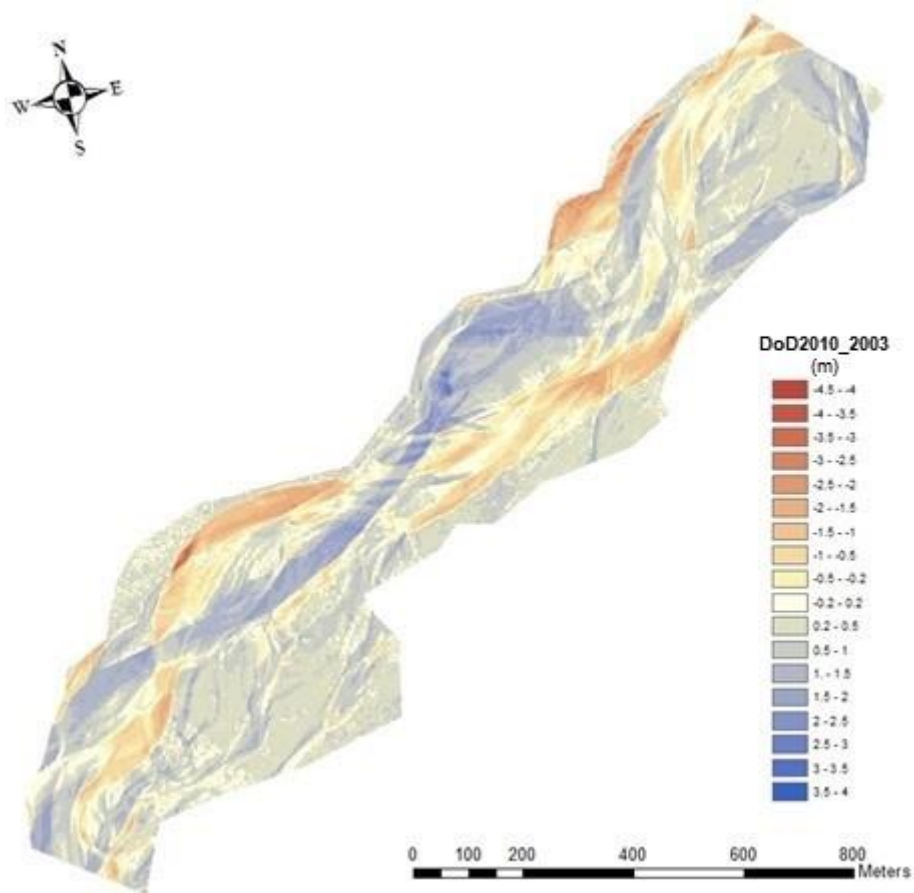


Figura 5.2.2: *DEM of Difference* tra il rilievo LiDAR del 2010 e del 2003.

L'evoluzione dell'alveo nel corso dei 7 anni intercorsi tra il 2003 e il 2010 mette in evidenza una deposizione minima ben distribuita lungo tutto il tratto analizzato. Fenomeni di deposizione più elevati si possono notare a monte del tratto, nella sponda sinistra del fiume, lungo la parte centrale nella sponda destra ed, infine, è ben evidente una deposizione centrale nelle parte più a valle dell'area in analisi.

I fenomeni di erosione, invece, sono contrapposti ai precedenti. Nell'area più a monte notiamo erosione lungo la sponda destra, nella zona centrale lungo la sponda sinistra e, nel tratto più a valle, l'erosione è localizzata principalmente lungo la sponda destra. In seguito vengono riportate la figura 5.2.3 rappresentante l'ortofoto del tratto nell'anno 2003 e la figura 5.2.4 rappresentante l'ortofoto nell'anno 2010.

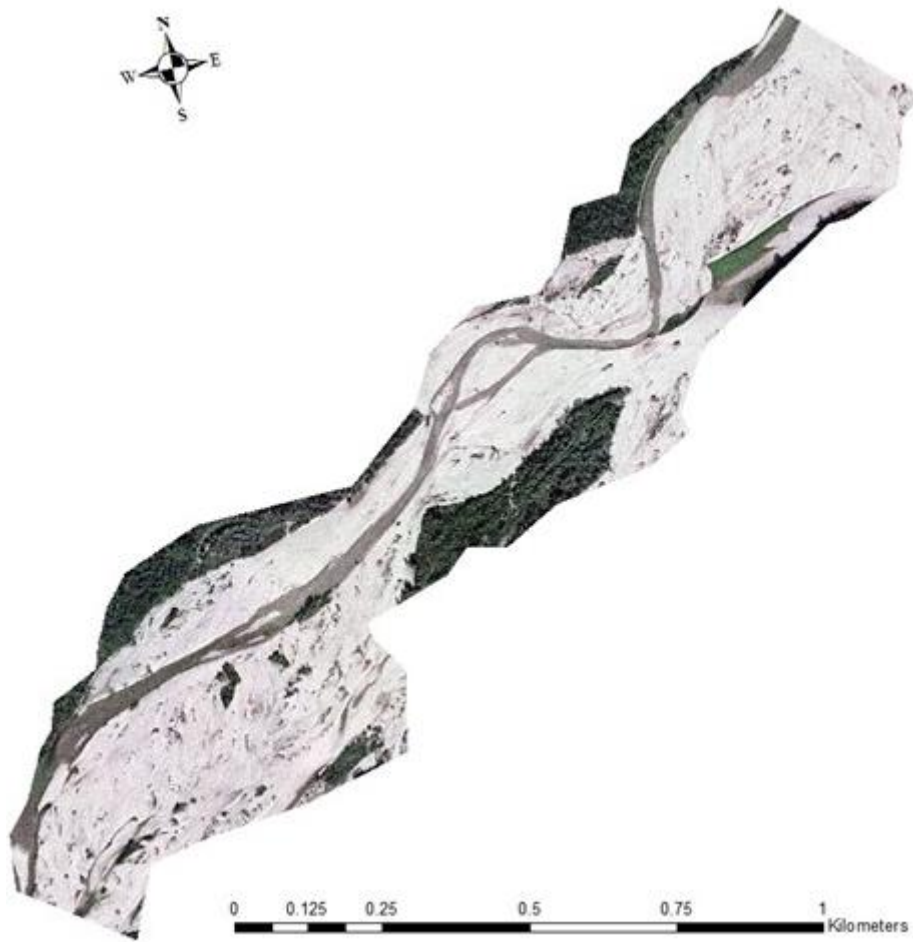


Figura 5.2.3: Ortofoto del tratto analizzato attraverso DoDs (immagine del 2003).

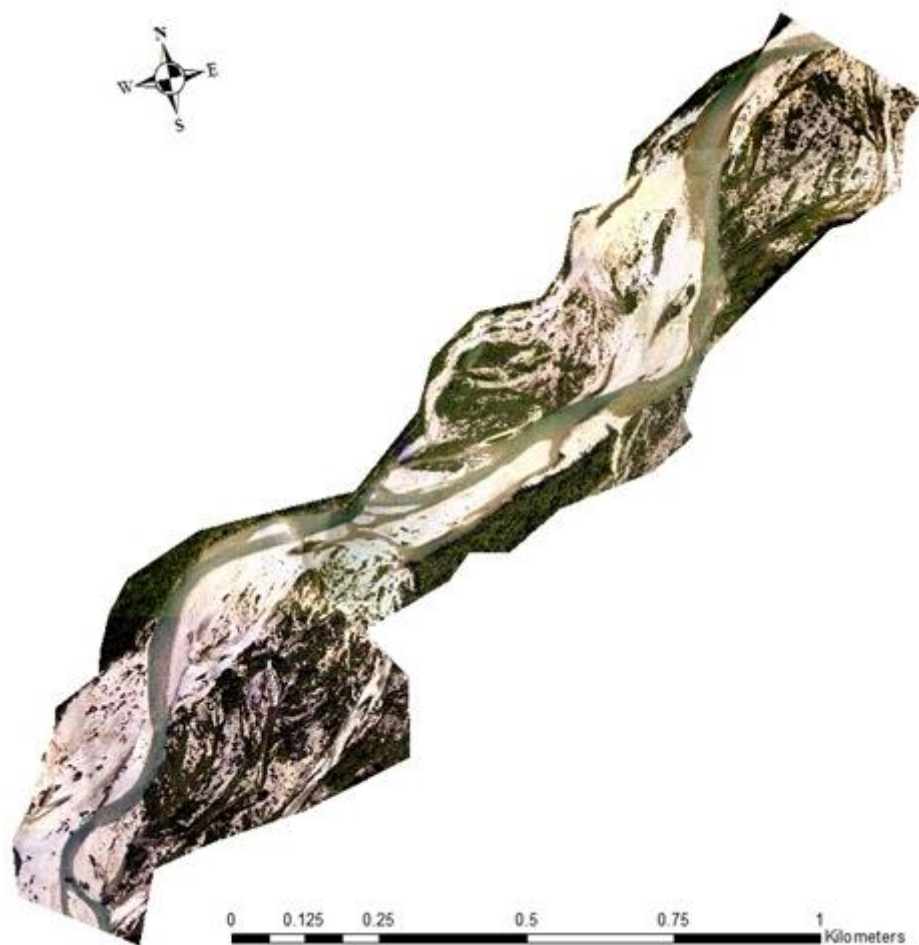


Figura 5.2.4: Ortofoto del tratto analizzato attraverso DoDs (immagine del 2010).

Come è possibile notare guardando le figure 5.2.3 e 5.2.4 il DoD mostra come il canale attivo si sia modificato e le zone di deposizione ed erosione corrispondano al reale cambiamento morfologico del fiume.

Dopodiché, sono stati realizzati i due DoDs che mettevano a confronto il DTM ottenuto in questa ricerca, attraverso analisi fotogrammetrica, ed i due DTM a disposizione (Fig. 5.2.5 e 5.2.6). Inoltre viene riportata l'ortofoto del 2017 relativa al tratto analizzato (Fig. 5.2.7).

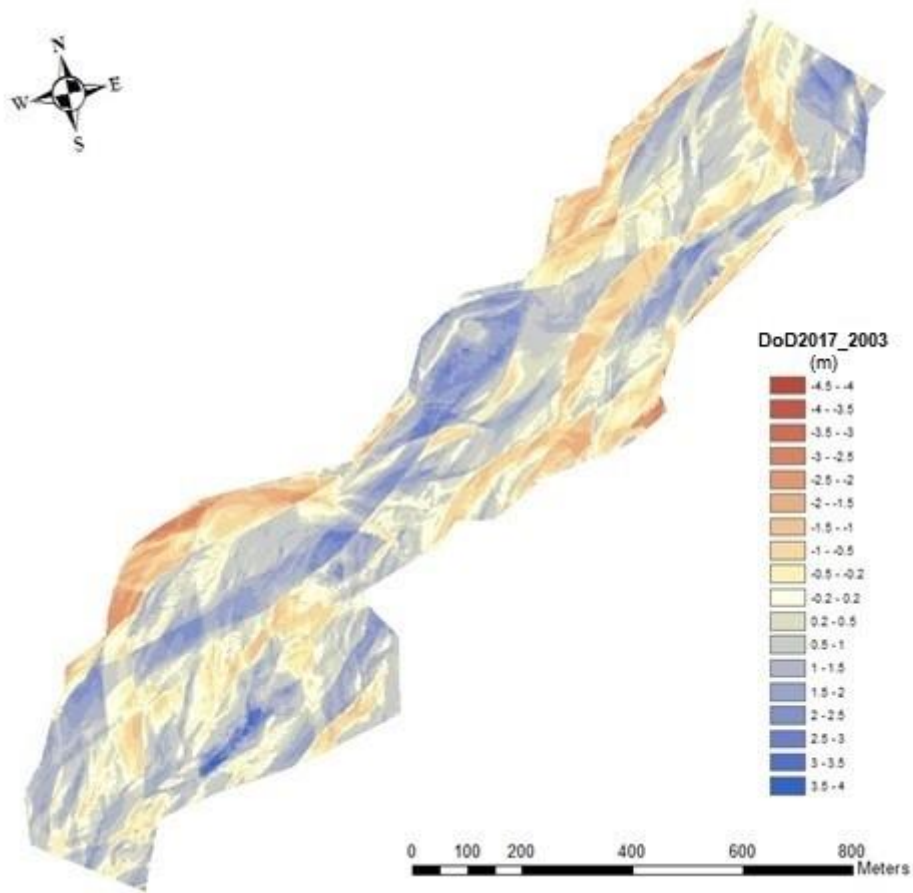


Figura 5.2.5: *DEM of Difference* tra il DTM del 2017 e il DTM del 2003.

Il presente DoD, che mette a confronto il rilievo del 2017 con quello del 2003, mostra una erosione spondale destra nella zona più a monte. Sempre nella zona a monte si nota erosione centrale in prossimità del canale attivo del fiume (Fig. 5.2.7). Scendendo verso valle i fenomeni di erosione sono localizzati in contiguità con il canale attivo, sito lungo la sponda sinistra. È, inoltre, possibile notare una marcata erosione centrale in coincidenza con un canale di morta. Più a valle si può notare una erosione laterale lungo la sponda destra, anche in questo caso in coincidenza di un canale di morta.

La deposizione è più distribuita rispetto all'erosione. I fenomeni più elevati di deposizione sono situati a monte, lungo la sponda sinistra, nella zona centrale lungo la sponda destra, dove scorreva il canale attivo, visibile nella figura 5.2.3 e mano a mano che si scende verso valle la deposizione si sposta verso la sponda sinistra.

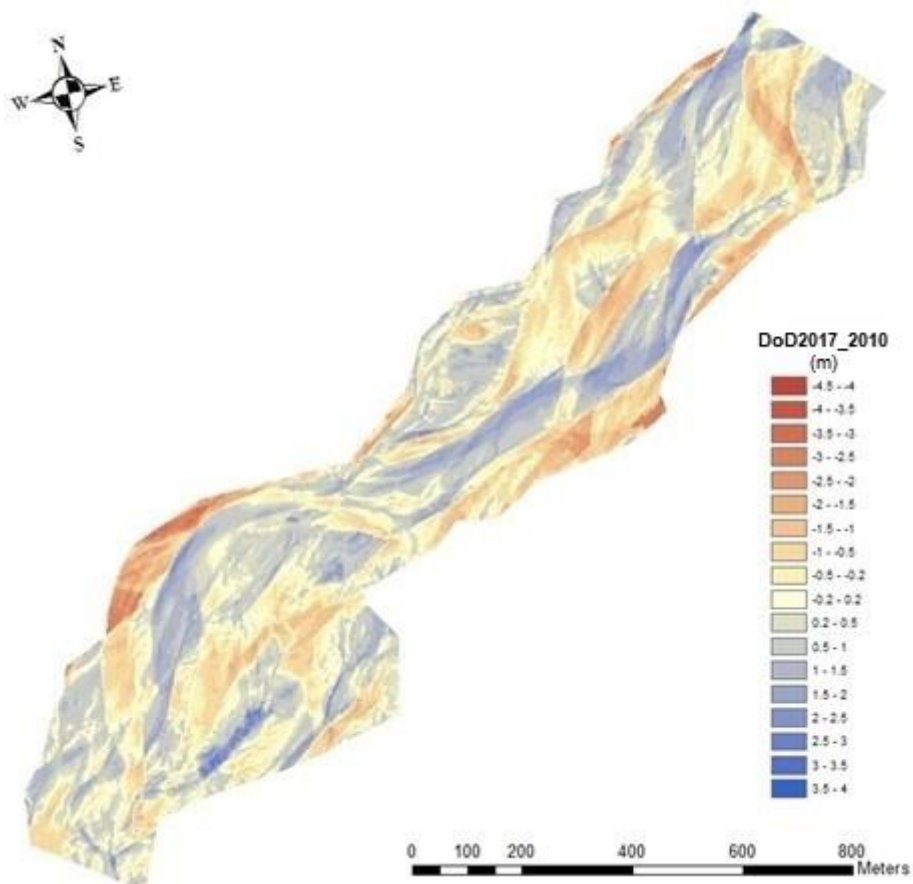


Figura 5.2.6: *DEM of Difference* tra il DTM del 2017 e il DTM del 2010.

In quest'ultimo *DEM of Difference* non si nota una predominanza di deposizione rispetto all'erosione, come nei precedenti. I fenomeni di erosione sono localizzati lungo il canale principale (Fig. 5.2.7), in prossimità del canale di morta e delle ghiaie esposte situate al centro del tratto in analisi ed infine in prossimità di due canali di morta nella parte più a valle (Fig. 5.2.7).

I fenomeni di deposizione vedono sedimentazione lungo la sponda destra nella parte più a monte, mentre nella zona centrale e nella parte più a valle del tratto in analisi la deposizione più marcata è situata al centro dell'alveo, dove scorreva nel 2010 il canale attivo (Fig. 5.2.4).

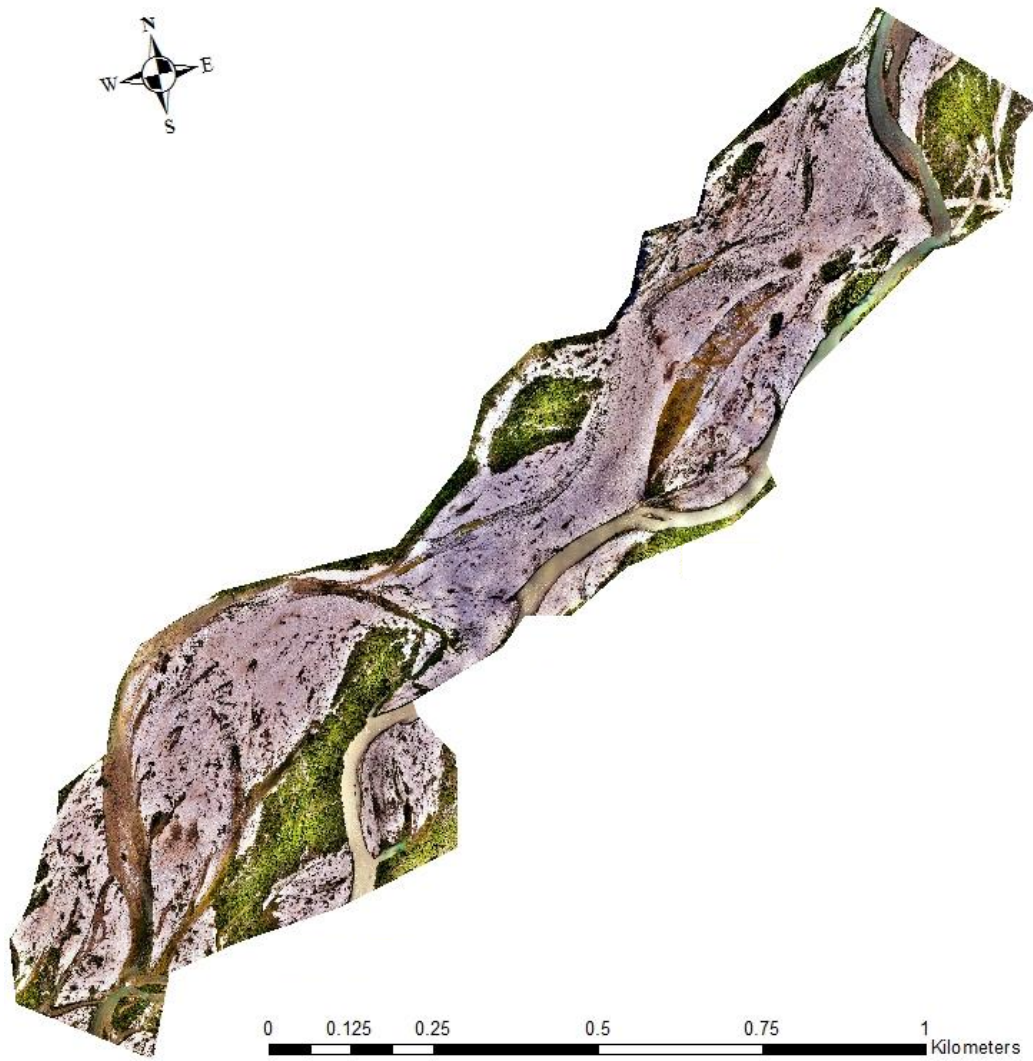


Figura 5.2.5: Ortofoto del tratto analizzato attraverso DoDs (immagine del 2017).

6. DISCUSSIONE

Il lavoro svolto nella presente ricerca è stato finalizzato a valutare l'utilizzo di UAV e analisi fotogrammetrica per la realizzazione di un DTM lungo un tratto del fiume Piave. Nei precedenti risultati è stato riportato come il *software Photoscan* riesca, mediante il *tool Classify Ground Points*, ad elaborare il DTM. Il *tool*, come spiegato in precedenza, attraverso l'impostazione di diversi parametri, individua i punti del suolo nudo.

6.1 DISCUSSIONE DELLE FASI DI SVILUPPO DEL DTM

Durante le fasi di sviluppo del DTM è stata verificata la corrispondenza alla realtà delle diverse prove di elaborazione effettuate, per arrivare ad ottenere un DTM che rappresentasse al meglio il suolo nudo. Attraverso la creazione di sezioni trasversali, in diverse zone dei DTM estratti, è stato possibile analizzare come *Photoscan* esegua l'elaborazione in differenti superfici. Inoltre, ogni risultato prescelto, è stato confrontato con le sezioni trasversali dei due DTM elaborati utilizzando tutte le immagini.

Si è subito notato, durante l'elaborazione del DSM, come già visto da *Aicardi et al. (2014)*, *Javernick et al. (2014)* e da *Abyoga (2017)*, che il programma ha difficoltà nell'elaborazione di superfici riflettenti ed in movimento come l'acqua. Per sopperire a questa problematica, *Javernick et al. (2014)* ha unito l'analisi fotogrammetrica all'analisi batimetrica del corso d'acqua.

Si sono venute a creare diverse deformazioni in corrispondenza dell'acqua. Il programma però ha risposto in maniera differente nelle diverse sezioni trasversali analizzate. Dove venivano presi in considerazione tratti del corso d'acqua con una profondità limitata ed una buona trasparenza dell'acqua il software ha restituito elaborazioni con minime, se non nulle, deformazioni (Fig. 5.1.3A e 5.1.4A). Mentre, con profondità maggiore e maggior torbidità dell'acqua, il programma ha restituito elaborazioni con variazioni di quota non corrispondenti alla realtà (Fig. 5.1.1A, 5.1.2A, 5.1.6A, 5.1.7A, 5.1.8A, 5.1.9A). Le deformazioni ottenutesi comprendevano depressioni e picchi. Attraverso l'utilizzo del *tool Fill (Spatial Analyst)* di *ArcGis*, durante l'elaborazione dei DSM, è stato possibile eliminare le depressioni. Una volta elaborati i DTM mediante l'utilizzo del *tool* di *Photoscan Classify Ground Points* e anch'essi rifiniti

attraverso *Fill (Spatial Analyst)*, sono risultate eliminate completamente le deformazioni (depressioni e picchi). Si è ottenuto, quindi, un risultato confacente alla realtà nelle zone con presenza di acqua.

Per quanto concerne l'elaborazione nelle zone vegetate, nonostante i rilievi siano stati effettuati in luglio e di conseguenza la copertura della vegetazione fosse massima, si sono ottenuti risultati corrispondenti alla realtà. Nonostante ciò permangono alcune zone dubbie, evidenziate nella figura 6.1.1.

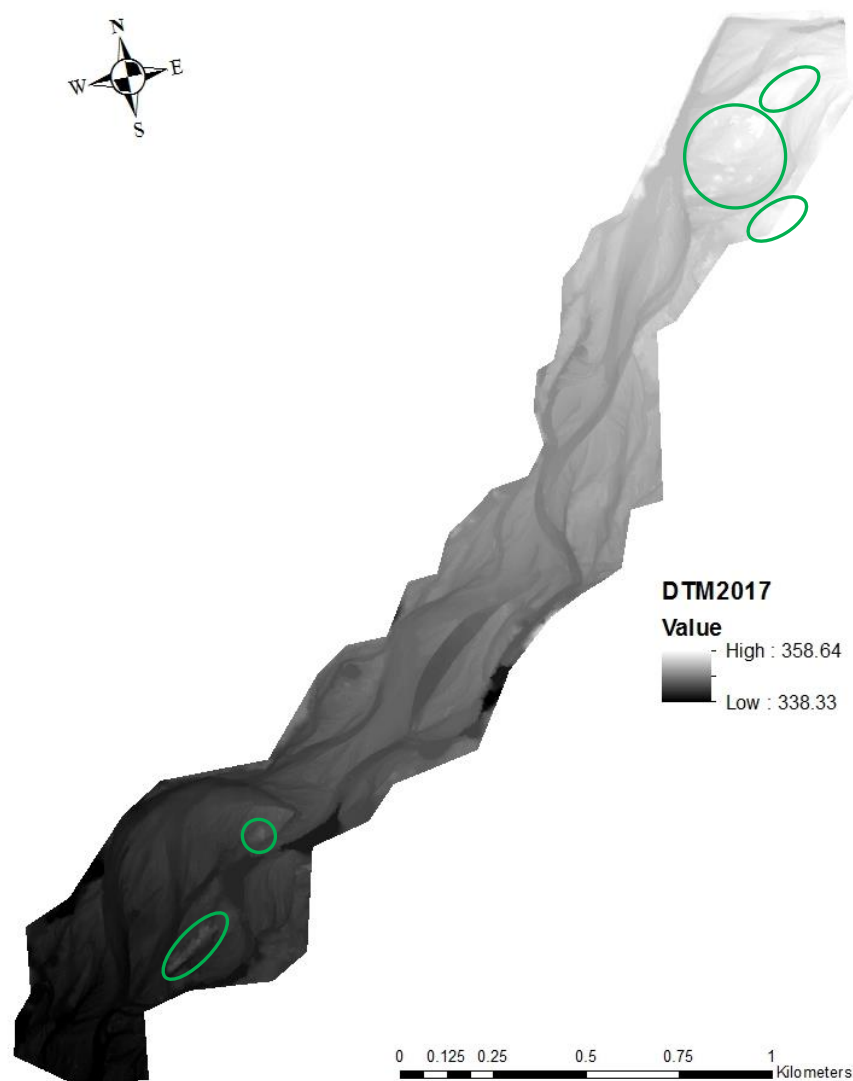


Figura 6.1.1: DTM totale, in verde sono evidenziate le zone per le quali permangono dubbi relativamente al filtraggio della vegetazione.

Sono stati evidenziati, inoltre, problemi nell'elaborazione delle immagini al confine del rilievo. In prossimità del punto 337 della figura 5.1.6, la quota della sezione trasversale è diminuita rapidamente, generando una depressione irreali. Il problema, come si può notare nella figura 5.1.15, è stato risolto elaborando il DTM con tutte le immagini a disposizione. Si può dedurre che una ridotta sovrapposizione delle immagini unita ad una ridotta quantità di immagini a disposizione in una determinata zona crei problemi di elaborazione al programma. Questa complicazione è stata riscontrata anche nel DTM finale elaborato con tutte le foto. Si possono notare alcune zone con depressioni non corrispondenti alla realtà (Fig. 6.1.2).

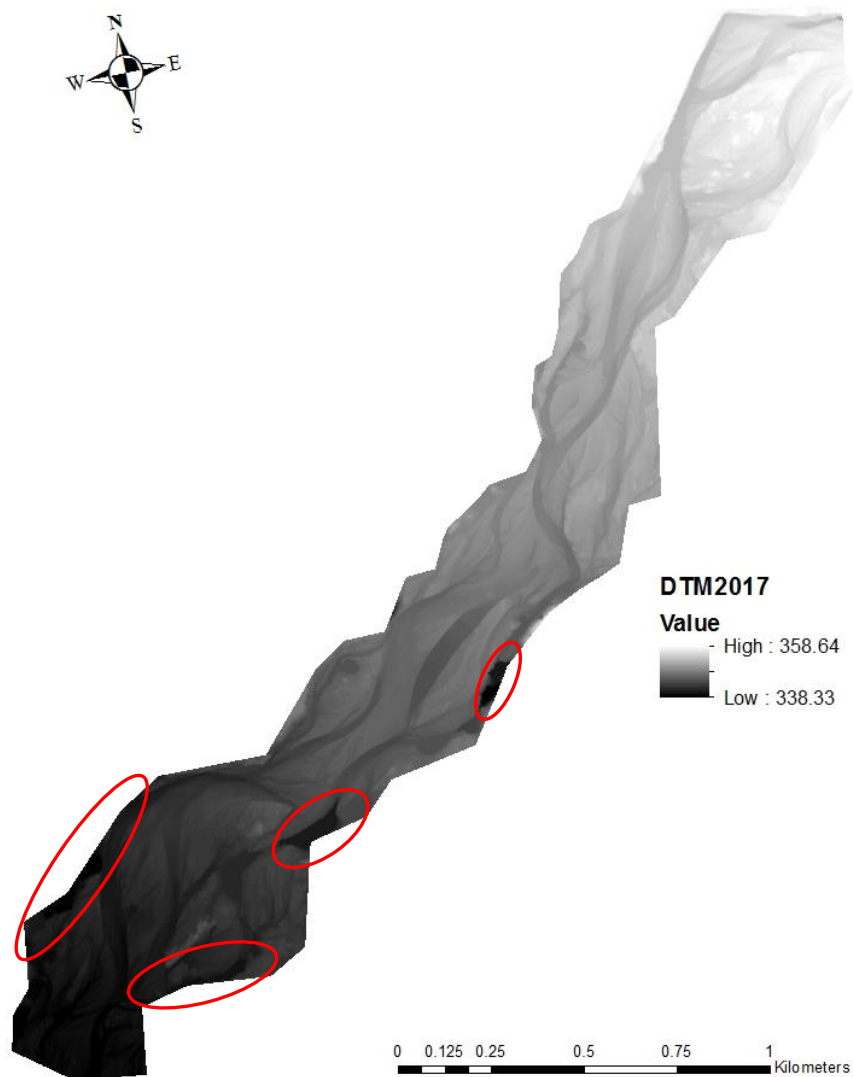


Figura 6.1.2: DTM finale, in rosso sono evidenziate le depressioni che non rappresentano la realtà.

Infine, è stato riscontrato un problema nelle sezioni trasversali, ricavate nei DTM elaborati con il totale delle immagini, riportate nella figura 5.1.17. Molto probabilmente il problema è sorto a causa di una errata creazione dei piani di volo (Fig. 6.1.3).

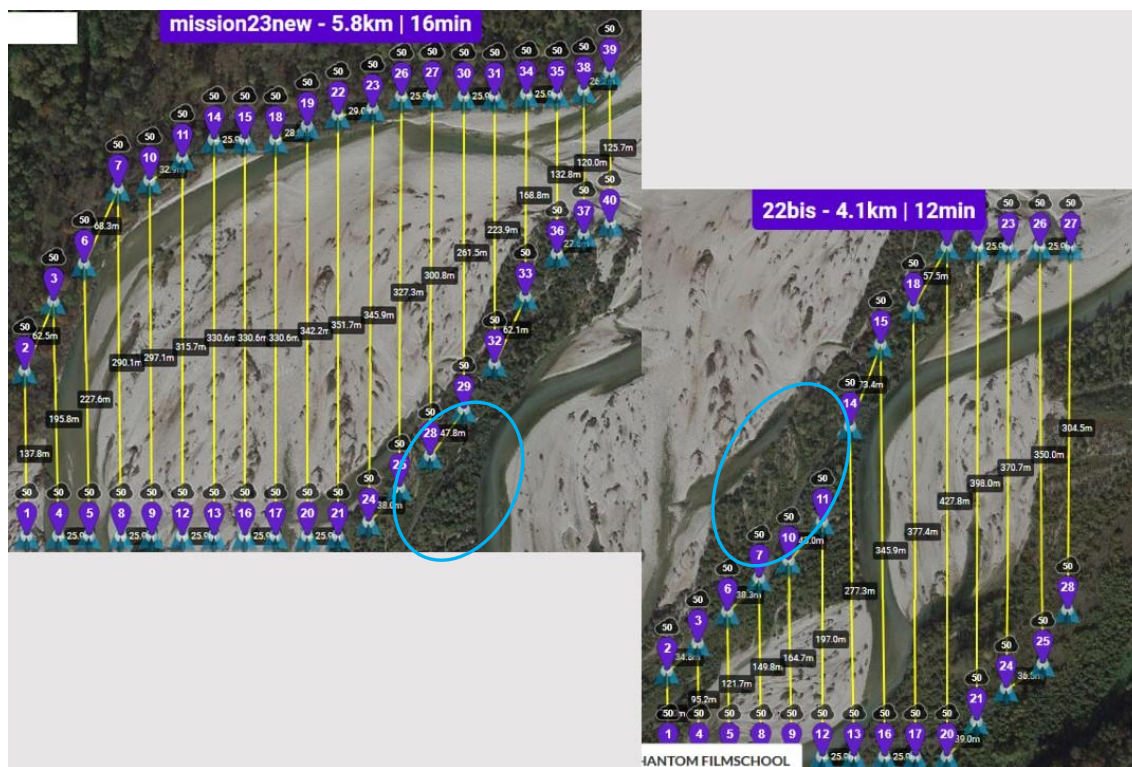


Figura 6.1.3: Confronto piani di volo, in azzurro viene evidenziata la zona in cui non vi è sovrapposizione.

Come si può notare dalla figura 6.1.3 i piani di volo in questa area non si sovrappongono, venendo così a mancare l'overlap necessario per l'elaborazione delle immagini da parte di Photoscan. Quindi l'appiattimento della sezione trasversale riscontrato nella figura 5.1.17 è dato dalla assenza di immagini nelle zone circostanti, le quali hanno creato una errata elaborazione in un tratto del fiume. Nella figura 6.1.4 si è cercato di circoscrivere l'area ove il programma ha presentato problemi di creazione del DTM.

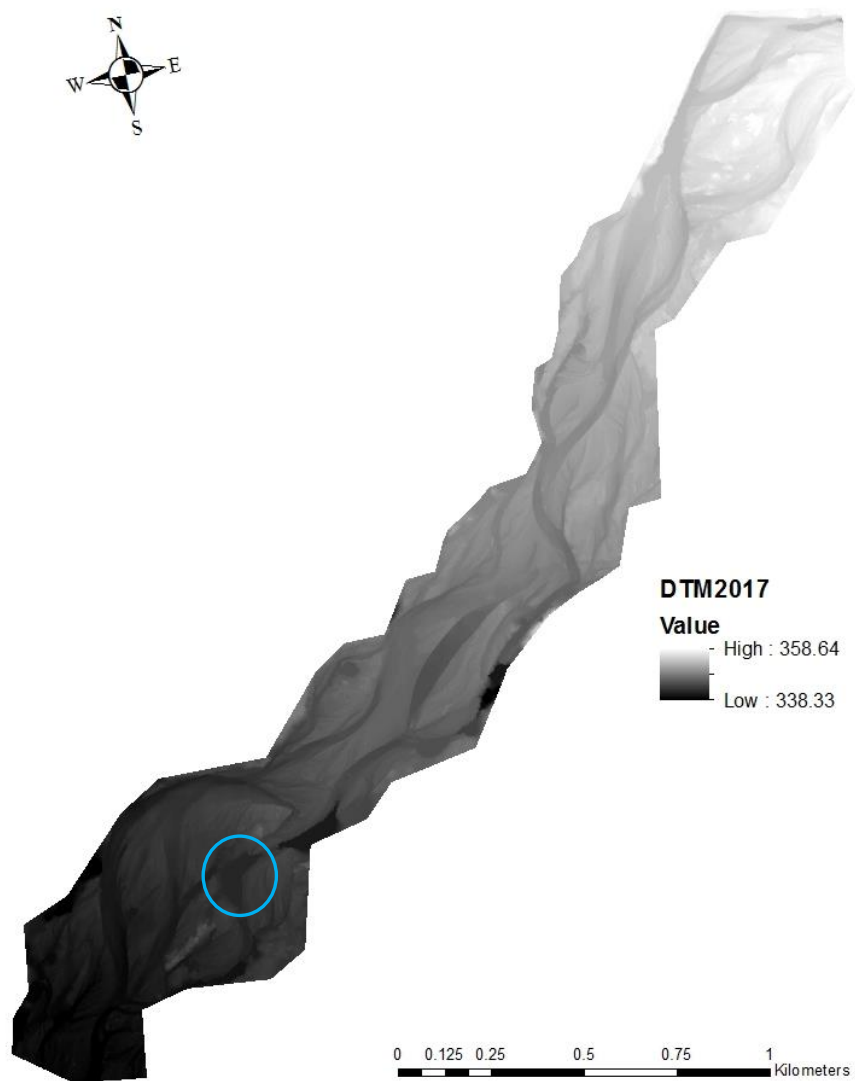


Figura 6.1.4: DTM totale, in azzurro viene evidenziata la zona ove sono stati riscontrati problemi di elaborazione.

6.2 DISCUSSIONE DEI DoDs REALIZZATI

L'analisi dell'area mediante la creazione di diversi *DEM of Differences* ha evidenziato come in questo tratto il fiume sia caratterizzato da una continua evoluzione e cambiamento morfologico. Nelle seguenti figure vengono riportati le ortofoto ed i DoDs analizzati:



Figura 6.2.1: Ortofoto relative agli anni considerati.

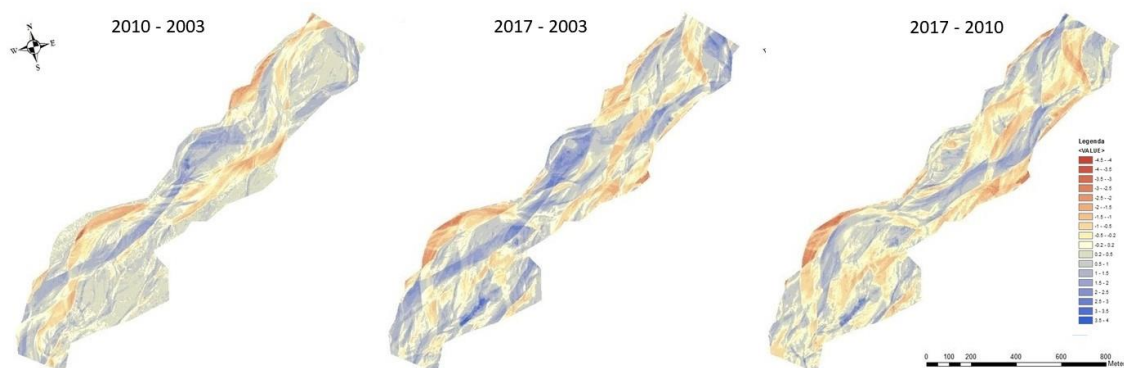


Figura 6.2.2: DoDs analizzati lungo il tratto preso in esame.

Analizzando i diversi DoDs si può definire che il sistema è tendenzialmente in equilibrio, non essendoci una chiara predominanza di deposizione né di erosione. Si può quindi desumere che vi sia un sostanziale bilancio nullo tra il sedimento trasportato da monte e quello esportato a valle. Importante, comunque, sottolineare che l'equilibrio non indica che il sistema fluviale rimane immutato nel corso del tempo. Anzi, si può notare molto bene nella figura 6.2.1 il cambiamento che l'alveo fluviale ha subito negli ultimi 14 anni. Sono stati rimobilizzati sedimenti, alcune zone vegetate sono diventate più

stabili, altre sono state erose e alcuni canali sono stati abbandonati. Nella figura 6.2.1 è visibile, nella parte a monte verso la sponda sinistra, una zona vegetata non presente nel 2003 e di giovane formazione nel 2010. Nel 2017 l'area ha lasciato spazio al canale principale, è diminuita di dimensione e le piante presenti sono cresciute rendendola più stabile e matura. Un processo simile si è rilevato nell'area vegetata a metà tratto, lungo la sponda destra. Infatti, dove nel 2003 scorreva il canale principale, nel 2010 ha iniziato a formarsi una area vegetata che nel 2017, seppur di minore estensione, è diventata più stabile, con presenza di piante più mature. Anche l'area vegetata presente verso valle, lungo la sponda sinistra, di giovane formazione nel 2010, nel 2017 è diventata più stabile e compatta. Questa è proprio la zona dove si hanno avuto problemi di elaborazione a causa dell'errata realizzazione dei piani di volo, nella figura 6.2.3 viene circoscritta l'area all'interno dei due DoDs.

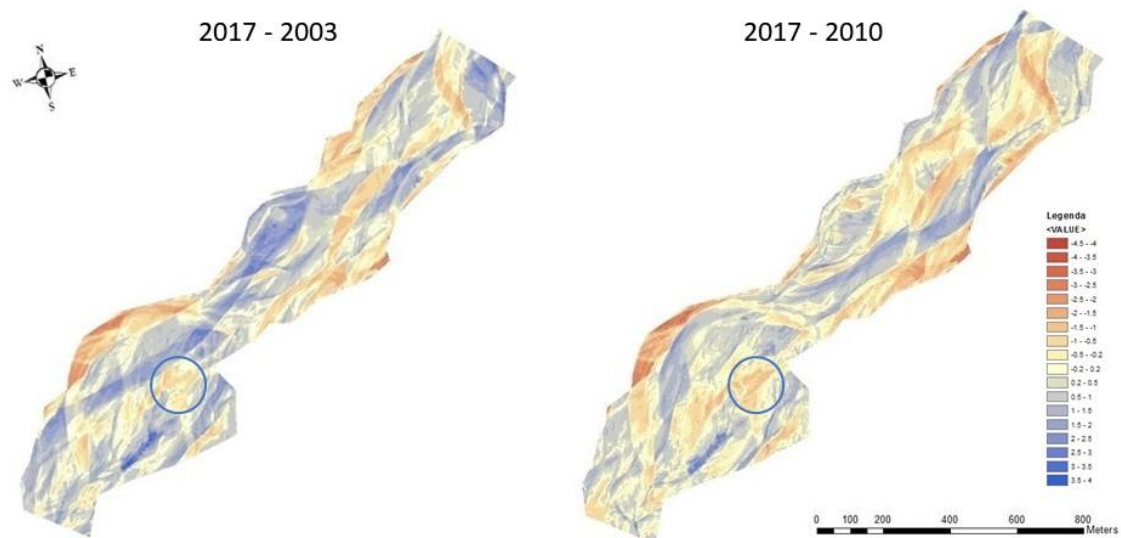


Figura 6.2.3: Dods, in azzurro viene evidenziata l'area ove si sono riscontrati problemi di elaborazione.

Il canale principale è mutato molto rispetto al 2003. Nella parte centrale del tratto in analisi, il canale si è spostato verso la sponda sinistra ed ha eroso completamente un'area vegetata presente sia nel 2003 che nel 2010. Inoltre, è possibile osservare come il canale principale del 2003 e del 2010, nella zona a valle, sia ora divenuto un canale di morta. Si può notare come questo vecchio canale principale sia progressivamente

traslato verso la sponda destra e, negli anni, abbia eliminato completamente una zona vegetata presente nei rilievi passati. Infine, possiamo notare come il canale principale attuale, rispetto al 2003, sia completamente traslato verso la sponda sinistra dell'alveo.

7. CONCLUSIONI

Dopo le analisi realizzate in precedenza, permangono dubbi riguardo l'effettiva rappresentazione della realtà del DTM ricavato con analisi fotogrammetrica. Per verificare la concreta veridicità del rilievo tramite UAV bisognerebbe possedere un rilievo LiDAR dello stesso periodo con cui effettuare il confronto. Questa ricerca, però, risulterebbe irragionevole nell'ambito che stiamo trattando, data l'elevata onerosità. Sarebbe più consono e logico effettuare uno studio del genere per meri scopi scientifici, per migliorare la calibrazione dei software e per migliorare il filtraggio, al fine di ottenere risultati che sempre più si avvicinino a rappresentare, con il maggior dettaglio possibile, la realtà.

Malgrado ciò molti possono essere gli accorgimenti da seguire, nella fase di rilevamento, per migliorare questa tecnica di elaborazione.

Viste le perplessità rimaste nell'elaborazione di alcune zone vegetate si consiglia di effettuare i rilievi durante il periodo di dormienza delle piante. Così facendo tutte le specie caducifoglie non interferiranno eccessivamente con l'acquisizione e l'elaborazione dei dati, permettendo di rilevare direttamente una maggior superficie del suolo nudo.

Per migliorare ancor più la qualità del rilievo si può, inoltre, integrare l'analisi fotogrammetrica con un'analisi batimetrica del canale principale del corso d'acqua, soprattutto se, come in questo caso, vi è una torbidità elevata oppure profondità dell'acqua rilevante.

Un altro accorgimento da seguire è quello di ampliare l'area in cui si effettua il rilievo. Come è stato dimostrato in precedenza, il *software* mostra lacune nell'elaborazione delle zone ai margini del rilievo. La causa principale è da imputare all'insufficiente quantità di foto e *overlap* nelle zone marginali.

Inoltre bisogna tenere conto della luminosità del momento dell'acquisizione delle immagini con il drone. In questa ricerca si è visto che i rilievi effettuati dopo le ore 18 hanno fotografato immagini completamente sfuocate ed impossibili da utilizzare ai fini dello studio. Questo problema potrebbe essere eliminato, teoricamente, impiegando una macchina fotografica ad alta definizione.

Infine, in un'area così ampia, si potrebbe progettare meglio i piani di volo per velocizzare il lavoro di posizionamento dei target e rilievo GPS. I piani di volo dovrebbero essere studiati in modo tale da adattarli alle diverse morfologie. Per esempio, nei tratti fluviali caratterizzati dalla predominante morfologia pseudomeandriforme, come nel caso di studio presentato, sarebbe bene rilevare prima una sponda e poi l'opposta. Così facendo si andrebbe a velocizzare il lavoro evitando di guardare inutilmente più volte il corso d'acqua, diminuendo non solo il tempo richiesto per eseguire i rilievi ma anche i rischi per gli operatori.

Il rilievo tramite UAV, quindi, presenta tutt'ora elementi rivedibili e di non certa comprensione e affidabilità. Tramite gli accorgimenti sopracitati queste criticità possono essere ridotte. Finché non verrà effettuato un paragone con un rilievo LiDAR contemporaneo al rilievo UAV non si sarà in grado di avere una certezza del risultato ottenuto e meglio definire un protocollo certo in modo da ottenere risultati adeguati.

Nonostante ciò i rilievi mediante UAV hanno tutte le caratteristiche per soppiantare i rilievi attuali, in qualsiasi settore di applicazione. I costi veramente ridotti e la facilità di applicazione di questa tecnologia unita, in futuro, ad un miglioramento dei *software* di elaborazione delle immagini acquisite renderanno sempre più affidabili queste indagini. In definitiva la problematica principale è relativa all'interazione con i dati ottenuti ed il filtraggio di parte di questi, in base alla loro classificazione.

8. BIBLIOGRAFIA

- Abyoga A. S., 2017. Environmental monitoring of river Prießnitz using 3D-model with Agisoft Photoscan. HTW-Dresden – Environmental Engineering.
- Agisoft, 2017. Dense Cloud Classification and DTM Generation with Agisoft PhotoScan Professional. Agisoft Support Tutorials.
- Aicardi I., Lingua A., Noardo F., Maschio P., 2014. Criticità e soluzioni per il rilevamento in ambito ambientale con piattaforme UAV. Politecnico di Torino.
- Arcangeletti E., 2016. Utilizzo di UAV per la mappatura del rischio idraulico. Tesi di dottorato. Università degli Studi della Tuscia.
- Barbi A., Cagnati A., Cola G., Checchetto F., Chiaudani A., Crepaz A., Delillo I., Mariani L., Marigo G., Meneghin P., Parsi S. G., Rech F., Renon B., Robert-Luciani T., 2013. Caratterizzazione climatica a scopo forestale delle Comunità Montane della Regione Veneto. In: Atlante climatico del Veneto. Precipitazioni - Basi informative per l'analisi delle correlazioni tra cambiamenti climatici e dinamiche forestali nel Veneto. Regione del Veneto, Mestre.
- Billi P., 1994. Morfologia dei corsi d'acqua. Verde ambiente.
- Blaschke T., Hay G. J., Maggi K., Lang S., Hofmann P., Addink E., Feitosa R. Q., Van der Meer F., Van der Werff H., Van Coillie F., Tiede D., 2014. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 180-191.
- Brunier G., Fleury J., Anthony E. J., Gardel A., Dussouillez P., 2016. Close-range airborne Structure-from-Motion Photogrammetry for high-resolution beach morphometric surveys: Examples from an embayed rotating beach. *Geomorphology*, 76-88.
- Carrivick J. L., Smith M. W., Quincey D. J., 2016. Structure from Motion in Geosciences. *New Analytical Methods in Earth and Environmental Science*.
- Cavalli M., 2009. Caratterizzazione idrologica e morfologica dei bacini montani mediante scansione laser da aeromobile. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Padova.
- Church M. A., 1992. Channel Morphology and Typology. In: P. Callow and Petts, G. E. (Eds), *The Rivers Handbook*, Oxford, Blackwell, 126-143.

Dallavalle D., 2014. Flussi granulari in laboratorio e sul campo: rilievo 3-dimensionale dinamico mediante tecniche fotogrammetriche terrestri. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Padova.

De Agostini A., 2012. L'utilizzo dell'interferometria radar satellitare nella caratterizzazione dei fenomeni franosi a differenti scale d'indagine. Tesi di dottorato. Università degli Studi di Padova.

Gomasasca M. A., 2011. La rappresentazione del territorio è geomatica!.

Hudzietz B. P., Saripalli S., 2011. An experimental evaluation of 3D terrain mapping with an autonomous helicopter, in: Eisenbeiss H., Kunz M., Ingensand H. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g) 2011, Zurich, Switzerland.

James M.R., Ilic S., Ruzic I., 2013. Measuring 3D coastal change with digital camera. Coastal Dyn, 893-904.

Javernick L., Brasington J., Caruso B., 2014. Modeling the topography of shallow braided rivers using Structure-from-Motion photogrammetry. Geomorphology 213 (166-182).

Kellerhals R., Neill G. R., Braille D. I., 1972. Hydraulic and geomorphic characteristics of rivers in Alberta. River Engineering and Surface Hydrology Report, Research Council of Alberta, 52 pp.

Kellerhals R., Church M., Bray D. I., 1976. Classification and analysis of river processes. Journal of the Hydraulics Division HY7, 813-829.

Lazzari, 2003. Materiale didattico del corso "Sistemi innovativi in zootecnia" modulo di "Supporti avanzati per la gestione dell'allevamento". Università degli Studi di Milano.

Lenzi M. A., 2015. Appunti del corso "Fluviomorfologia e riqualificazione fluviale". Università degli studi di Padova.

Lenzi M. A., 2016. Appunti del corso "Tutela del paesaggio agricolo e forestale e riassetto idraulico del territorio". Università degli Studi di Padova.

Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P., 1964. Fluvial processes in Geomorphology. Freeman: San Francisco.

Mainardi F., 2013. Telerilevamento e modelli di risposta idrologica nel bacino idrografico del fiume bacchiglione. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Padova.

Marchetti M., 2000. Geomorfologia Fluviale. Pitagora Editrice Bologna.

Monai M., Racca R., Barbi A., Rech F., 2003. I fattori di rischio climatico e le azioni di supporto meteorologico alle attività di protezione civile nella Provincia di Venezia. Arpav.

Moore I. D., Grayson R. B., Ladson A. R., 1991. Digital Terrain Modelling: A review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications. Hydrological Processes, 5, 3-30.

Moses T., 2010. Reconstructing streams. Public Works.

Nanson G. C., Croke J. C., 1992. A genetic classification of floodplains. Australia and New Zealand Geomorphology Research Group, 5th Conference, Port Macquaire.

Picco L., 2010. Long period morphological dynamics in regulated braided gravel-bed river: comparison between Piave River (Italy) and Waitaki River (New Zealand). Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Padova.

Picco L., Comiti F., Mao L., Tonon A., Lenzi M. A., 2017. Medium and short term riparian vegetation, island and channel evolution in response to human pressure in a regulated gravel bed river (Piave River, Italy). Catena 149 (760-769).

Pirotti F., 2016. Appunti del corso "Telerilevamento e Sistemi Informativi". Università degli studi di Padova.

Ravazzolo D., 2011. Tipologie e volumi di materiale legnoso in fiumi soggetti a diverso impatto antropico. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Padova.

Renzi F., 2014. Big Data & Analytics. Dottorato di Ricerca in Nuove Tecnologie per la Città, il Territorio e l'Ambiente. Università luav di Venezia.

Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M., 2010. Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua.

Rosgen D. L., 1994. A classification of natural rivers. Catena 22, 169-199.

Rossi R., 2016. Appunti del corso "Applicazioni Gis in idrologia". Università degli studi di Padova.

Rusconi A., Caielli A., Baruffi F., Braidot A., Ballerin M., Cappellotto M., Giacomini P., Ottoboni R., Gris G., Maso M., 2000. Piano stralcio per la sicurezza idraulica del medio e

basso corso del fiume Piave. Segreteria tecnico-operativa dell'autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione.

Rusconi A., 2004. Il bilancio idrologico e gli usi delle acque. In: *Il Piave, 2004*, edit. Bondesan A., Caniato G., Vallerani F., Zanetti M., pp. 92-101.

Siebert S., Teizer J., 2014. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. *Automation in Construction* 41, 1-14.

Surian N., 2004. La morfologia dell'alveo del Piave. In: *Il Piave, 2004*, edit. Bondesan A., Caniato G., Vallerani F., Zanetti M., pp. 73-75.

Weibel R., Heller M., 1991. Digital Terrain Modelling. In: *Geographical Information System, principles and applications*. Edited by D. J. Maguire, M. F. Goodchild and D. W. Rhind. New York: John Wiley and Sons, 269-297.

Wilson J. P., Gallant J. C., 2000. Digital Terrain Analysis. In: *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Edited by J. P. Wilson and J. C. Gallant. New York: John Wiley and Sons, 1-27.

Zanella M., 2012. Regime dei deflussi e modificazioni morfologiche: Analisi statistica del fiume Brenta nel corso degli ultimi 30 anni. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Padova.

Zanetti M., 2004. La flora e la vegetazione. In: *Il Piave, 2004*, edit. Bondesan A., Caniato G., Vallerani F., Zanetti M., pp. 133-148.