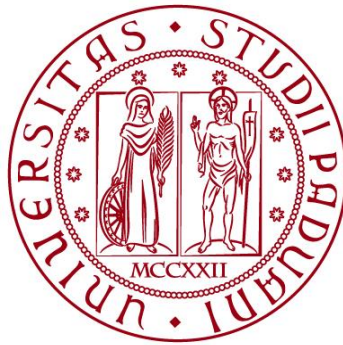


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



**TESI DI LAUREA**

## **Rappresentazioni vettoriali del reticolo idrografico del torrente Biois (BL)**

**Relatore: Chiar.mo PROF. Gianluca Botter**  
**Correlatore: Chiar.mo PROF. Nicola Durighetto**

**Laureando: Marco Babato**

**ANNO ACCADEMICO 2023-2024**





# Abstract

La delimitazione del reticolo idrografico di un bacino mediante estrazioni geospaziali è di estrema importanza perché ci permette di ricavare informazioni utili sulla gestione efficiente delle risorse idriche e la mitigazione dei rischi ambientali. Questo studio si concentra sull'uso di tecniche avanzate di estrazione e analisi geospaziale per ottenere una rappresentazione accurata di una rete idrografica, essenziale per la modellazione idrologica, la prevenzione delle inondazioni e la pianificazione del territorio. In questa tesi, sono state condotte analisi sulla idrografia del bacino del Biois (BL) a partire dall'utilizzo di mappe digitali ad alta risoluzione *Terrain Digital Map* (DTM), attraverso software quali Arcgis e Matlab. Per questa tesi è stato utilizzato il metodo di estrazione D8, seguito dall'imposizione di una soglia sull'area cumulata, che ha permesso di ottenere il reticolo estratto dal DTM per il bacino del Biois. A questo risultato si sono aggiunte le estrazioni di tre affluenti del torrente Biois: Valfredda, Fuciade e Focobon. Al fine di accertare la robustezza degli strumenti implementati, le reti estratte sono state confrontate con quelle osservate durante i rilievi in situ e con il reticolo ufficiale della Regione Veneto, attraverso un'analisi visiva. Da queste analisi sono state individuate alcune incongruenze, tra cui la presenza nelle reti estratte dal DTM di canali inesistenti oppure la rappresentazione di canali reali ma spostati rispetto a quelli rappresentati dall'idrografia di riferimento. Queste discrepanze sono state attribuite a errori nelle direzioni dei flussi calcolate dal DTM di partenza. Questo studio offre una base di partenza per lo sviluppo di modelli più precisi, adatti allo studio della risposta idrologica e chimica del bacino.



*"La goccia scava la pietra, non con la forza ma cadendo spesso."  
Ovidio, Epistulae ex Ponto, libro IV, epistola 10, verso 5*



# Indice

<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>Indice</b>	<b>vii</b>
<b>1 INTRODUZIONE</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALI E METODI</b>	<b>3</b>
2.1 La Valle del Biois . . . . .	3
2.2 Dati morfologici e idrologici della Val Biois . . . . .	7
2.3 Modello digitale del terreno del Biois (rilievo LIDAR) . . . . .	8
2.4 Idrografia del torrente Biois . . . . .	12
2.4.1 Rete idrografica ricavata da ARPAV e APPA . . . . .	12
2.4.2 Rete idrografica ricavata dalla Carta Tecnica Regionale . . . . .	14
2.5 Estrazione del reticolo idrografico del Biois . . . . .	15
2.5.1 Rimozione dei depressioni . . . . .	15
2.5.2 Determinazione delle direzioni di drenaggio . . . . .	16
2.5.3 Posizionamento della sezione di chiusura . . . . .	17
2.5.4 Identificazione dell'area contribuente . . . . .	17
2.5.5 Separazione tra canale e versante . . . . .	18
2.6 Idrografia dei torrenti Valfredda, Fuciade e Focobon . . . . .	19
2.7 Estrazione del reticolo idrografico dei tre affluenti . . . . .	23
<b>3 RISULTATI E DISCUSSIONE</b>	<b>25</b>
3.1 Confronto tra le reti idrografiche di ARPA e CTR del Biois . . . . .	25
3.2 Generazione del reticolo idrografico del Biois . . . . .	29
3.2.1 Creazione del DTM senza depressioni . . . . .	29
3.2.2 Analisi delle direzioni di drenaggio e delle pendenze . . . . .	30
3.2.3 Calcolo dell'area contribuente . . . . .	32
3.2.4 Generazione del reticolo del Biois . . . . .	33
3.2.5 Confronto tra la rete idrografica di ARPA e le reti estratte . . . . .	35
3.3 Confronto tra le reti idrografiche rilevate e quelle di ARPA per Valfredda, Fuciade e Focobon . . . . .	38
3.4 Generazione del reticolo idrografico dei tre affluenti . . . . .	38
<b>4 CONCLUSIONE</b>	<b>45</b>
<b>Bibliografia e sitografia</b>	<b>47</b>



# 1 INTRODUZIONE

La gestione efficiente delle risorse idriche e la mitigazione dei rischi ambientali sono obiettivi cruciali nell'ambito della gestione del territorio. La delineazione accurata del reticolo idrografico attraverso tecniche avanzate di estrazione geospaziale rappresenta un elemento fondamentale per raggiungere tali obiettivi. Questo studio si concentra sull'analisi del bacino del Biois (BL), situato nelle Dolomiti venete, un'area di particolare interesse per la sua rilevanza ambientale e idrologica.

Nel corso di questa ricerca, sono state confrontate due versioni dell'idrografia del Biois: una derivata dall'ARPA Veneto e l'altra dalla Carta Tecnica Regionale del Veneto (CTR), al fine di identificare errori, discrepanze e anomalie. Infatti, è possibile reperire reticoli idrografici della stessa zona da fonti diverse, costruiti attraverso metodi differenti e che possono presentare divergenze tra loro e non essere stati validati con dati di verifica sul campo. Questi difetti possono derivare da problematiche nei dati di input o dalle metodologie di estrazione utilizzate.

Successivamente, sono stati estratti e analizzati i reticoli idrografici del torrente Biois e degli affluenti Valfredda, Fuciade e Focobon. I risultati ottenuti sono stati prima confrontati con l'idrografia dell'ARPAV e poi con i dati rilevati in situ per validare l'accuratezza dei metodi implementati e identificare eventuali discrepanze.

Una delle sfide principali affrontate durante questo studio riguarda l'utilizzo dei dati del *Digital Terrain Model* (DTM). Un DTM fornisce una rappresentazione digitale del terreno, essenziale per la corretta identificazione e modellazione del reticolo idrografico. Tuttavia, la qualità e la precisione dei dati del DTM possono influenzare significativamente l'accuratezza dei risultati ottenuti, soprattutto nelle zone a minor pendenza e vicino agli spartiacque.

L'obiettivo principale di questo studio è quello di fornire un'analisi preliminare dei dati disponibili sull'idrologia della Regione Veneto, con particolare attenzione al bacino del Biois, e delle discrepanze tra i dataset provenienti da diverse fonti. Questo lavoro contribuisce alla conoscenza scientifica nel campo della gestione delle risorse idriche, offrendo approcci metodologici innovativi e risultati significativi per la pianificazione del territorio e la protezione degli ecosistemi acquatici.





## 2 MATERIALI E METODI

### 2.1 La Valle del Biois

La Valle del Biois, il cui nome proviene dal torrente Biois che la attraversa, è una valle situata in provincia di Belluno (Veneto). Questo territorio dolomitico si estende per 20 *km*, dal Passo San Pellegrino fino a Cencenighe Agordino, seguendo il corso del torrente Biois, che confluisce poi nel torrente Cordevole. La valle è circondata da alcune delle più imponenti cime dolomitiche: le Pale di San Martino, la Marmolada, il Monte Civetta, il Gruppo del Focobon e la Catena dell’Auta. Inoltre, la valle è collegata alla provincia autonoma di Trento da due passi: il Passo Valles (2030 *m*), che porta a Predazzo in Val di Fiemme, e il Passo San Pellegrino (1918 *m*), che conduce a Moena in Val di Fassa.

Il Biois è il principale corso d’acqua della valle. Ha origine in Trentino da tre rami: uno presso la Cima di Costabella e gli altri sul Sasso di Valfredda, sopra il Passo San Pellegrino, ad un’altitudine di 2000 *m s.l.m.*, segnando il confine tra i comuni di Moena e Soraga. Entrato in provincia di Belluno, attraversa i comuni di Falcade, Canale d’Agordo (dove riceve da destra il torrente Liera), Vallada Agordina e Cencenighe Agordino, dove si immette nel Cordevole, il principale affluente del fiume Piave.

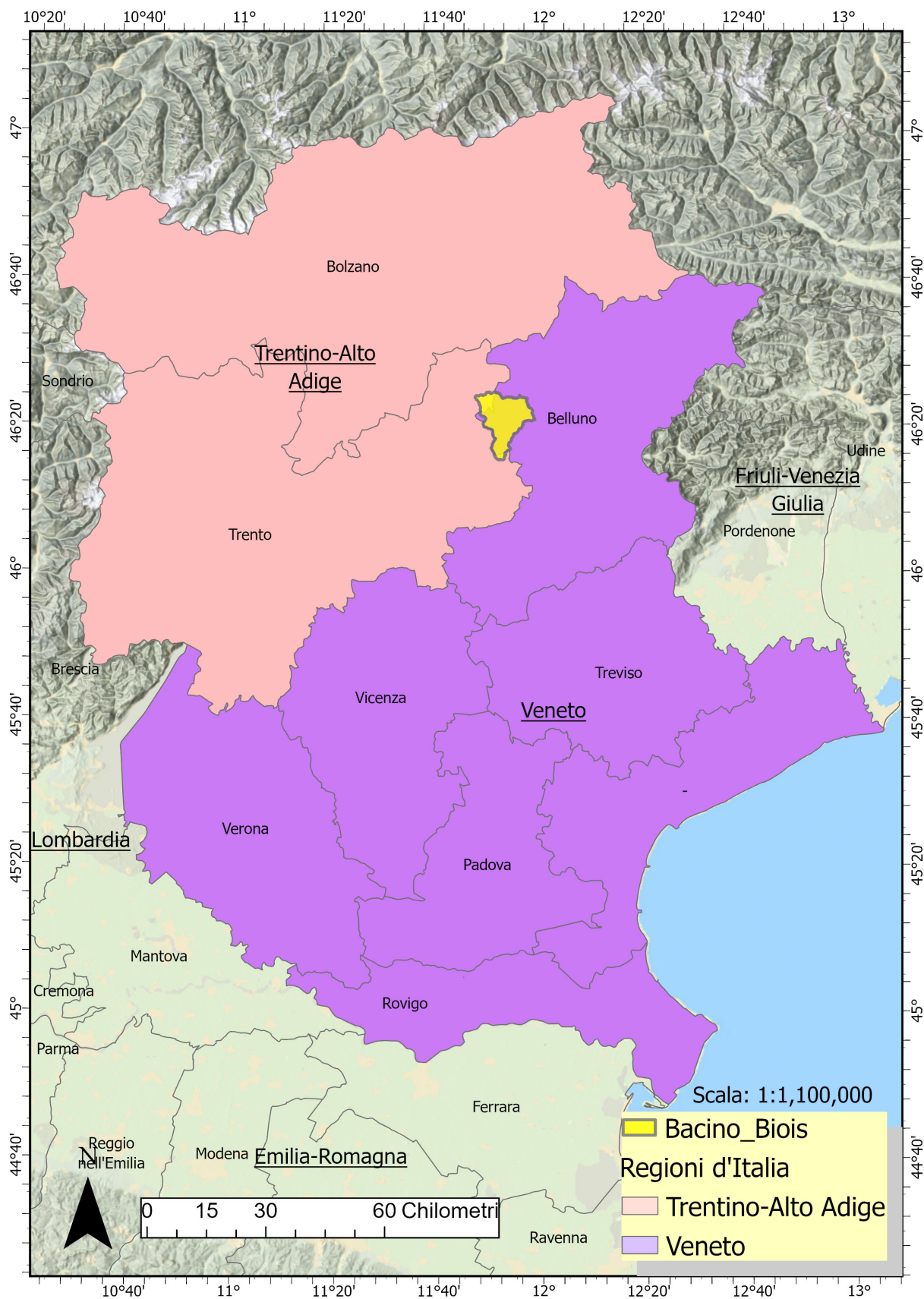
Sempre da quanto riporta il Geoportale della regione, il corso d’acqua principale del torrente Biois è lungo circa 27 *km*, suddiviso nel tratto veneto lungo 22.42 *km* e nel tratto trentino lungo 4.58 *km*.

L’oggetto di studio di questa tesi è il bacino del torrente Biois, quell’area geografica che raccoglie l’acqua piovana e di scioglimento delle nevi che confluisce nel torrente Biois, di circa 136 *km*<sup>2</sup>. Un bacino idrografico viene infatti definito come quella porzione di territorio che raccoglie acque pluviali, o provenienti dalla fusione delle nevi e dei ghiacciai, che defluendo si raccolgono direttamente, o a mezzo di affluenti, dando origine ad un corso d’acqua principale (in questo caso specifico il torrente Biois).

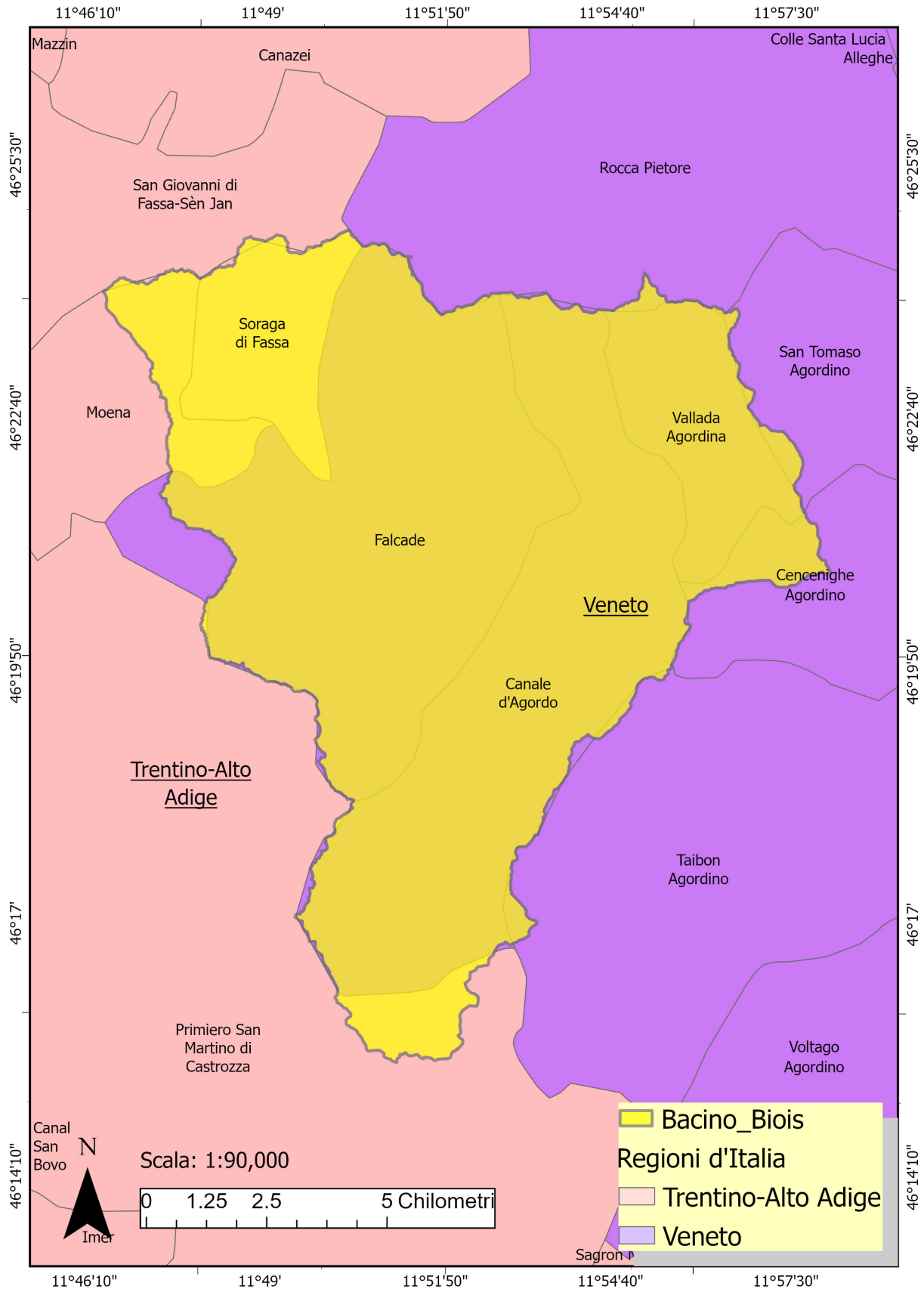
Per comprendere meglio l’area in cui si estende il bacino del Biois, sono riportate tre mappe che evidenziano la sua posizione. Nella prima mappa viene indicata la posizione del bacino rispetto alla cartina dell’Italia (Fig. 1), nella seconda mappa rispetto alle regioni Veneto e Trentino-Alto Adige (Fig. 2) e infine, nell’ultima mappa, la sua posizione rispetto ai comuni locali (Fig. 3).



Figura 1: Posizione del bacino del Biois nella mappa dell'Italia.



**Figura 2:** Posizione del bacino del Biois nella mappa delle regioni Veneto e Trentino-Alto Adige.



**Figura 3:** Posizione del bacino del Biois nella mappa dei comuni di Belluno e Trento.

## 2.2 Dati morfologici e idrologici della Val Biois

Le analisi di estrazione del reticolo idrografico del Biois sono state possibili attraverso l'utilizzo di programmi GIS (Sistemi informativi geografici), come ArcGIS e QGIS, cioè strumenti digitali in grado di organizzare, analizzare e visualizzare dati correlati a una posizione geografica. Grazie ai GIS è possibile mostrare su una mappa interattiva le informazioni spaziali e quelle descrittive relative all'oggetto di interesse, in questo caso il bacino del torrente Biois, per poi analizzarle ed effettuare studi su quell'area.

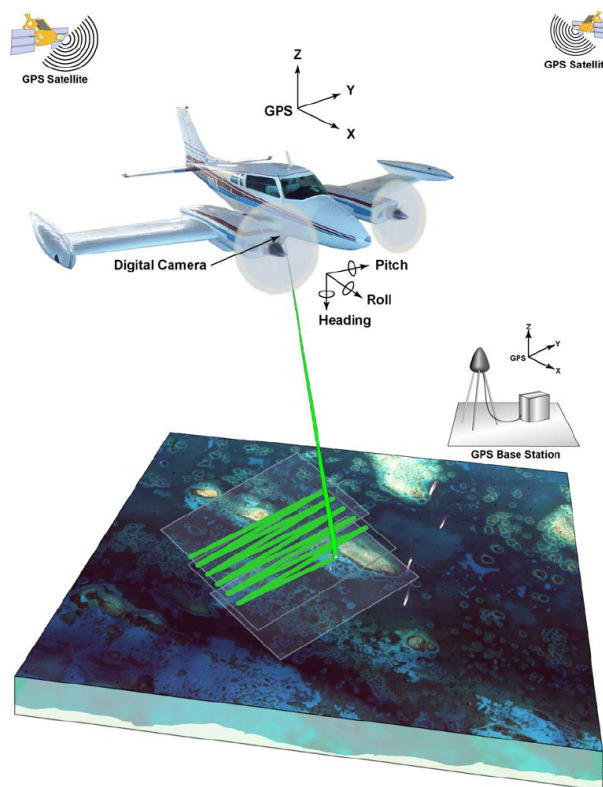
A tal proposito, i dati del bacino utilizzati nel GIS per eseguire le analisi sono i seguenti:

- Il DTM a 5m della Regione Veneto (Fig. 7), ottenuto dal Geoportale del Veneto, e il DTM a 5m della Provincia di Trento (Fig. 8), ottenuto dal Geocatalogo della Provincia Autonoma di Trento.  
Una spiegazione del funzionamento della strumentazione LIDAR, utilizzata per ricavare i DTM di una zona, è riportata nella Sez. 2.3;
- L'idrografia del Veneto e della Provincia di Trento, ottenute dai rispettivi Geoportali. L'idrografia del Veneto (Fig. 10) è stata mappata dall'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto), mentre l'idrografia di Trento (Fig. 11) è stata mappata dall'APPA (Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente). Questi dati vengono mostrati nella Sez. 2.4;
- L'idrografia dei comuni all'interno dell'area del bacino del Biois (Fig. 13), scaricata come shapefile dalla Carta Tecnica Regionale (CTR) del Veneto, disponibile sul Geoportale. I comuni in Veneto attraversati dal torrente Biois sono tre: Falcade, Canale d'Agordo e San Tomaso Agordino;
- L'area del bacino del Biois, la regione geografica che contiene il torrente in studio;
- I reticoli idrografici dei torrenti Valfredda, Fuciade e Focobon, rilevati durante le indagini in situ. Si tratta di dati particolarmente importanti poiché permettono di confrontare le reti idrografiche estratte con quelle effettivamente rilevate in campo, fornendo un'indicazione della precisione del processo. Insieme ai reticoli idrografici sono state fornite anche le corrispondenti sezioni di chiusura dei tre bacini.  
Le mappe dei bacini vengono riportate nella Sez. 2.6.



### 2.3 Modello digitale del terreno del Biois (rilievo LIDAR)

Il LIDAR (*Light Detection and Ranging* o *Laser Imaging Detection and Ranging*) è un metodo di rilievo utilizzato per determinare la distanza di un oggetto o di una superficie tramite un impulso laser, con l'obiettivo di ottenere un rilievo topografico ad alta risoluzione e ad alta velocità, noto come DTM (*Digital Terrain Model*). Il rilievo viene effettuato attraverso un aeroplano (Fig. 4) dotato di un laser scanner composto da un trasmettitore (cioè il laser), un ricevitore (formato da un telescopio) e un sistema di acquisizione dati.

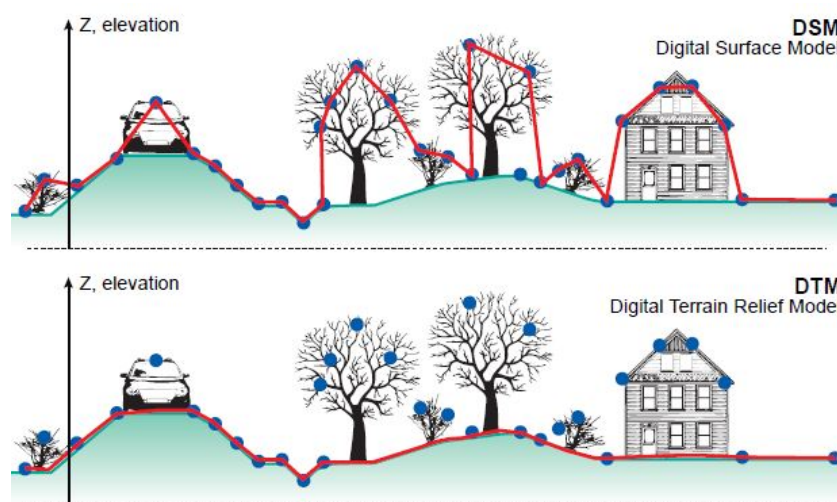


**Figura 4:** Rappresentazione digitale di come un aereo ricava i dati con il metodo LIDAR.

Il risultato di un rilievo LIDAR è un insieme di punti, ognuno dei quali ha dati associati a una coordinata geografica (solitamente in un sistema di riferimento come il *WGS 84*) e all'elevazione, determinati in base alla differenza di tempo tra il segnale emesso e il segnale riflesso. Analizzando i punti riflessi, si può osservare un ritorno multiplo del segnale: in presenza di vegetazione, il LIDAR rileva punti a diversi livelli dal suolo e dalla vegetazione stessa.

Il gruppo di punti contiene informazioni geografiche su tutti gli elementi riflettenti. Poiché il laser ottiene le posizioni di più impulsi, viene eseguita una classificazione del volume dei dati con l'obiettivo di assegnare un significato

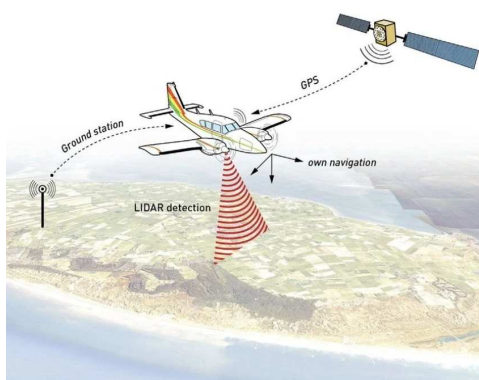
fisico specifico in ogni singolo punto, separando gli impulsi appartenenti al suolo da quelli appartenenti alla vegetazione, elementi antropici come cavi elettrici, ponti, edifici, automobili, ecc. Dall'insieme di punti si può ricavare un DSM (*Digital Surface Model*) e un DTM ricavato dalla sua elaborazione (*Digital Terrain Model*). Più nello specifico, un DSM è una rappresentazione del profilo altimetrico della superficie terrestre con l'inclusione di tutti gli oggetti sulla superficie stessa, mentre il DTM è una rappresentazione del profilo altimetrico della superficie terrestre senza gli oggetti sopra citati. La Fig. 5 mostra la differenza tra i due tipi di modello.



**Figura 5:** Differenza tra i modelli DSM e DTM.

Nello specifico, il sistema di acquisizione dei dati è costituito da una serie di dispositivi:

- Laser scanner: emette un impulso laser ad alta frequenza, che viene deviato perpendicolarmente alla traiettoria dell'aeroplano da uno specchio rotante. Un sensore registra poi l'intensità del segnale riflesso e la distanza, permettendo di determinare l'altitudine del suolo;
- Sistema di posizionamento satellitare (GPS): utilizzato per determinare la posizione esatta (coordinate  $x$ ,  $y$ ) dell'aeroplano;
- Sistema di navigazione inerziale (INS): complementare al GPS, l'INS fornisce informazioni sull'orientamento dell'aeroplano (rollio, beccheggio e imbardata) in ogni momento;
- Stazioni GPS terrestri: posizionate ai vertici della rete geodetica, queste stazioni fisse forniscono dati di correzione per la posizione dell'aeroplano durante la fase di elaborazione dei dati.

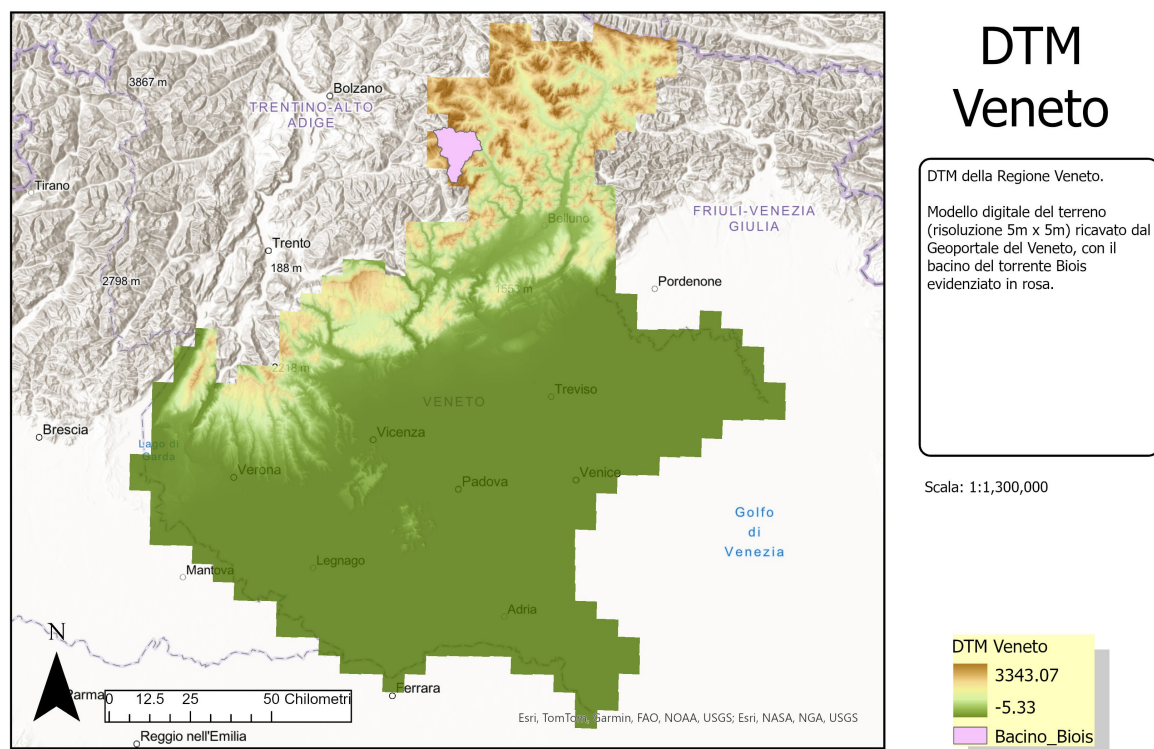


**Figura 6:** L'intero sistema per l'acquisizione dei dati.

L'elaborazione dei dati è complicata ma può essere fatta in modo automatico. L'intero processo di calcolo e correzione dei punti laser è preceduto da una fase di calibrazione del sistema.

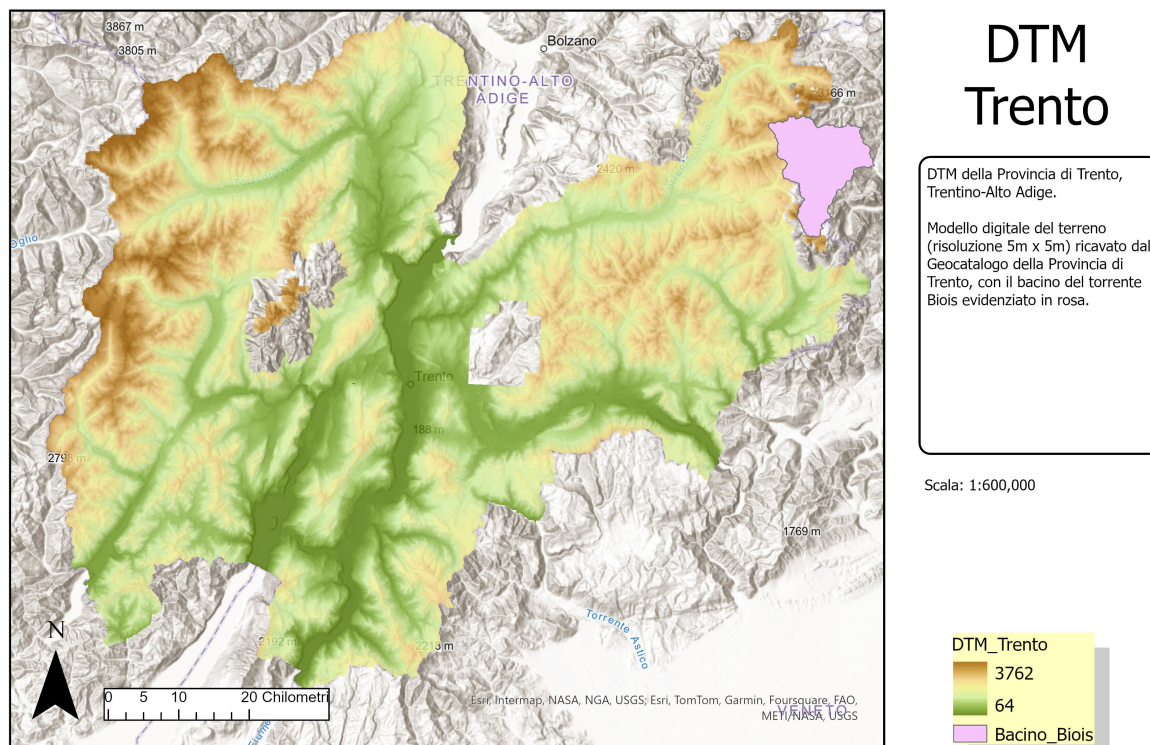
Al fine di estrarre una rete idrografica digitale della Valle del Biois, è necessario un DTM ad alta risoluzione che ricopra l'intera valle. A tale scopo, sono stati scaricati i DTM del Veneto e della Provincia di Trento dai rispettivi Geoportali (entrambi con risoluzione  $5m \times 5m$ ), uniti poi in un unico layer e ritagliati all'area del Biois (Fig. 9).

Vengono riportati di seguito i due DTM di partenza.

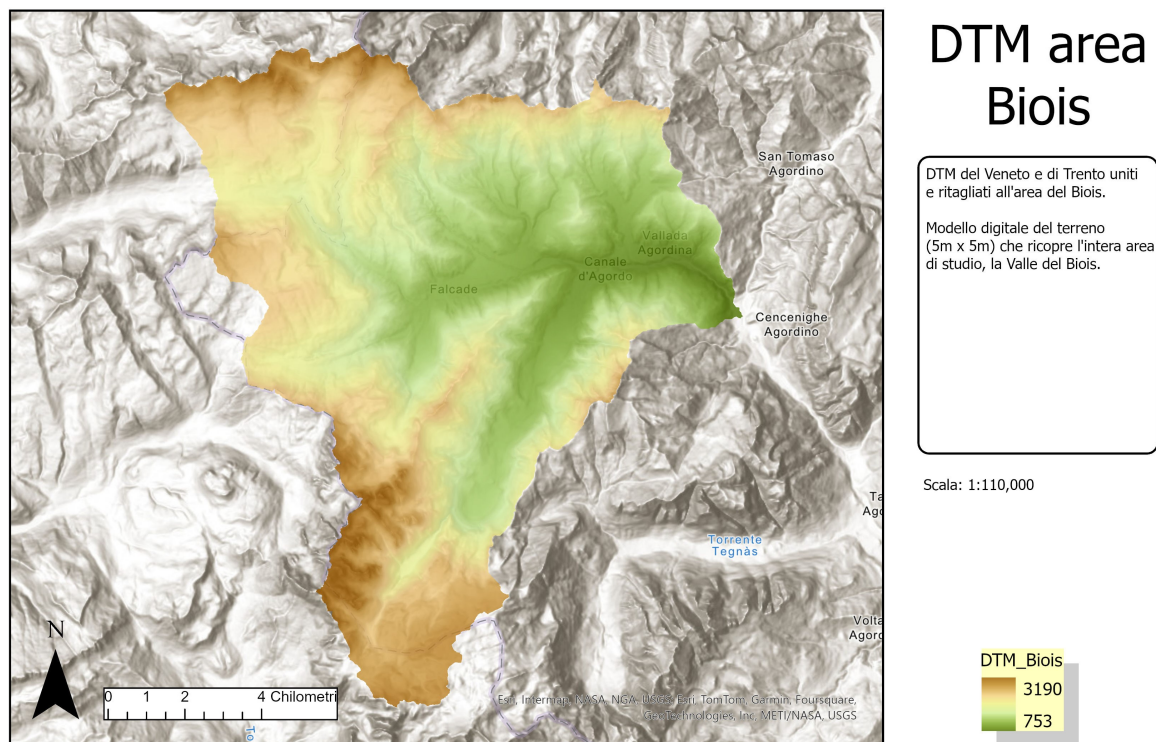


**Figura 7:** Il DTM della Regione Veneto.





**Figura 8:** Il DTM della Provincia di Trento.



**Figura 9:** Il DTM ottenuto dell'area del Biois.

In particolare, in Fig. 9 si può notare come l'altitudine del DTM passa da 753 *m s.l.m.* alla quota minima (in verde) fino a 3190 *m s.l.m.* alla quota massima (in marrone).

## 2.4 Idrografia del torrente Biois

Per ottenere l'idrografia del torrente Biois si è fatto riferimento a due fonti distinte, che hanno fornito dati diversi, permettendo successivamente di effettuare un confronto. I primi dati scaricati riguardano l'idrografia di Veneto (ricavata da ARPAV) e di Trento (ricavata da APPA), ottenute dai rispettivi Geoportali. Una seconda rappresentazione dell'idrografia del Biois è stata ricavata dalla Carta Tecnica del Veneto, dove il corso d'acqua è suddiviso in base ai confini amministrativi dei comuni dell'area. Nelle sezioni successive approfondiremo entrambi questi set di dati.

### 2.4.1 Rete idrografica ricavata da ARPAV e APPA

Il primo approccio per ottenere l'idrografia del Biois consiste nel combinare le idrografie del Veneto e di Trento in un unico layer, quindi ritagiarlo sopra all'area del bacino del Biois per ottenere la prima versione del torrente in esame.

Per l'idrografia del Veneto si fa riferimento ai dati forniti dall'ARPAV, l'Agenzia regionale per la prevenzione e protezione ambientale del Veneto.

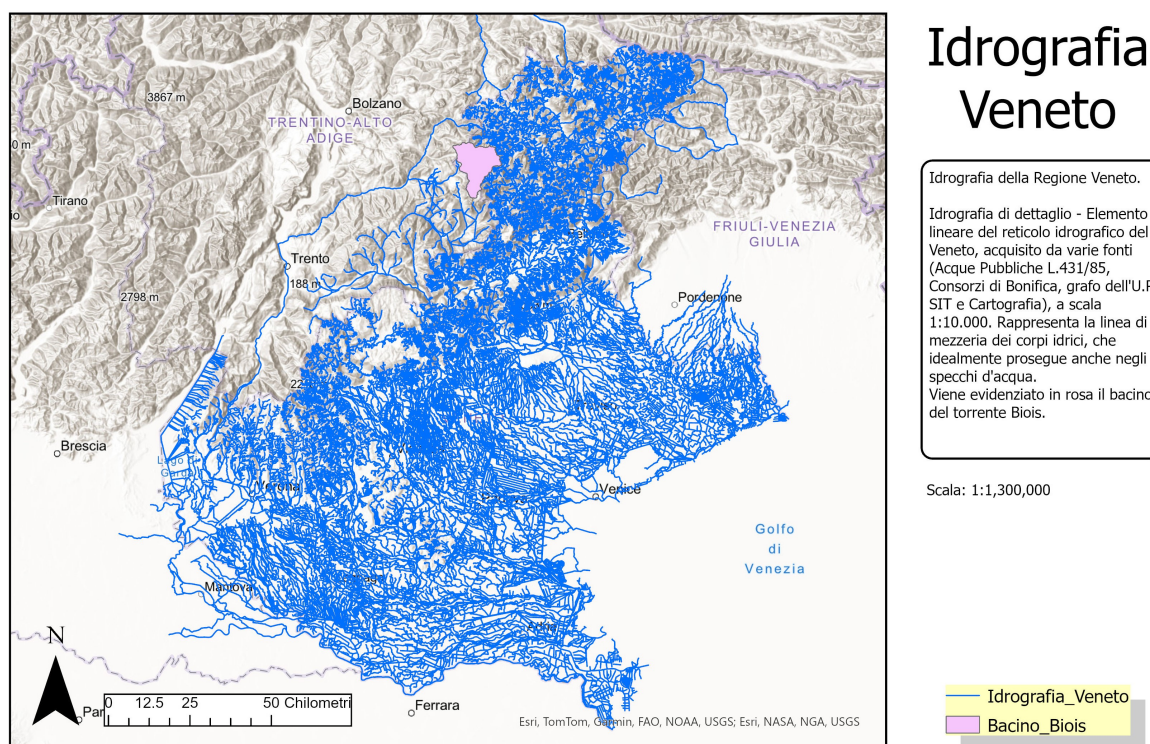
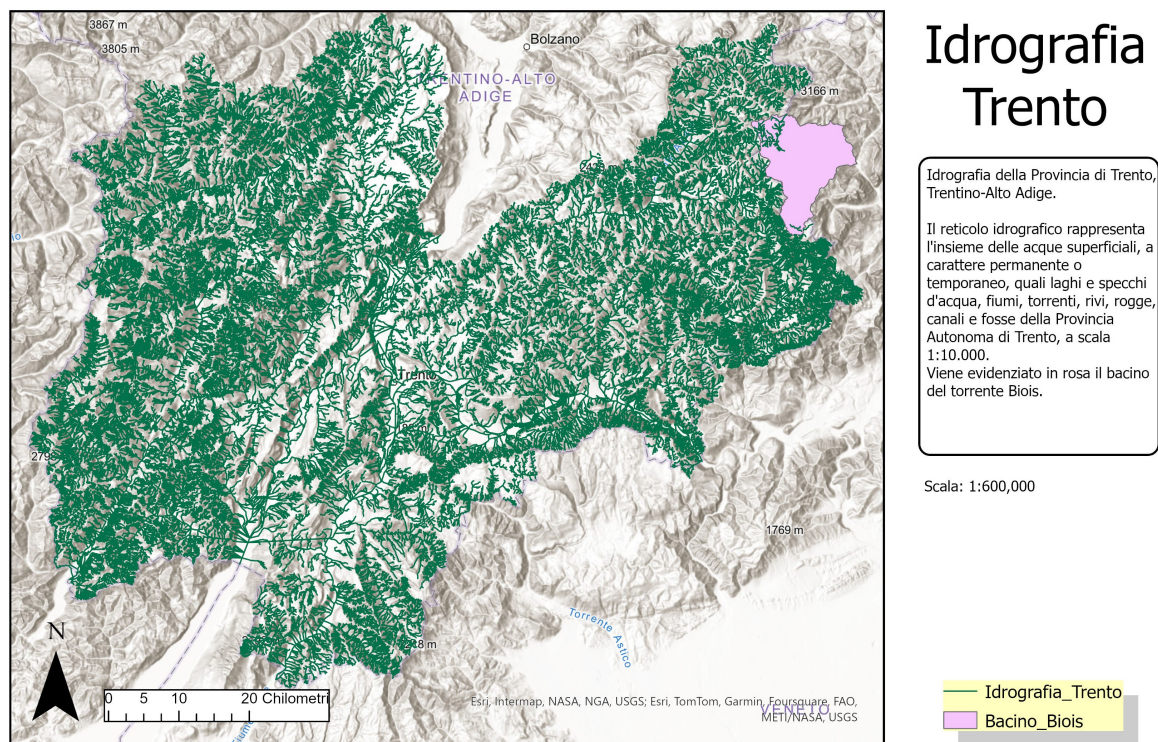


Figura 10: Rete idrografica del Veneto.

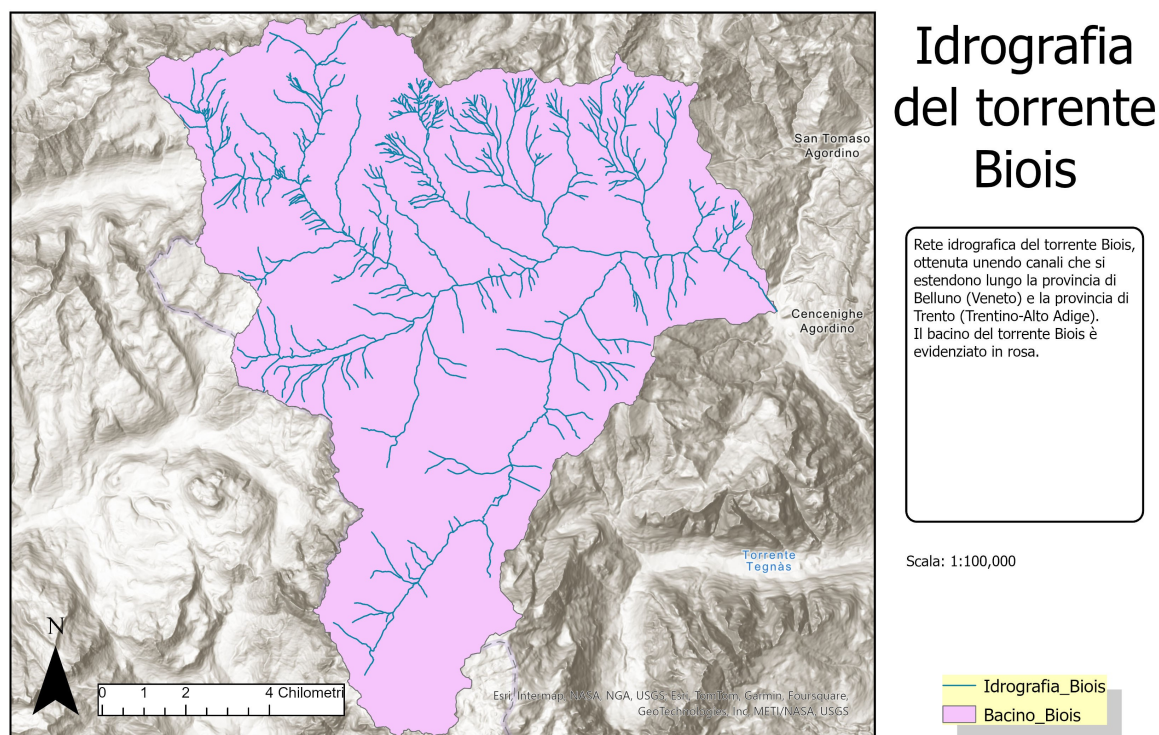


Per l'idrografia della Provincia Autonoma di Trento ci si basa sui dati forniti dall'APPA, l'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente.



**Figura 11:** Rete idrografica di Trento.

La Fig. 12 mostra la porzione dell'idrografia di interesse, la prima versione ottenuta del torrente Biois.

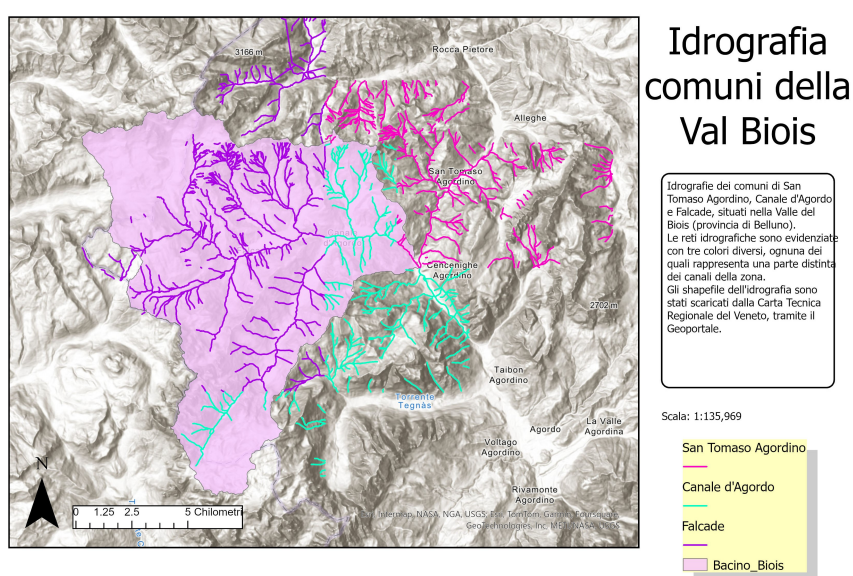


**Figura 12:** Rete idrografica del torrente Biois, secondo i dati ottenuti da ARPA e APPA.

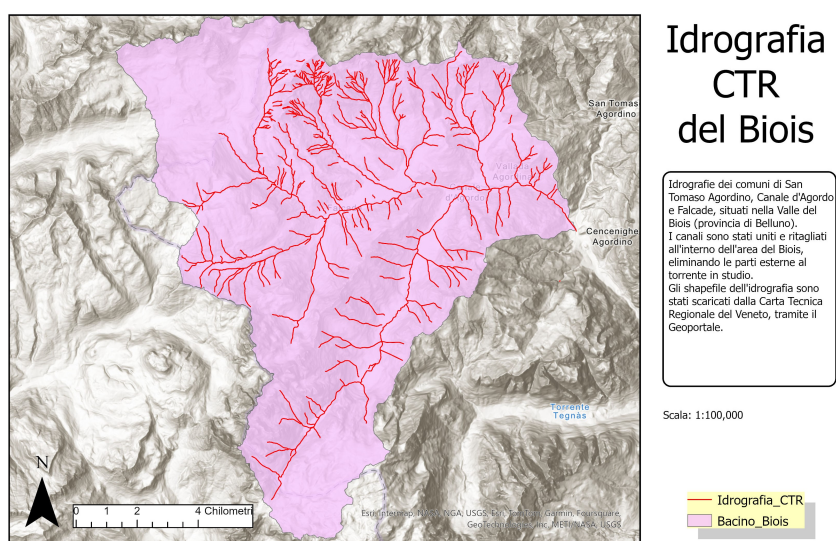


### 2.4.2 Rete idrografica ricavata dalla Carta Tecnica Regionale

Il secondo approccio consiste nello scaricare le sezioni idrografiche dei comuni inclusi nel bacino e unirle per ottenere una seconda rappresentazione del torrente Biois. Per ottenere queste idrografie si è consultata la Carta Tecnica Regionale (CTR) nel Geoportale veneto, scaricando le reti idrografiche dei tre comuni attraversati dal torrente: San Tomaso Agordino, Canale d'Agordo e Falcade. La Fig. 13 mostra l'idrografia divisa nei tre comuni, mentre nella Fig. 14 è rappresentata l'idrografia unita e ritagliata sul bacino del Biois. Va notato che manca la sezione del torrente nel Trentino poiché i dati disponibili riguardavano solo i comuni veneti.



**Figura 13:** Idrografia dei tre comuni: San Tomaso Agordino, Canale d'Agordo e Falcade.



**Figura 14:** Rete idrografica del torrente Biois, secondo i dati ottenuti dalla CTR.

## 2.5 Estrazione del reticolo idrografico del Biois

Dopo aver ricavato l'idrografia del torrente Biois dai dati presenti nel Geoportale veneto, si procede a estrarre un'ulteriore idrografia del torrente, questa volta a partire dal DTM dell'area, con l'aiuto di strumenti GIS per l'analisi. Per ottenere la rete idrografica del bacino è stata utilizzata la mappa digitale del terreno calcolata precedentemente, mostrata in Fig. 9, in cui ogni pixel rappresenta un area fisica reale di  $5m \times 5m$  sul terreno.

### 2.5.1 Rimozione dei depressioni

Il primo strumento fondamentale per estrarre un reticolo idrografico è il comando *Pit Remove*. Questo comando, applicato alle quote topografiche nel DTM, si occupa della rimozione dei *pit*: depressioni o buche nel terreno, spesso causate dall'erosione o da processi geologici, che nel DTM si visualizzano quando un pixel centrale ha un valore di quota inferiore a tutti i pixel circostanti. Il comando *Pit Remove* identifica tutti questi pozzi nel modello digitale del terreno e ne aumenta l'elevazione fino al livello del punto di scorrimento più basso attorno al loro bordo. Nella simulazione del meccanismo di drenaggio del bacino è importante rimuovere tutti i pit perché potrebbero ostacolare l'identificazione dei percorsi di flusso verso il torrente. La presenza di questi pit potrebbe infatti causare la formazione di pozze, compromettendo la simulazione. Per risolvere questo problema, il comando rimuove i pit elevando la loro quota a quella del pixel adiacente più basso, assicurando così un corretto flusso delle acque e una simulazione più accurata del reticolo idrografico. Il procedimento seguito dal comando *Pit Remove* viene mostrato in Fig. 15.

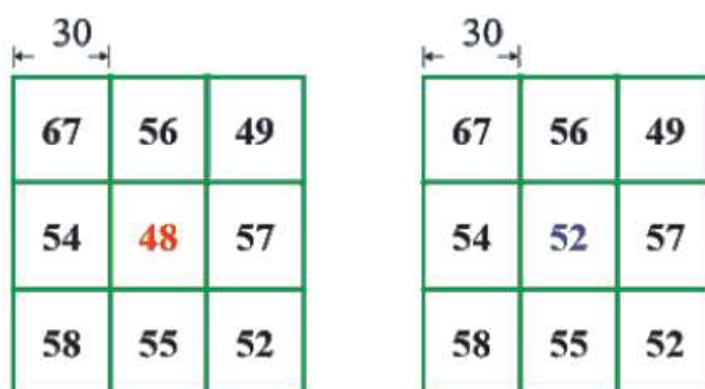


Figura 15: Esempio di *pit remove*.

La mappa creata dal comando *Pit Remove*, col nuovo DTM senza depressioni e le fosse rimosse dal DTM iniziale, è riportata in Fig. 27.

### 2.5.2 Determinazione delle direzioni di drenaggio

Dopo la rimozione delle depressioni, vengono calcolate le direzioni di drenaggio, che indicano il percorso dell'acqua che scorre attraverso il territorio e converge verso un punto di deflusso, la sezione di chiusura. Queste direzioni sono influenzate dalla topografia del terreno, con l'acqua che segue naturalmente le pendenze verso le aree più basse. In particolare, il calcolo delle direzioni di drenaggio viene eseguito utilizzando il metodo D8, descritto nella sezione seguente.

#### Direzioni di drenaggio, metodo D8:

Per ogni cella del DTM, l'algoritmo valuta la differenza di altitudine tra la cella stessa e le otto celle circostanti: il software seleziona la direzione di drenaggio verso il pixel con il dislivello maggiore. Nel raster l'algoritmo rappresenta questa informazione assegnando alla cella un valore discreto compreso tra 1 e 8, che indica la direzione verso la quale l'acqua viene scaricata. Viene quindi generata una mappa che rappresenta le direzioni del flusso secondo l'algoritmo D8, dove il termine *D8* si riferisce appunto alle otto possibili direzioni che il flusso può seguire da ogni singola cella: nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-ovest, ovest, nord-ovest (Fig. 16).



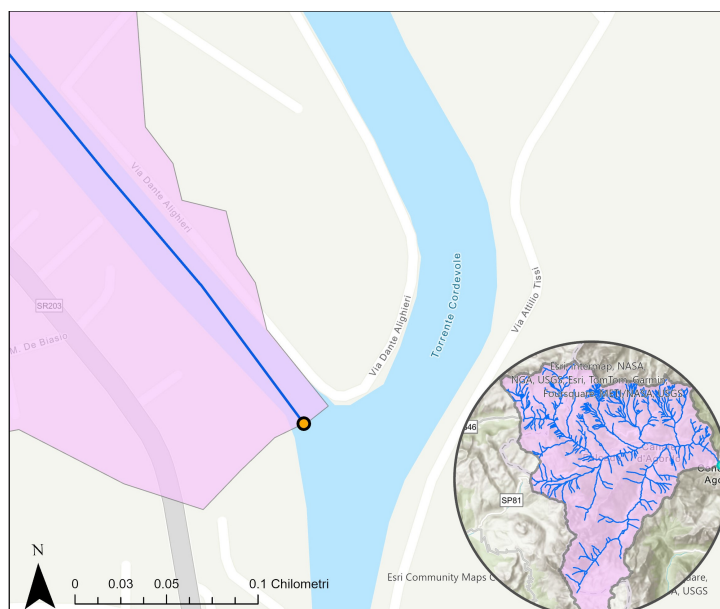
**Figura 16:** Le otto possibili direzioni che l'acqua può seguire secondo il metodo D8.

Lo strumento eseguito nel GIS restituisce due file raster: il primo contiene le direzioni di drenaggio (Fig. 28), dove ogni direzione nella mappa è indicata con un colore specifico, seguendo il pattern della Fig. 16. Il secondo fornisce informazioni sulla pendenza locale di ciascuna cella (Fig. 29), in cui ad ogni cella viene attribuito un colore in base alla propria pendenza.

### 2.5.3 Posizionamento della sezione di chiusura

Ogni bacino idrografico è caratterizzato dalla sua sezione di chiusura, ossia il punto attraverso il quale viene drenato tutto il volume d'acqua raccolto superficialmente, generando una portata nel canale che la contiene.

Prima di procedere col calcolo delle aree cumulate, è necessario posizionare la sezione di chiusura nel punto esatto del torrente Biois, subito prima della confluenza con il torrente Cordevole. In questo modo verrà estratta solamente l'idrografia che fornisce portata in quel punto, corrispondente proprio al Biois. È importante fissare il punto sopra ad un pixel dove l'area contribuyente si accumula, e cioè in un pixel canale, per garantire che l'analisi e l'identificazione delle aree di contributo del bacino idrografico siano accurate e rappresentative della realtà.



**Figura 17:** Posizionamento della sezione di chiusura del torrente Biois.

### 2.5.4 Identificazione dell'area contribuyente

Sulla base delle direzioni di drenaggio calcolate, è possibile determinare l'estensione dell'area di contribuyente delle celle a monte per ogni cella del file raster. Questa procedura si basa sul fatto che una cella, seguendo le direzioni di drenaggio calcolate in precedenza (Sez. 2.5.2), può drenare l'acqua su altre celle. In questo modo, somma il proprio valore dell'area con quello ricevuto da altre celle, ottenendo un valore maggiore dell'area cumulata. Spostandosi a valle verso lo sbocco, l'area contribuyente aumenta, formando il reticolo idrografico. Per il calcolo dell'area contribuyente si è usato il metodo *D8*, facendo riferimento alle direzioni di drenaggio calcolate col metodo *D8* mostrate in Fig. 28.

### 2.5.5 Separazione tra canale e versante

Si procede con l'analisi dell'estrazione della rete di drenaggio identificando canali e versanti, distinguendo cioè i pixel canale dai pixel versante. Esistono tre diversi metodi per la canalizzazione dei pixel:

1. Soglia all'area contribuyente
2. Soglia al prodotto tra pendenza locale e area contribuyente
3. Soglia all'area contribuyente considerando solo i pixel concavi

Una volta impostato un valore di soglia su una quantità chiave, tutti i pixel con un valore superiore alla soglia vengono considerati come canalizzati, mentre gli altri vengono considerati come pixel di versante. Maggiore è la soglia, minore sarà il numero di pixel canalizzati.

L'obiettivo di questa estrazione del reticolo è comprendere quanto il DTM disponibile sia coerente con il reticolo idrografico reale, per cui si è optato per concentrarsi sull'estrazione tramite il metodo soglia su area, descritto nella Sez. 2.5.5. Come evidenziato chiaramente nella sezione dei risultati della tesi, l'estrazione con soglia sull'area contribuyente ha prodotto risultati molto discordanti dalla realtà. Pertanto, procedere con l'estrazione del reticolo utilizzando anche gli altri due metodi sarebbe stato poco sensato, poiché avrebbero fornito risultati altrettanto poco utili.

#### **Soglia sull'area contribuyente**

In questo metodo i pixel sono considerati canalizzati se il valore dell'area contribuyente dei pixel stessi, calcolata alla Sez. 2.5.4 col metodo *D8*, è uguale o superiore a una determinata soglia. Al fine di ottenere una buona somiglianza tra la rete geomorfologica e la rete estratta, questa procedura deve essere ripetuta per diversi valori di soglia. Quando il numero di cellule canalizzate nella rete idrografica estratta sarà simile a quello della rete geomorfologica, il risultato è considerato accettabile.

Nella prima estrazione è stata impostata una soglia sufficientemente bassa affinché la rete estratta risultasse abbastanza sviluppata da coprire il più possibile l'intero reticolo ufficiale. In particolare, il reticolo è stato generato usando una soglia sull'area contribuyente di 1100 pixel ( $44 m^2$ ).

Una seconda estrazione del reticolo del Biois si è realizzata impostando una soglia precisa, trovata tramite un codice Matlab. Questa soglia ha permesso di generare una rete di canali con lunghezza complessiva pari a quella della rete di riferimento, riportata in Fig. 33.

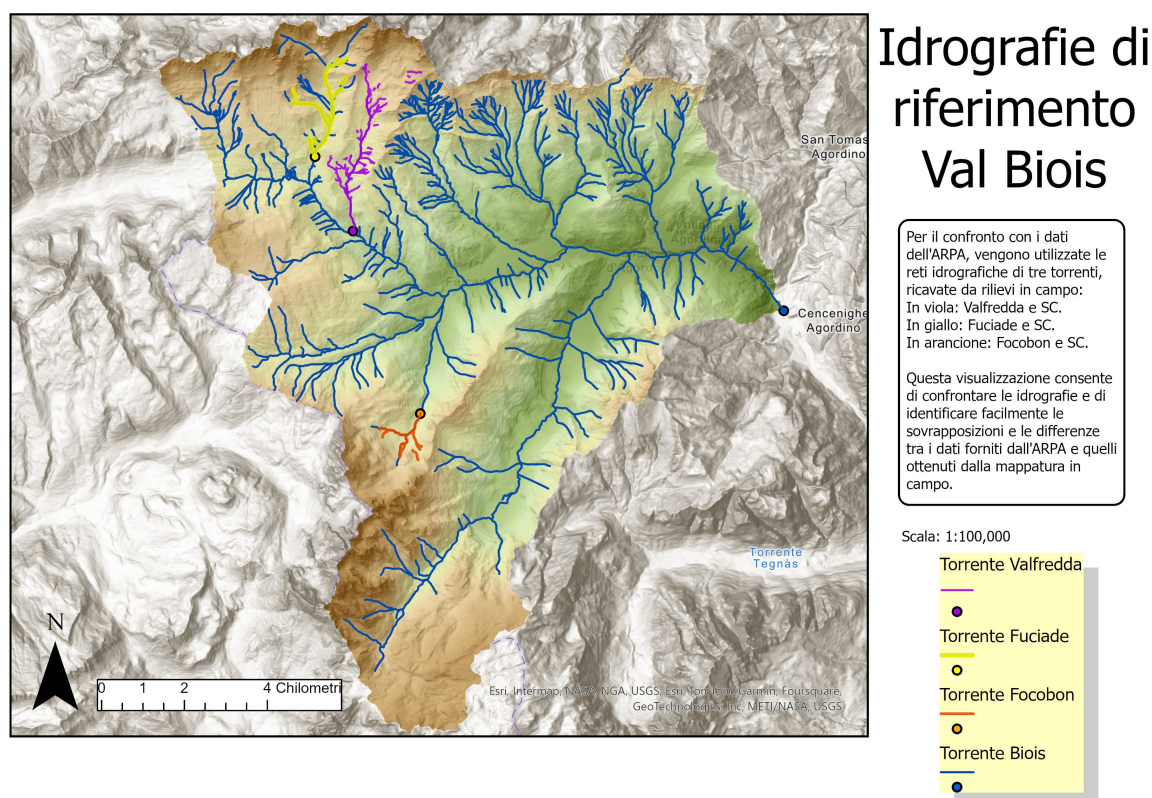


## 2.6 Idrografia dei torrenti Valfredda, Fuciade e Focobon

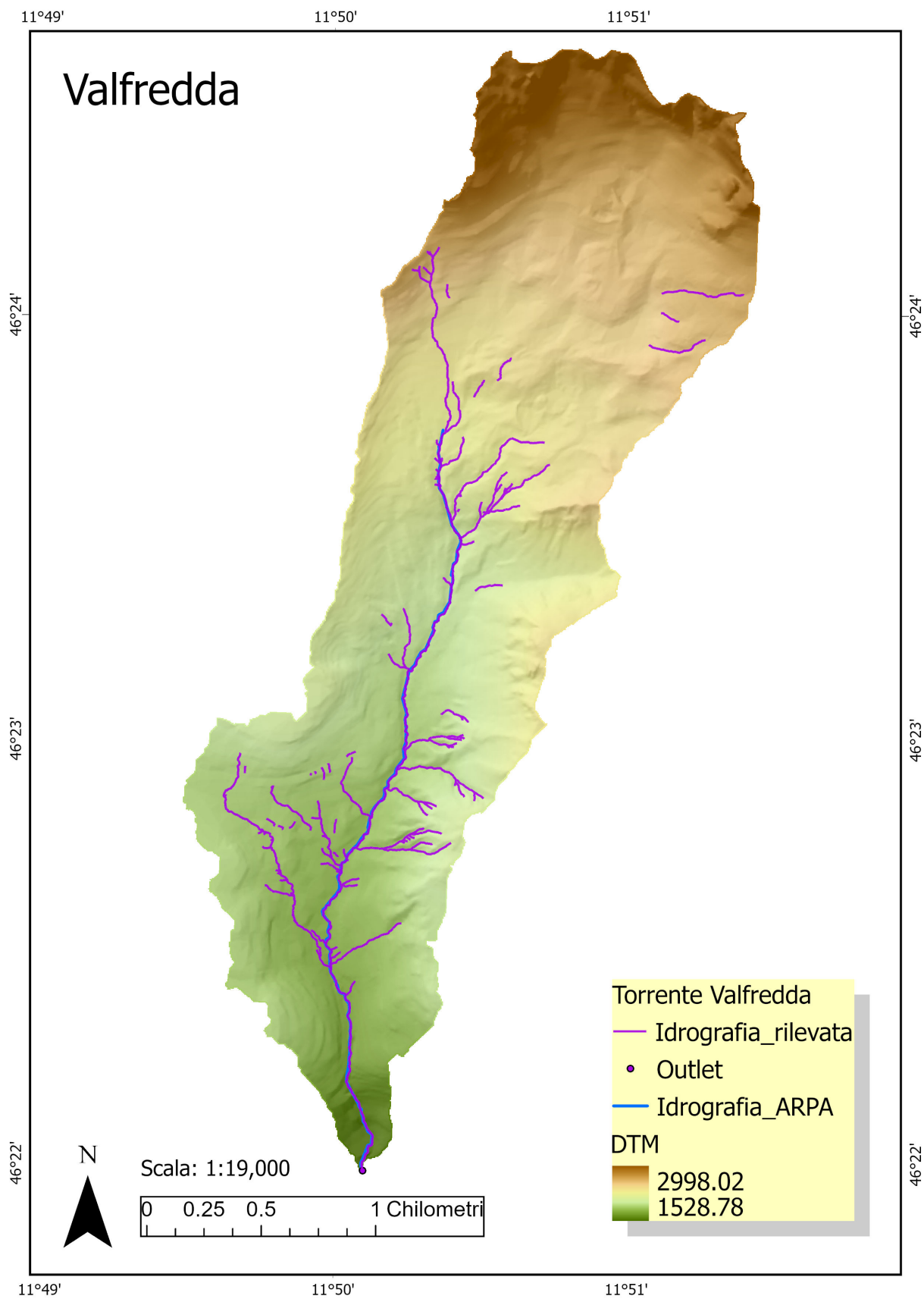
L'analisi del bacino del Biois con l'estrazione del reticolo è stata approfondita in determinate zone, per poter confrontare i reticoli disponibili con le verità a terra. In particolare, si sono scelte come zone per continuare l'analisi i bacini di tre torrenti importanti, oggetti di studio e ricerca all'Università di Padova: i torrenti Valfredda, Fuciade e Focobon.

Di questi tre torrenti sono state fornite le rispettive idrografie e sezioni di chiusure, ottenute grazie a rilevazioni effettuate direttamente in situ, per mezzo di un sistema GPS. In particolare, il torrente Valfredda è il più esteso dei tre, con una lunghezza totale misurata di 16965 m. A ovest del Valfredda, il Fuciade, che rientra appena nei confini del Trentino, con un'estensione di circa 5976 m. Infine, il torrente più breve tra i tre è il Focobon, con una lunghezza misurata di 3651 m.

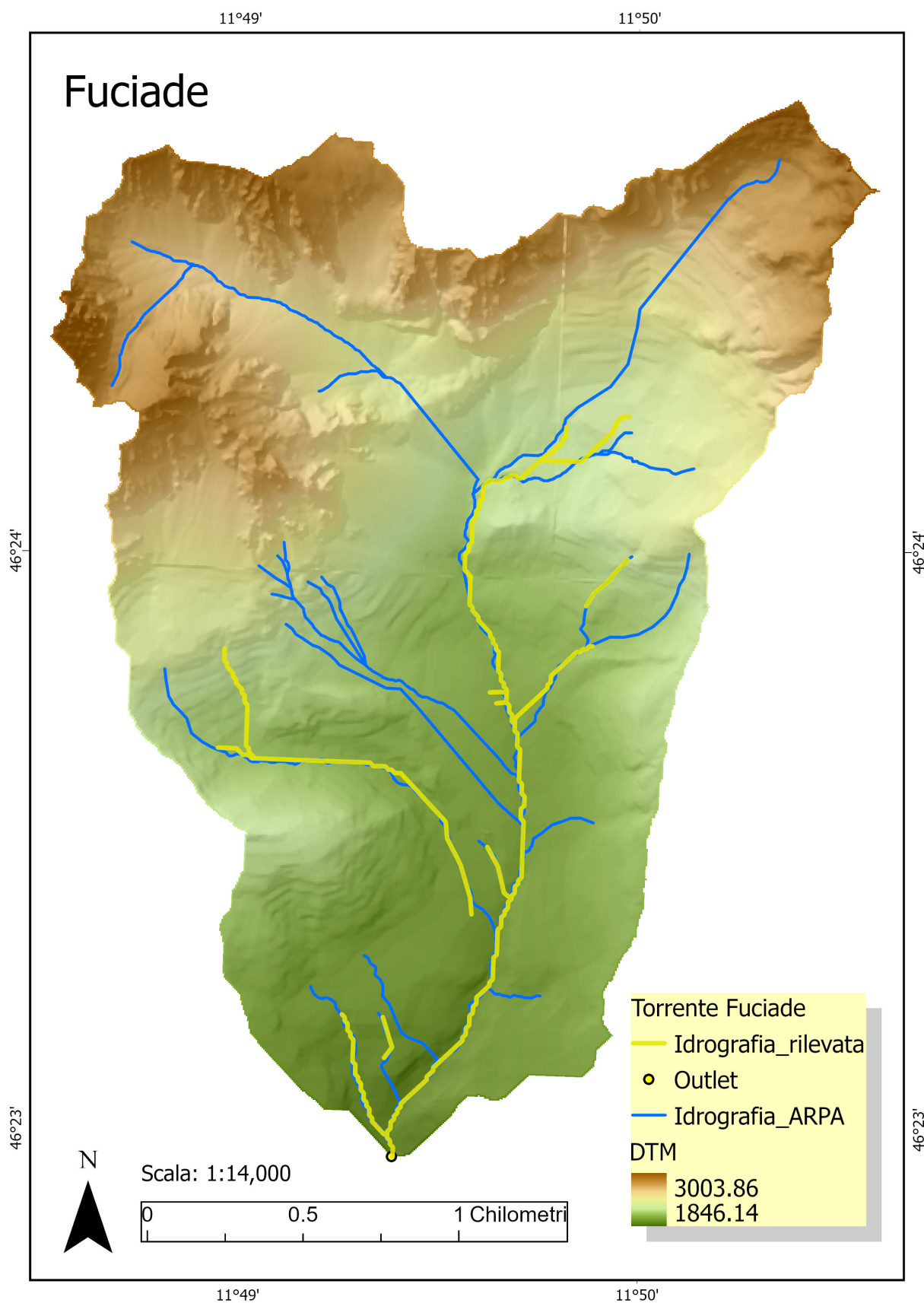
Viene riportata una mappa del bacino del Biois che mostra la posizione dei suoi tre affluenti (Fig. 18) e successivamente tre mappe separate che mostrano nel dettaglio i bacini su cui si svolgeranno le analisi di estrazione della rete (Figure 19 a 21), con il confronto tra l'idrografia ufficiale rilevata dall'ARPA e l'idrografia reale rilevata sul campo.



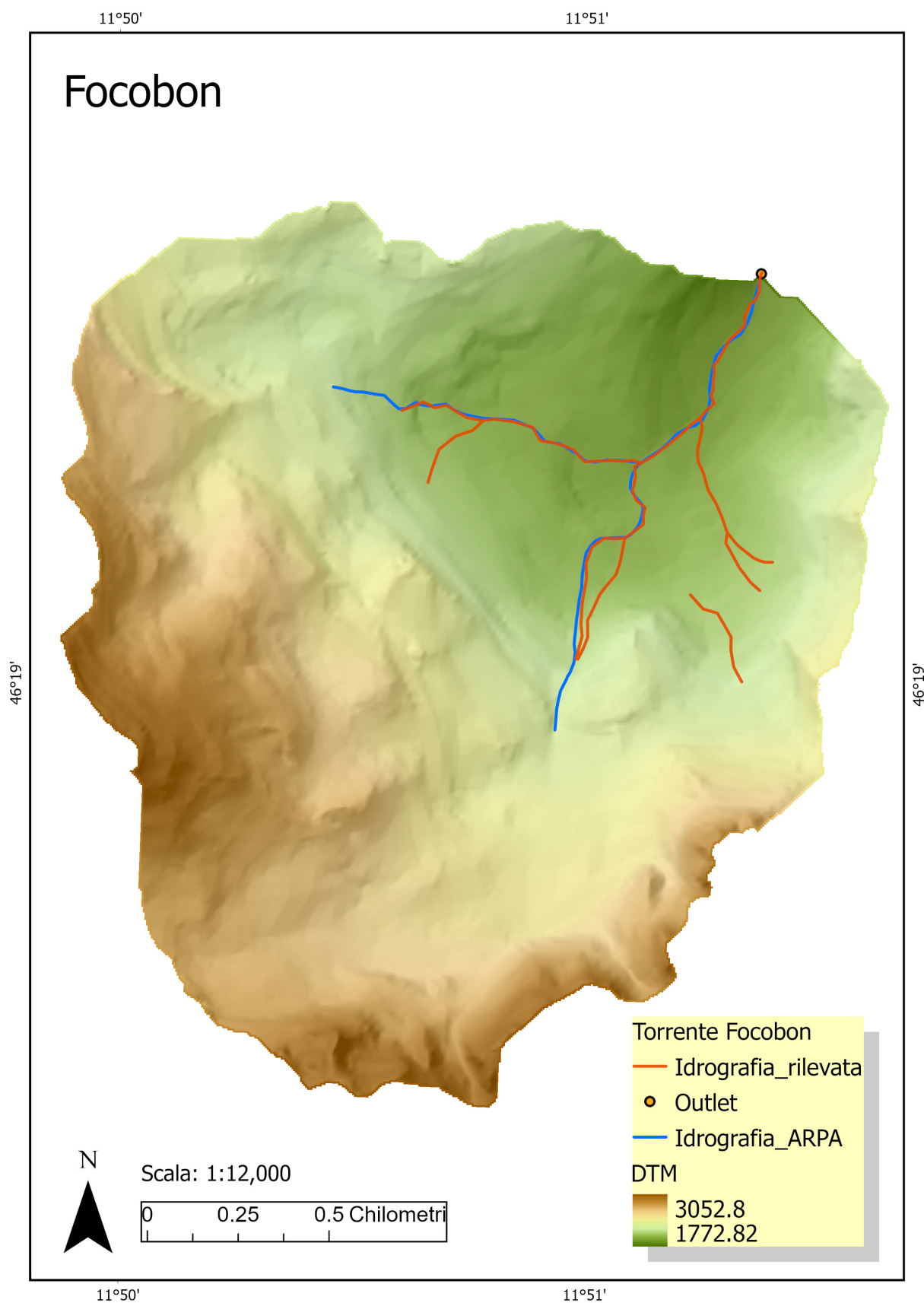
**Figura 18:** Mappa del bacino del Biois che mostra le idrografie dei torrenti Valfredda, Fuciade e Focobon, con le rispettive sezioni di chiusura.



**Figura 19:** Mappa del bacino del Valfredda, che confronta l'idrografia ufficiale con l'idrografia reale rilevata sul campo.



**Figura 20:** Mappa del bacino del Fuciade, che confronta l'idrografia ufficiale con l'idrografia reale rilevata sul campo.



**Figura 21:** Mappa del bacino del Focobon, che confronta l'idrografia ufficiale con l'idrografia reale rilevata sul campo.



## 2.7 Estrazione del reticolo idrografico dei tre affluenti

L'analisi procede con l'estrazione delle idrografie dei tre torrenti, Valfredda, Fuciade e Focobon, tramite l'utilizzo di un GIS, seguendo gli stessi passaggi spiegati nella Sez. 2.5.

L'obiettivo è osservare se, almeno in queste zone ristrette, si riescono ad ottenere dei risultati accettabili, vicini alla realtà. Per "risultati accettabili" si intende che le idrografie estratte tramite GIS devono coincidere, entro un margine di tolleranza stabilito, con quelle osservate nei rilievi in situ.

A tal fine, l'analisi include diversi passaggi fondamentali. Il primo passaggio è l'acquisizione dei dati topografici ad alta risoluzione necessari per l'analisi GIS, ovvero i modelli digitali del terreno (DTM) dei tre bacini. Successivamente, vengono utilizzati strumenti GIS per estrarre le linee idrografiche, applicando algoritmi specifici per la rilevazione delle linee d'acqua, come dettagliato nella Sez. 2.5. Una volta estratte le idrografie, i risultati vengono confrontati con quelli osservati durante i rilievi in situ, utilizzando un'analisi visiva per valutare la precisione e l'accuratezza delle idrografie ottenute.

Infine, si procede alla valutazione dei risultati per determinare se le idrografie estratte soddisfano i criteri di accuratezza e precisione prefissati. In caso di discrepanze, vengono individuate e analizzate le possibili cause, come errori nei dati di input o limitazioni degli algoritmi utilizzati. Attraverso questo processo, si mira a validare la correttezza dei risultati e a fornire un feedback per eventuali miglioramenti.



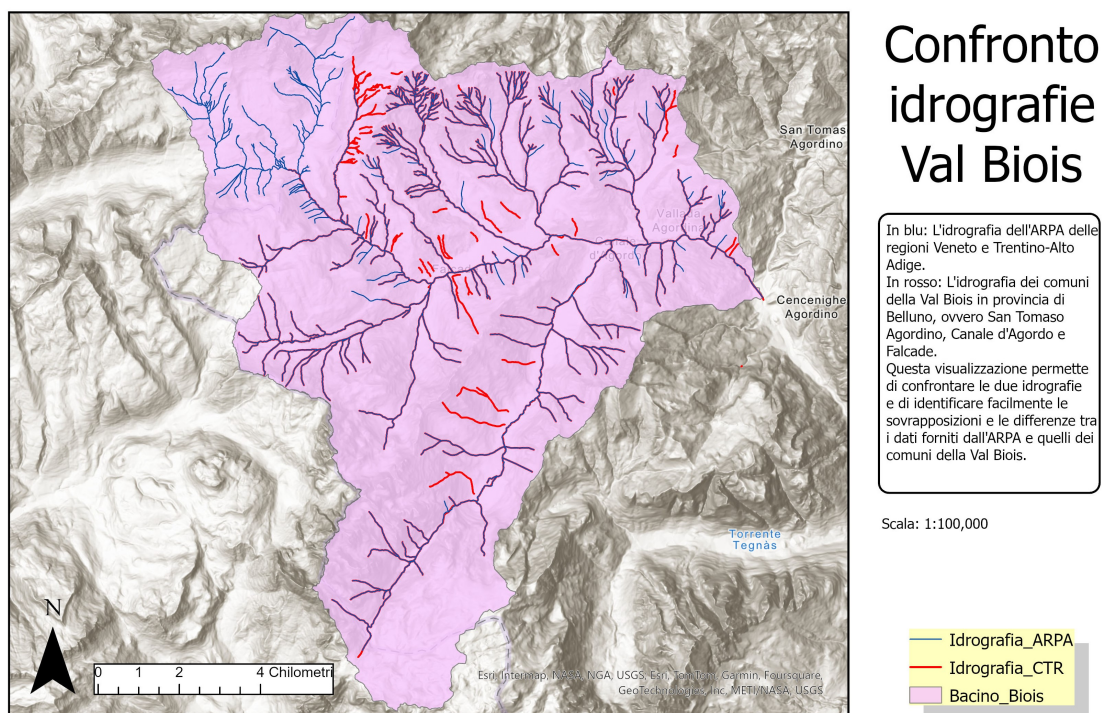
### 3 RISULTATI E DISCUSSIONE

In questa sezione della tesi vengono presentati i dati ottenuti dalla ricerca, utilizzando figure e tabelle per illustrare i risultati principali. Ogni figura e tabella è accompagnata da una descrizione dettagliata che spiega il significato dei risultati e il contesto in cui sono stati ottenuti, facilitando una comprensione approfondita dei dati.

#### 3.1 Confronto tra le reti idrografiche di ARPA e CTR del Biois

Una prima analisi è stata condotta sulle due idrografie che rappresentano i canali del bacino del Biois: la prima ottenuta dai dati forniti da ARPA, ricavata nella Sez. 2.4.1, e la seconda derivata dai dati della Carta Tecnica Regionale del Veneto, ricavata nella Sez. 2.4.2.

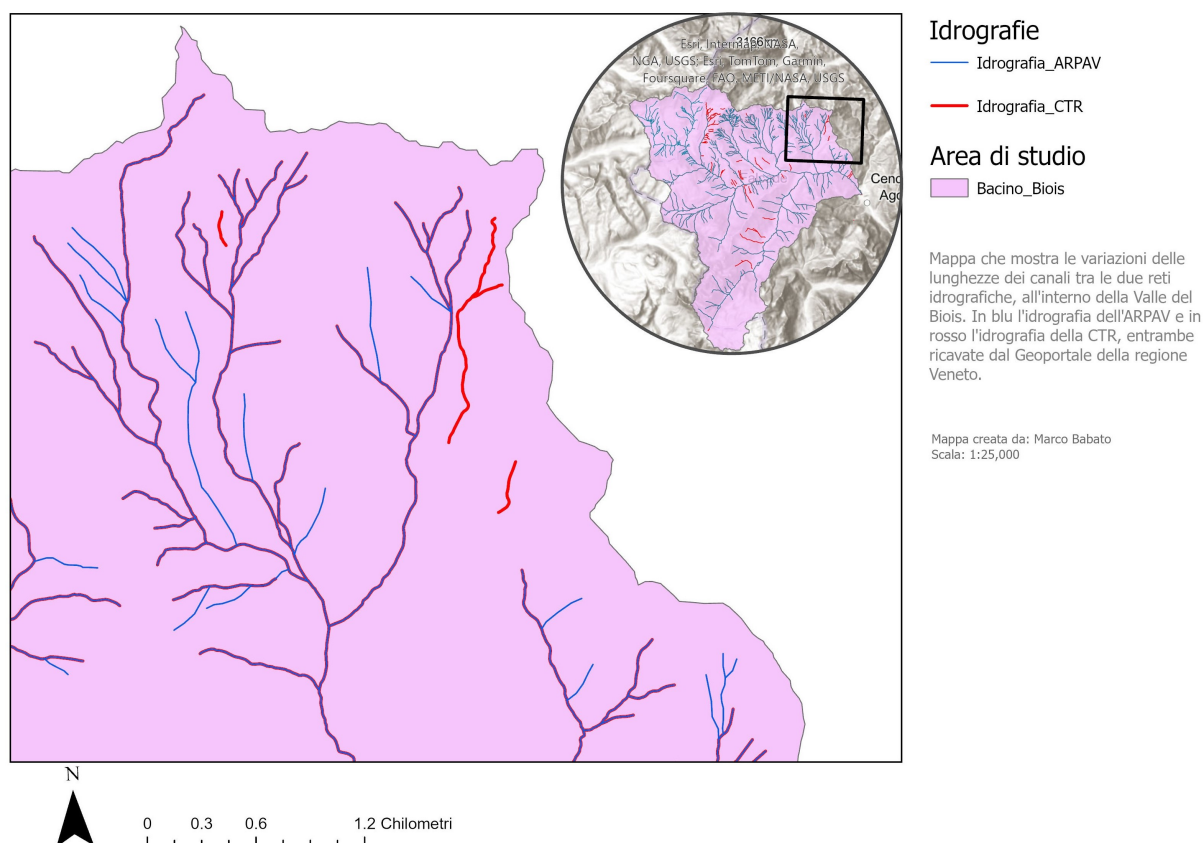
Le due rappresentazioni del torrente Biois sono state confrontate per valutarne le differenze, utilizzando una mappa che inquadra tutto il bacino (Fig. 22). L'obiettivo è individuare le zone in cui le idrografie coincidono, rappresentando gli stessi canali con la stessa lunghezza, e le aree in cui le due idrografie non si sovrappongono, evidenziando le differenze. Al termine del confronto verrà indicata quale idrografia risulta più precisa nella rappresentazione dei canali del bacino, avvicinandosi maggiormente alla realtà.



**Figura 22:** Mappa centrata sul bacino del Biois, con le idrografie fornite da ARPA e CTR a confronto.

Oltre a una mappa complessiva dell'intero bacino del Biois, sono riportate tre mappe a scala di dettaglio per facilitare il confronto tra le due idrografie (Figure 23, 25 and 26).

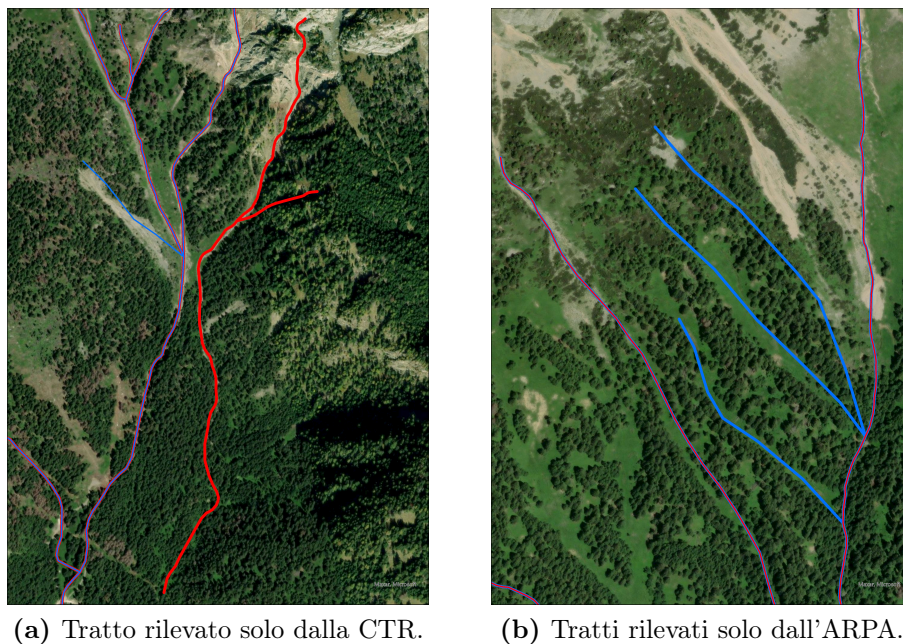
La Fig. 23 si riferisce alla zona a nord-est del bacino, dove le due idrografie presentano molte differenze tra loro. L'idrografia dell'ARPA (in blu) mostra alcuni affluenti che non sono presenti nella CTR e viceversa.



**Figura 23:** Confronto tra i dati forniti da ARPA e quelli della CTR nella zona A.

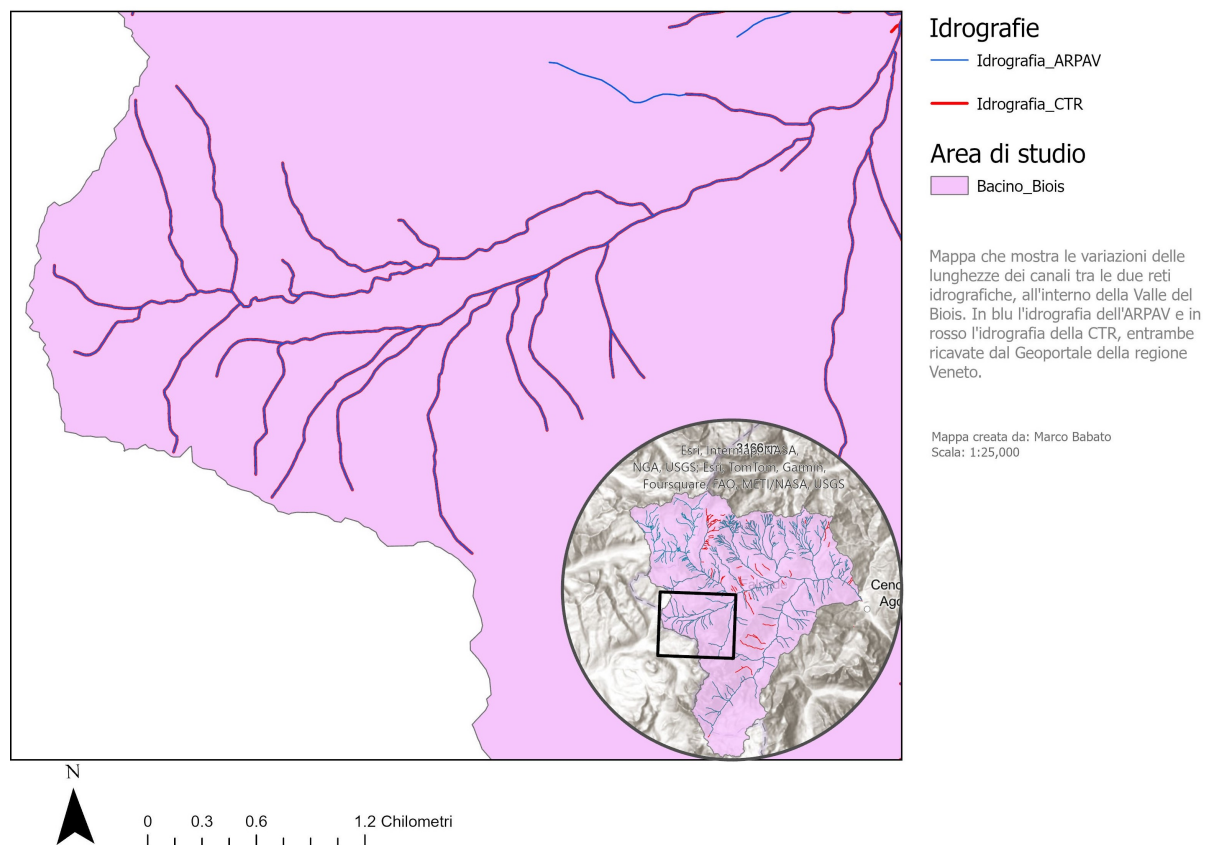
In particolare, esaminando più da vicino le diverse idrografie, è possibile distinguere i tratti di canale effettivamente presenti da quelli inesistenti. Nella Fig. 24a ci si concentra su un canale raffigurato nella CTR ma non rilevato dall'ARPA, mentre nella Fig. 24b vengono mostrati dei tratti rilevati dall'ARPA ma non presenti nella CTR. Nella prima figura si può osservare come il canale sia effettivamente presente, confermato dalla disposizione degli alberi nell'immagine satellitare, che delinea chiaramente la presenza del torrente. In questo caso, quindi, la CTR risulta più precisa nella rappresentazione dell'idrografia del bacino, mostrando un tratto che non è presente nella mappatura dell'ARPA. Nella seconda figura, invece, è l'ARPA ad essere più accurata, rappresentando tre affluenti di un torrente più grande che nella CTR non sono visibili.





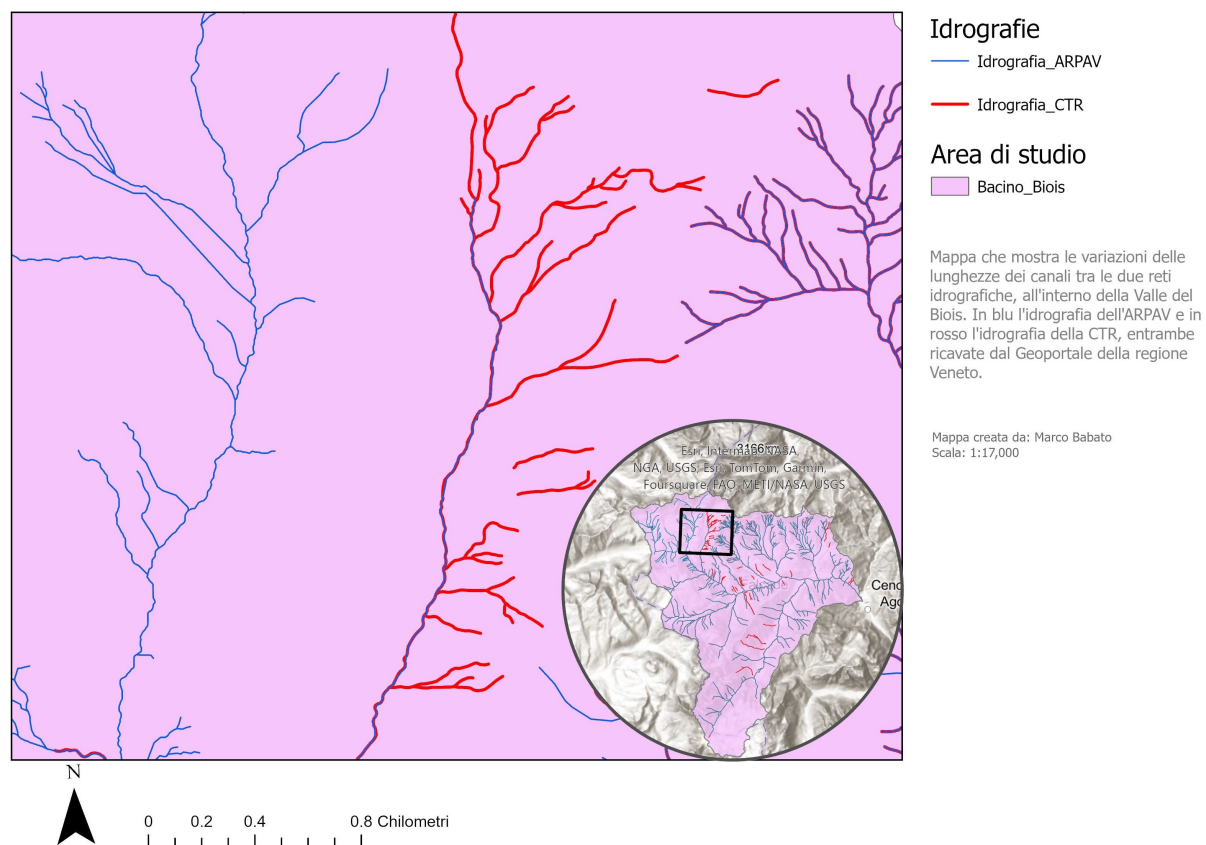
**Figura 24:** Confronto idrografico tra CTR e ARPA nella zona A.

La Fig. 25 inquadra la zona ad ovest del bacino, dove le due idrografie sono perfettamente concordi, descrivendo lo stesso numero di canali e con la stessa lunghezza.



**Figura 25:** Confronto tra i dati forniti da ARPA e quelli della CTR nella zona B.

Infine, la Fig. 26 si concentra sulla parte nord del bacino, precisamente sul Valfredda (a destra) e sul Fuciade (a sinistra), due affluenti del torrente Biois. Il Fuciade, situato in Trentino appena oltre il confine regionale, è rappresentato solo nell'idrografia dell'ARPA Trento, poiché è fuori dal Veneto e quindi non presente nella CTR della regione. Il Valfredda, invece, trovandosi esattamente sul confine tra le due regioni, è indicato solo con il canale principale nell'idrografia dell'ARPA, mentre nella CTR viene rappresentato anche con i canali minori, ma solamente quelli dalla parte del Veneto.



**Figura 26:** Confronto tra i dati forniti da ARPA e quelli della CTR nella zona C.

Queste osservazioni sulle due idrografie evidenziano come le diverse fonti di dati possano influenzare la rappresentazione dell'idrografia del torrente Biois, sottolineando l'importanza di considerare più prospettive per ottenere un quadro completo e accurato del reticolo idrografico. Infatti, a seconda della fonte utilizzata, si possono avere rappresentazioni leggermente diverse della stessa area, che possono mostrare dei piccoli affluenti che altre fonti non rilevano.

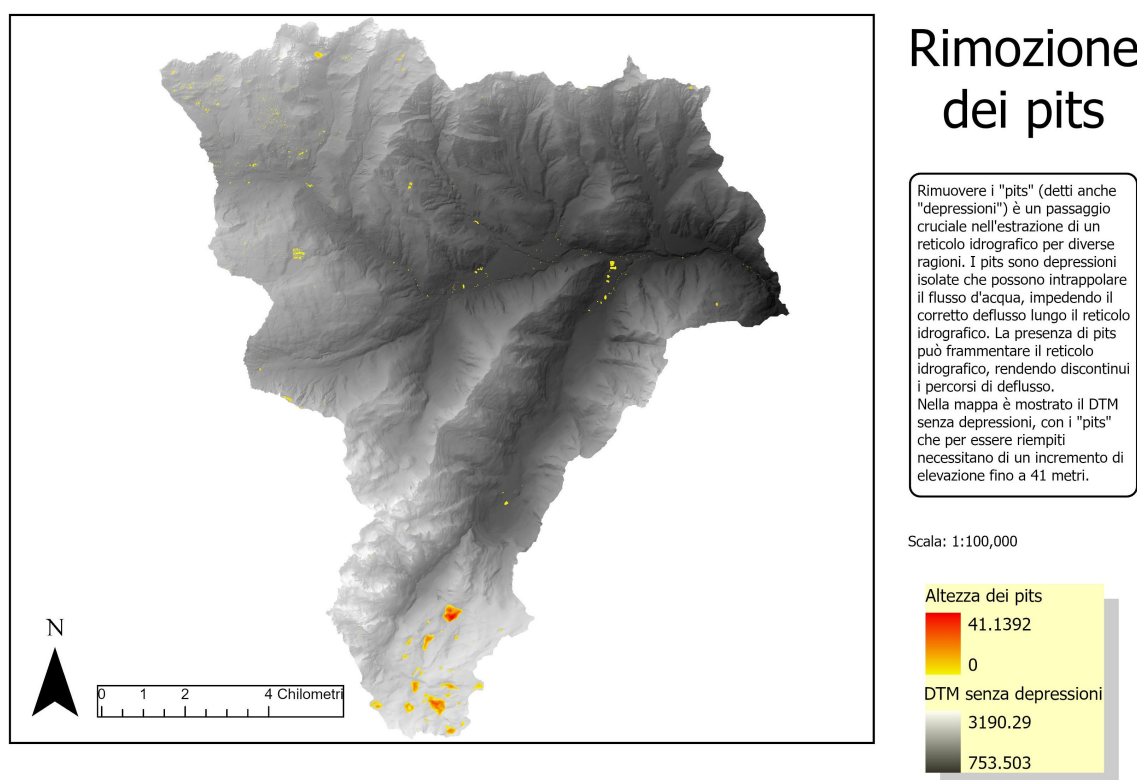
In sintesi, tra l'idrografia della CTR e l'idrografia di ARPAV e APPA non è possibile stabilire quale sia la rappresentazione migliore, ma è bene considerarle insieme perché entrambe contribuiscono con informazioni preziose, che migliorano la comprensione della struttura idrografica della zona in esame.

## 3.2 Generazione del reticolo idrografico del Biois

Il passo successivo è stato estrarre il reticolo idrografico del Biois dal DTM. Nelle sezioni seguenti vengono riportati i risultati ottenuti passo dopo passo, che hanno permesso di ricavare le due versioni del reticolo del Biois, estratte utilizzando due diverse soglie per l'area contribuyente. I reticoli così ottenuti sono stati successivamente confrontati con l'idrografia di riferimento dell'ARPA, così da evidenziarne le differenze.

### 3.2.1 Creazione del DTM senza depressioni

Per l'estrazione del torrente Biois, il primo passaggio è stato ricavare un nuovo DTM privo di depressioni, in modo da non ostacolare l'identificazione dei percorsi di flusso verso il torrente. A questo nuovo layer è stato sovrapposto quello raffigurante le depressioni rimosse, per evidenziare i punti in cui il DTM iniziale è stato modificato.



**Figura 27:** Mappa che mostra il nuovo DTM senza depressioni e i pits rimossi.

La scala che va da 0 a 41 metri indica che ci sono depressioni nel DTM originale che richiedono un riempimento fino a 41 metri per permettere il deflusso continuo dell'acqua. Le depressioni principali si trovano a sud del bacino, nell'area del picco montuoso, dove la costruzione del DTM è particolarmente complessa. Tuttavia, queste depressioni non influenzano significativamente il reticolo idrografico.

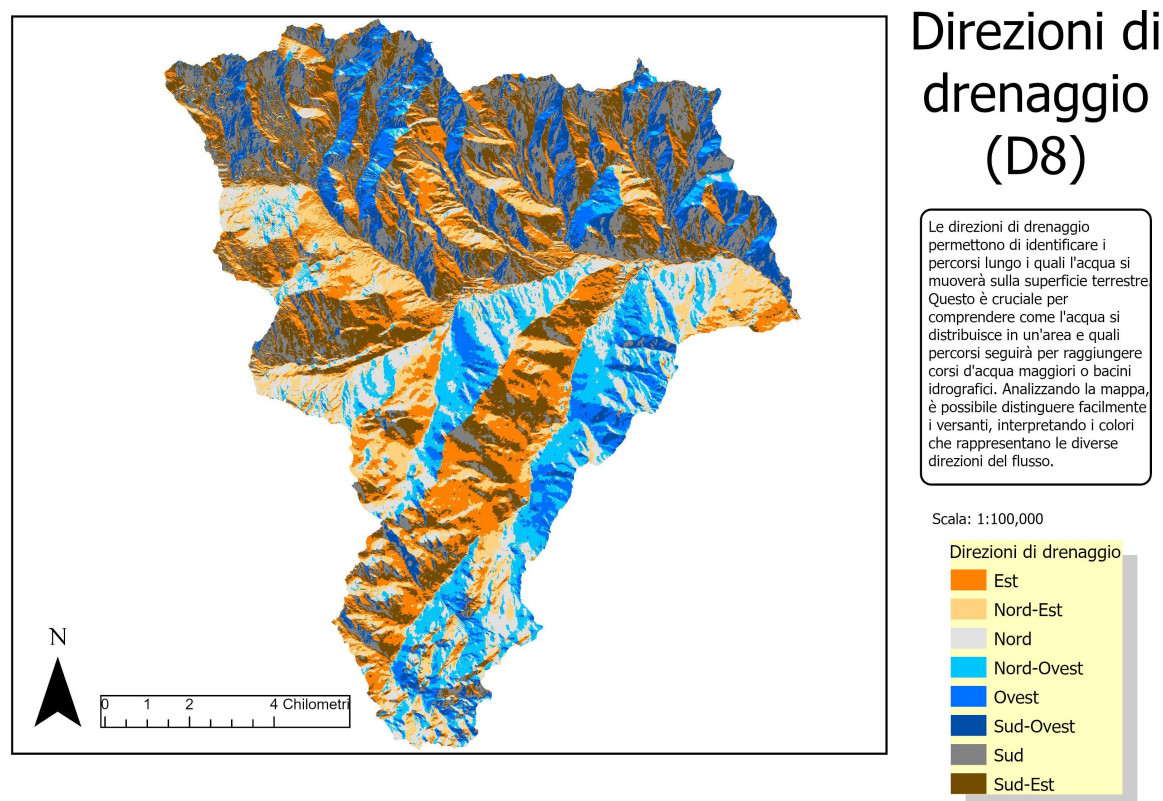


### 3.2.2 Analisi delle direzioni di drenaggio e delle pendenze

Il secondo passo consiste nel calcolare le direzioni di drenaggio e le pendenze, entrambe necessarie per stimare il percorso che l'acqua segue sulla superficie del bacino del Biois.

Il calcolo delle direzioni di drenaggio è essenziale per determinare come scorre l'acqua e per identificare i punti in cui i flussi provenienti da diverse regioni si fondono per formare torrenti e fiumi. Le pendenze, d'altra parte, influenzano la velocità e la direzione del flusso idrico; il loro calcolo permette di comprendere meglio come l'acqua si muove all'interno del bacino.

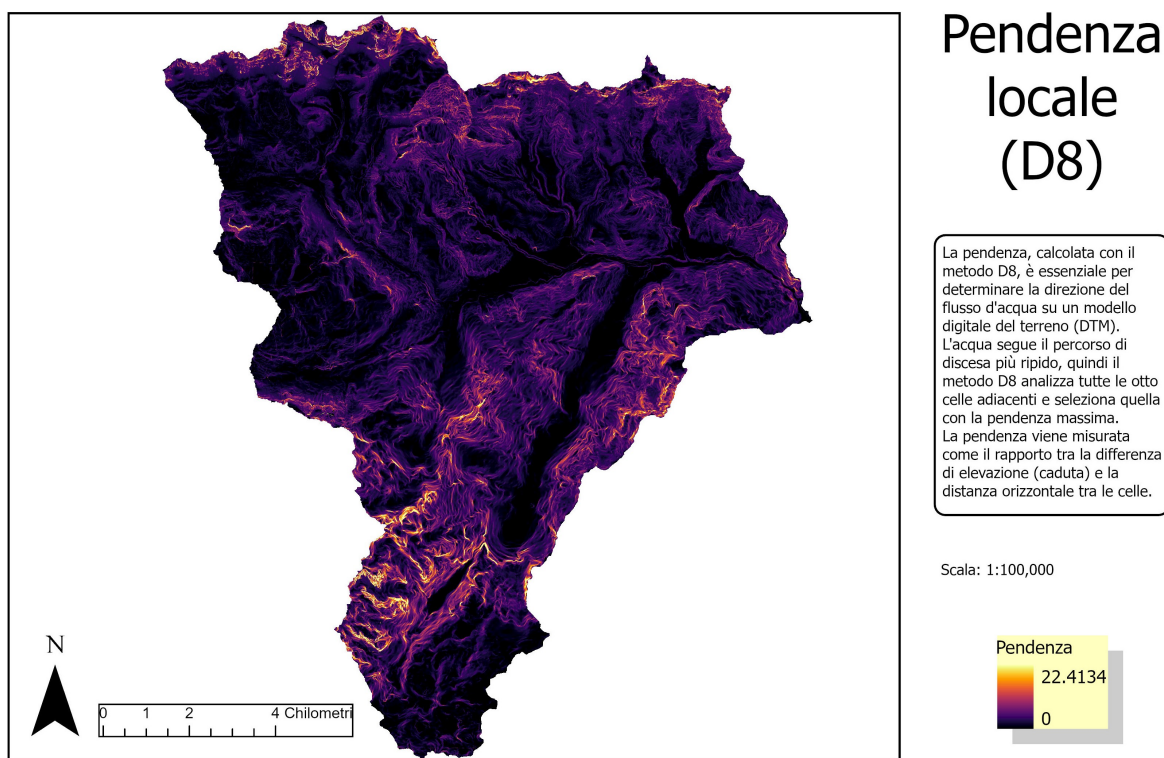
Il primo file raster ottenuto rappresenta le direzioni di drenaggio (Fig. 28). Questa figura mostra le otto direzioni calcolate per il bacino del Biois, ognuna identificata con un colore specifico, come illustrato nella Fig. 16.



**Figura 28:** Direzioni di flusso derivate da un DTM raster di 5 m del bacino del torrente Biois utilizzando un algoritmo D8.

La mappa delle direzioni di drenaggio è possibile osservare la presenza di caratteristiche come valli, crinali e colli, che influenzano la direzione del deflusso delle acque superficiali. Inoltre, la distribuzione delle direzioni di drenaggio riflette la topografia del terreno, evidenziando le aree di alta e bassa pendenza.

Il secondo file raster fornisce un'indicazione relativa alla pendenza locale di ciascuna cella (Fig. 29). In questa mappa, il colore delle celle varia in base alla pendenza locale: più il colore tende al giallo, più ripida sarà la pendenza locale e, al contrario, più il colore tende al nero, più piatte saranno le celle.



**Figura 29:** Pendine locali derivate da un DTM raster di 5 m del bacino del torrente Biois utilizzando un algoritmo D8.

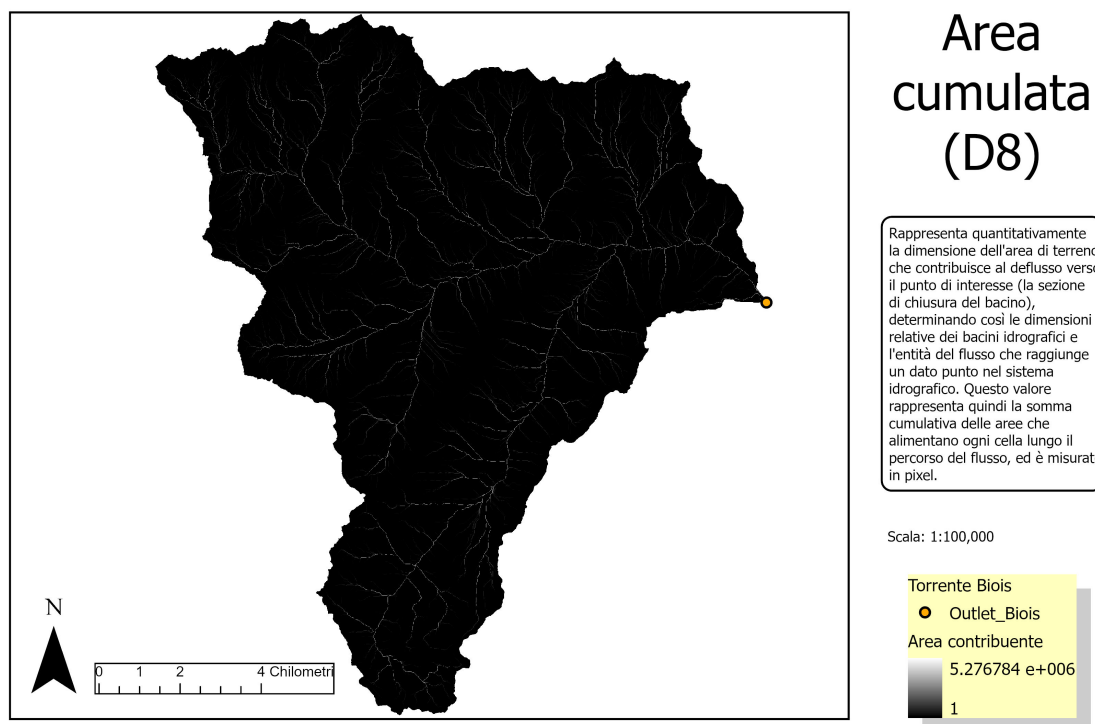
La scala della pendenza sulla mappa indica il range di valori delle pendine locali presenti nell'area del Biois. Valori bassi (vicini allo 0) indicano aree con pendine molto dolci, dove l'acqua tende a ristagnare o defluire lentamente. Valori alti (vicini a 22.41) indicano aree con pendine molto ripide, dove l'acqua scorre rapidamente.

Dalla figura si nota che la zona con le pendine maggiori è quella sud del bacino, dove il DTM presenta le altitudini più elevate. Le aree con pendine elevate favoriscono un deflusso più ripido, e, per questo, sono spesso soggette a una maggiore erosione. Al contrario, le aree con pendine più basse, dove il flusso d'acqua viene rallentato, possono diventare sedi di deposizione di sedimenti.

### 3.2.3 Calcolo dell'area contribuyente

Per determinare in quali celle si accumula il flusso e tracciare il percorso che l'acqua segue fino alla sezione di chiusura, viene calcolata l'area cumulata di ogni singola cella del DTM del bacino. In questa analisi è stato utilizzato il metodo D8 per calcolare l'area cumulata, utilizzando come input le otto direzioni di drenaggio appena ottenute.

La Fig. 30 mostra l'area che contribuisce a ciascuna cella. Man mano che ci si avvicina alla sezione di chiusura si nota un progressivo aumento dell'area contribuyente, corrispondente all'espansione delle dimensioni dei bacini idrografici e all'aumento dell'intensità del flusso.



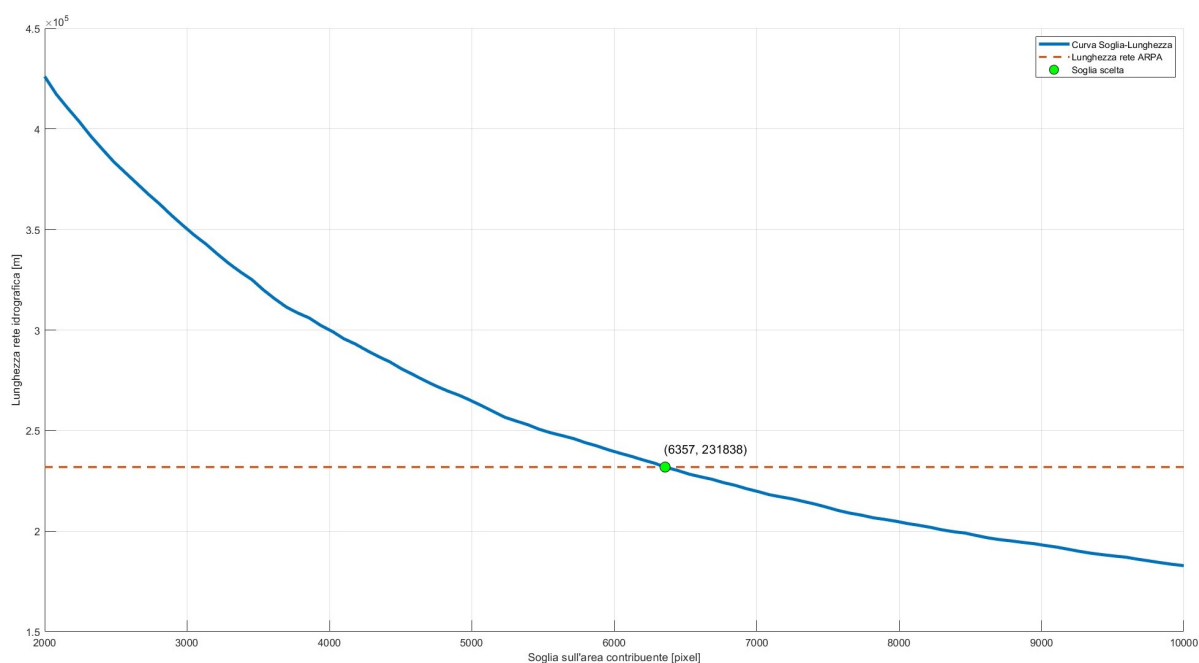
**Figura 30:** Area contribuyente ottenuta da un DTM raster di 5 m del bacino del Biois utilizzando l'algoritmo D8.

La scala indica che i valori di area cumulata vanno da un minimo di 1 *pixel* a un massimo di 5,276,784 *pixel*. Questi valori rappresentano i pixel che contribuiscono al deflusso verso un punto di interesse, calcolato secondo il metodo D8. Il valore massimo di pixel è attribuito alla cella del DTM che contiene la sezione di chiusura, dato che l'acqua che il bacino del Biois raccoglie viene fatta confluire tutta attraverso quel punto.

### 3.2.4 Generazione del reticolo del Biois

Ottenuta l'area cumulata per ciascun pixel del bacino, è possibile impostare delle soglie su queste aree per identificare i pixel che costituiscono i canali. In altre parole, solo i pixel con un'area cumulata superiore a un certo valore vengono considerati parte del canale, in quanto raccolgono una quantità di flusso significativa. Tutti gli altri pixel si considerano come pixel di versante, poiché attraversati da una quantità d'acqua insufficiente a formare un vero e proprio flusso.

Sono stati prodotti due reticoli, che cercano di avvicinarsi al reticolo reale di riferimento prodotto dall'ARPA. Il primo reticolo è stato ottenuto imponendo apposta una soglia molto bassa di 1100 *pixel*, in modo da ricoprire il più possibile il reticolo di partenza. Per il secondo reticolo si è cercata una soglia che permettesse di ottenerne uno nuovo con una lunghezza complessiva pari a quella del reticolo iniziale. Per determinare questo valore è stato utilizzato un codice su Matlab, il quale ha restituito una soglia di 6357 *pixel* e ha generato il grafico mostrato in Fig. 31.



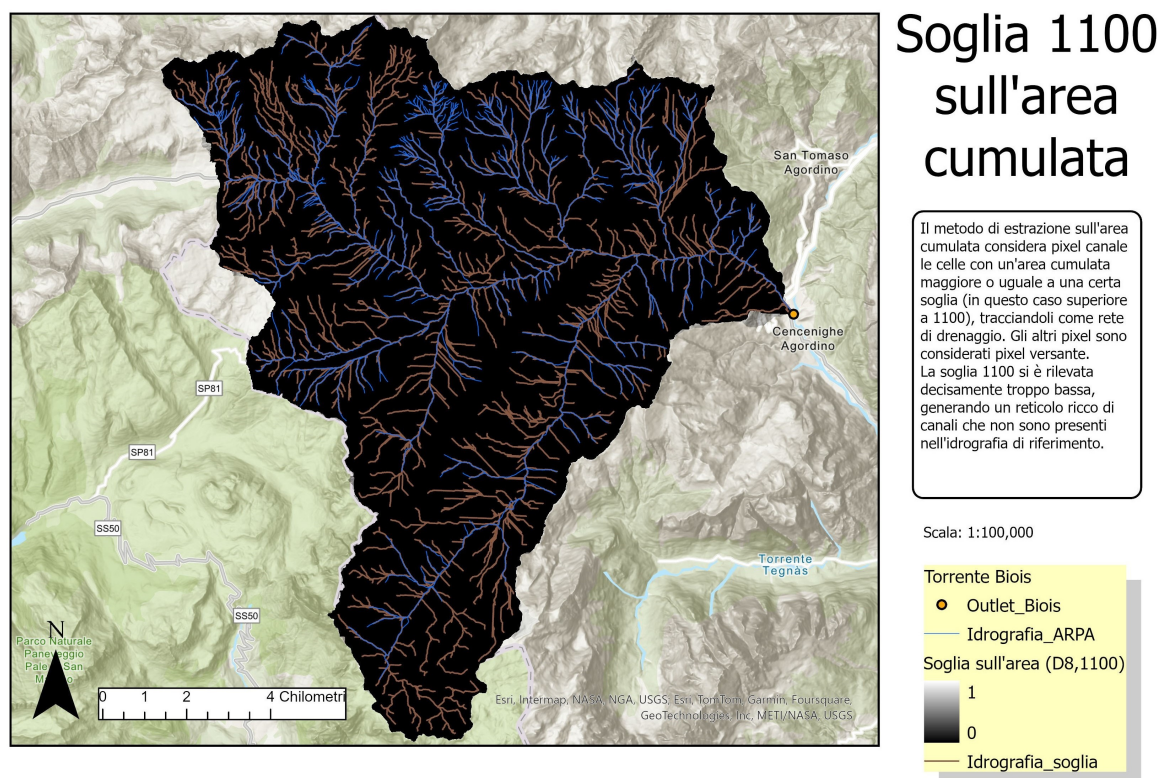
**Figura 31:** Grafico che mostra la lunghezza della rete estratta (in *m*) al variare della soglia di estrazione (in *pixel*).

Questo grafico illustra come la lunghezza del reticolo estratto diminuisca all'aumentare della soglia di estrazione. La linea rossa tratteggiata rappresenta la lunghezza del reticolo idrografico estratto dall'ARPA, pari a 231838 *m*. A questa ordinata corrisponde proprio il punto con ascissa di 6357 *pixel* nella curva Soglia-Lunghezza.



Di seguito vengono esaminati i due reticoli estratti del Biois, presentati in due mappe separate. In ciascuna mappa, i reticoli estratti vengono confrontati con l'idrografia di riferimento fornita dall'ARPA.

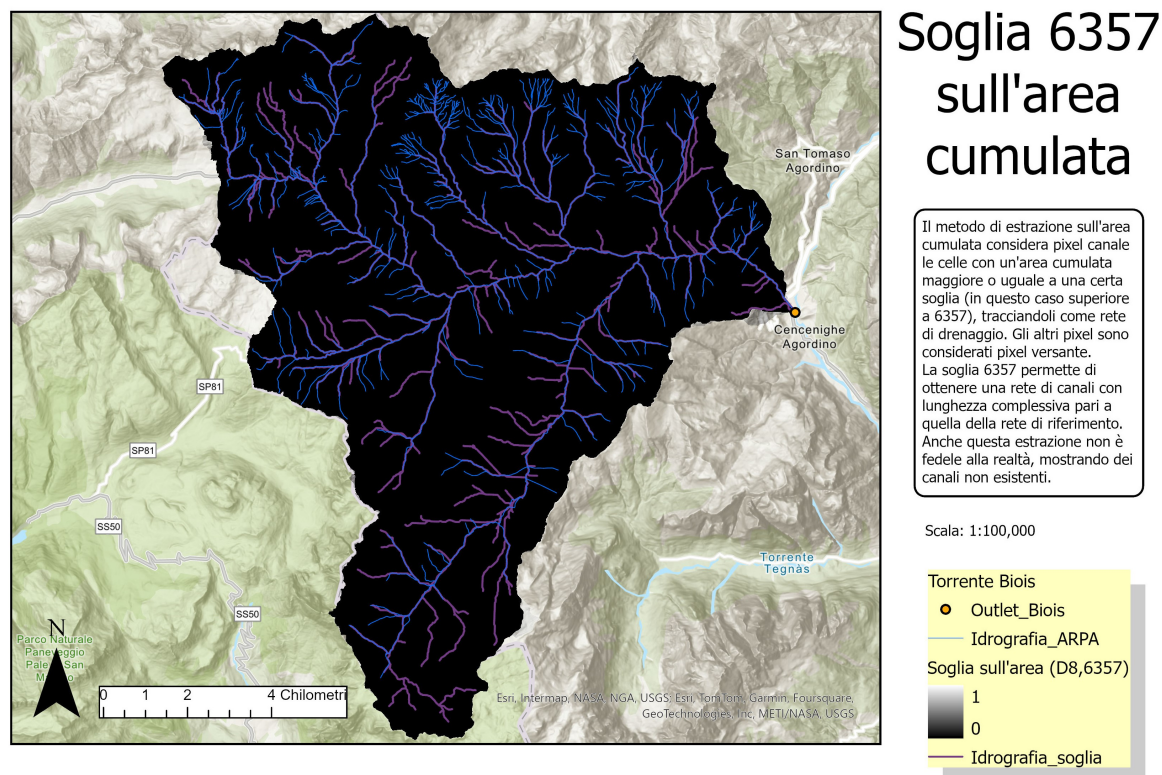
La Fig. 32 mostra la prima rete idrografica generata con soglia di 1100 *pixel*, dove è evidente la sovrabbondanza di canali rappresentati che non esistono nella realtà. La presenza di numerosi canali non presenti nell'idrografia dell'ARPA era prevedibile utilizzando una soglia così bassa. Quello che è da notare invece sono le geometrie sbagliate e le direzioni dei flussi che non seguono quelle reali. Queste differenze vengono analizzate successivamente nella Sez. 3.2.5.



**Figura 32:** Rete idrografica estratta con soglia sull'area accumulata di 1100 pixel.

Anche con la seconda soglia, mostrata in Fig. 33, vengono generati numerosi canali non presenti nella realtà, oppure reali ma spostati parallelamente a quelli rappresentati nell'idrografia ARPA. Questo problema suggerisce che ci siano stati errori nel rilievo del DTM, probabilmente causati da interferenze dovute ad alberi, strade, edifici o altre strutture che hanno ostacolato il fascio LIDAR, impedendo la rilevazione accurata delle altezze reali del terreno.





**Figura 33:** Rete idrografica estratta con soglia sull'area accumulata di 6357 pixel.

### 3.2.5 Confronto tra la rete idrografica di ARPA e le reti estratte

I dati delle tre reti idrografiche, quella di riferimento dell'ARPA e le due estratte, sono state confrontate nella Tabella 1.

Rete idrografica	Lunghezza [m]	Area bacino [km <sup>2</sup> ]	Densità di drenaggio [Km <sup>-1</sup> ]	Confronto con Dd di riferimento [%]
ARPA	231838	131.92	1.75741	100
1100	581211	131.92	4.40579	250
6357	231838	131.92	1.75741	100

**Tabella 1:** Confronto dei tre reticoli idrografici su lunghezza e densità di drenaggio.

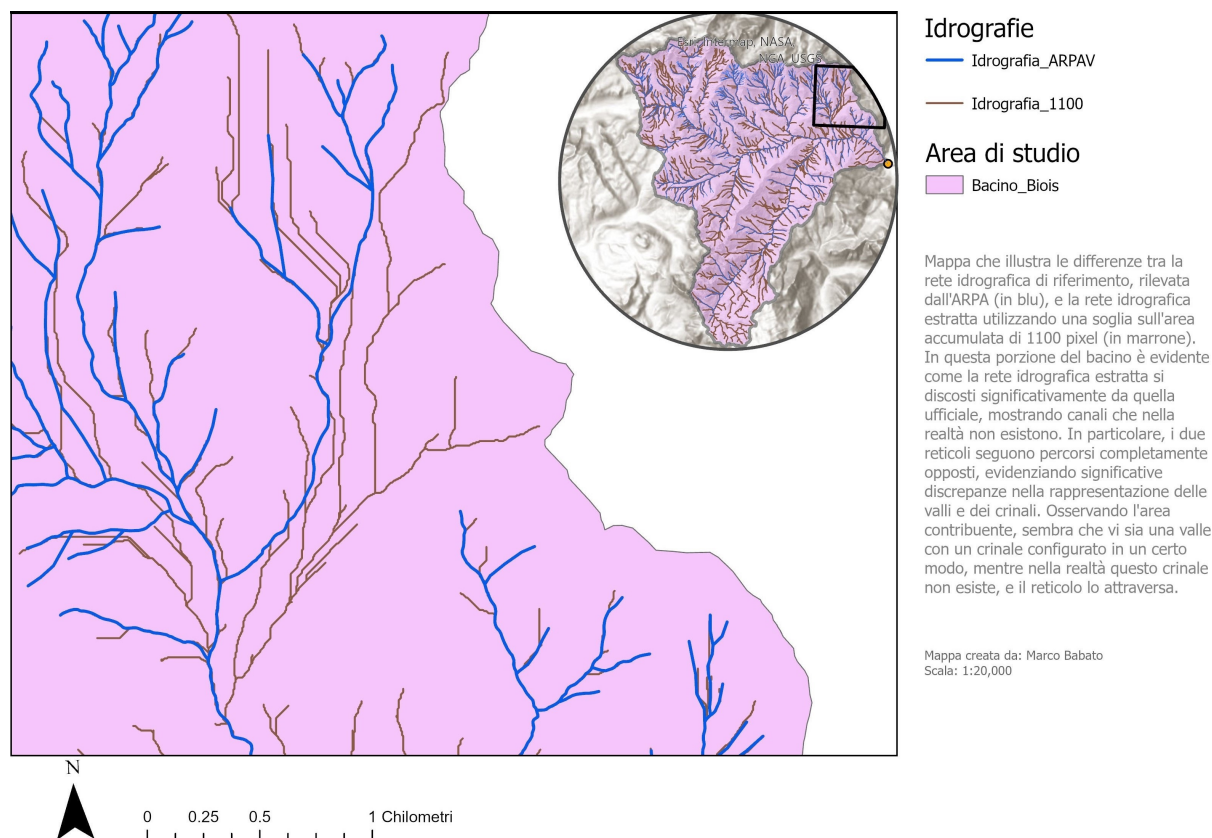
Per confrontare le tre reti idrografiche, sono stati considerati due parametri principali: la lunghezza totale dei canali fluviali nel bacino, espressa in chilometri (*km*), e la relativa densità di drenaggio. Quest'ultima è calcolata come il rapporto tra la lunghezza dei canali e l'area del bacino ( $Dd = \frac{Lunghezza}{Area}$ ), espressa in  $\frac{km}{km^2}$ .

Una densità di drenaggio più elevata indica una maggiore quantità di canali fluviali rispetto all'area del bacino, mentre una densità inferiore indica il contrario. Riducendo la soglia sull'area, si generano più canali, aumentando di conseguenza la densità di drenaggio.

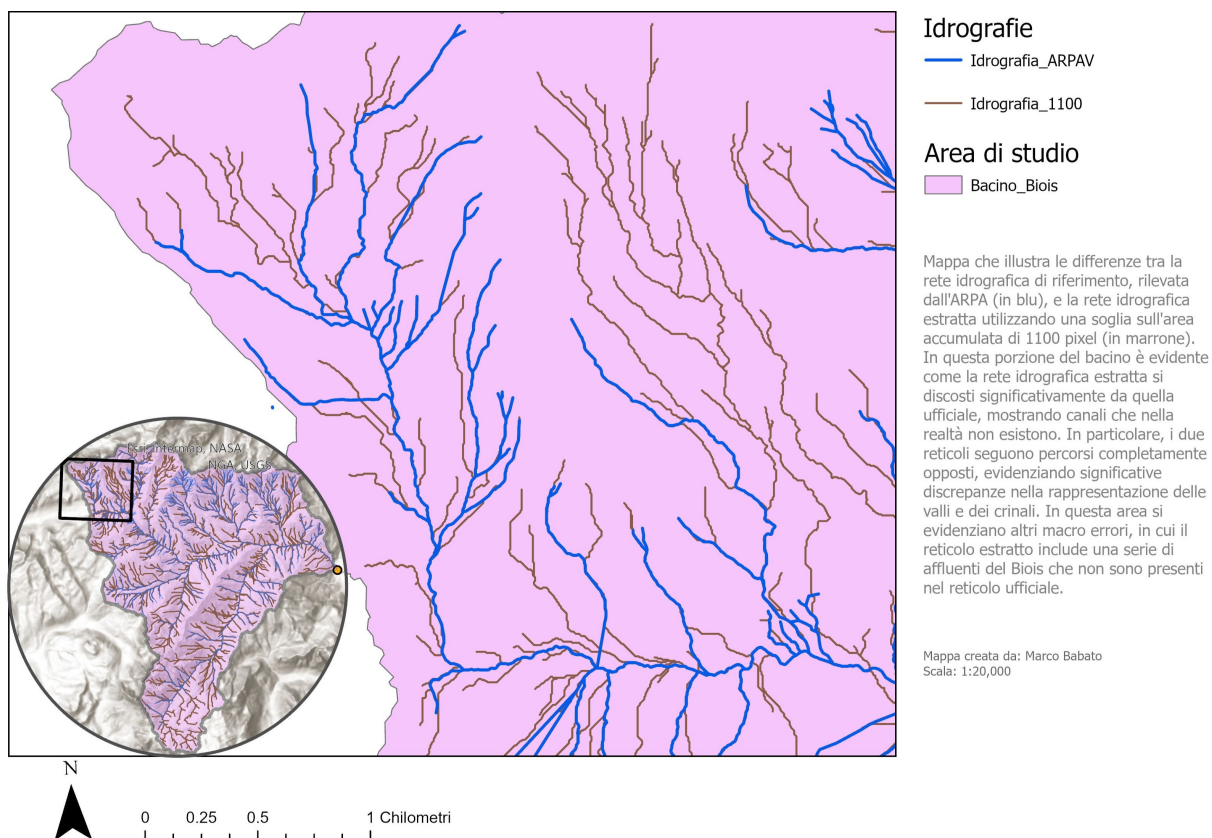
In particolare, dalla Tabella 1 emerge come l'uso di una soglia sull'area di 1100 pixel genera significativamente più canali rispetto a quelli presenti nel reticolo di riferimento, con una densità di drenaggio del 250% di quella reale.

Per osservare più in dettaglio le differenze tra il primo reticolo estratto con soglia 1100 e il reticolo di riferimento, sono riportate di seguito tre mappe a scala ridotta con focus sui macro errori.

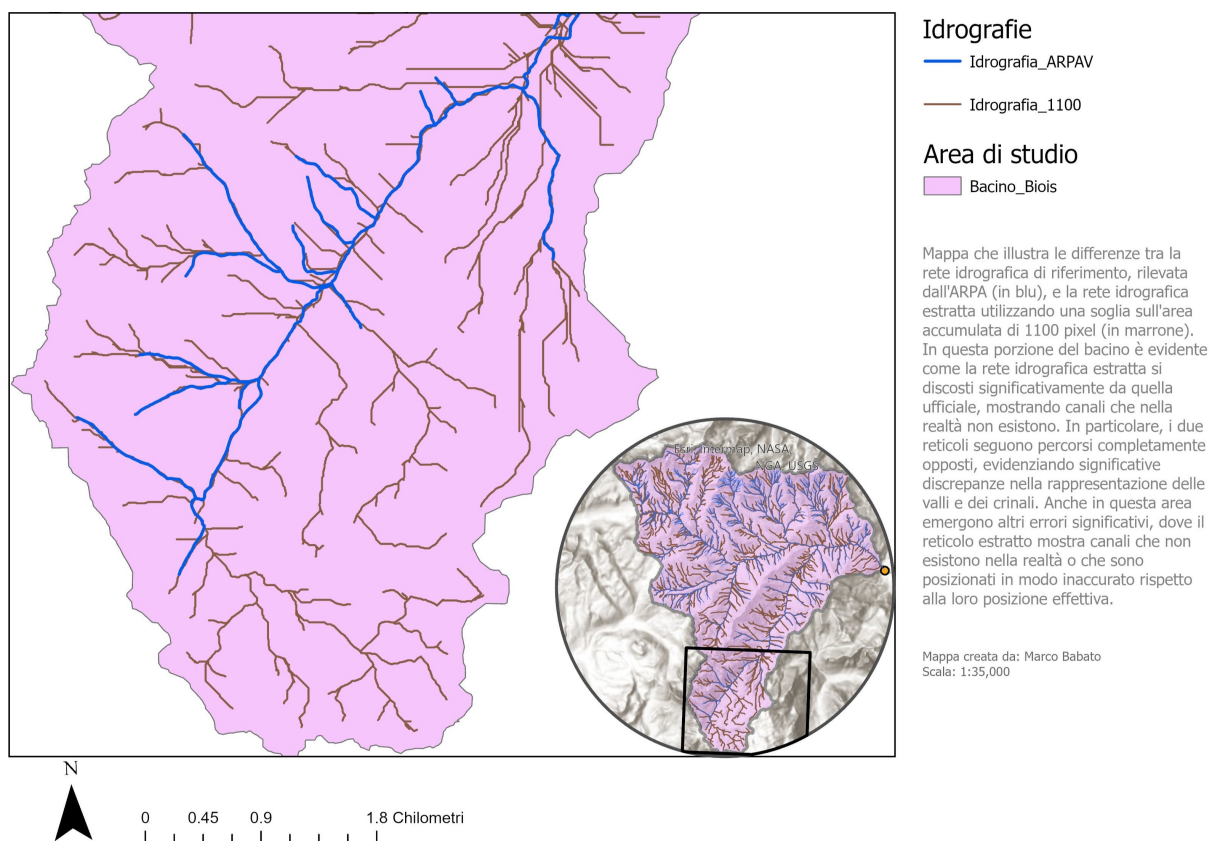
Dalle Figure 34 a 36 è evidente che l'estrazione ottenuta utilizzando una soglia di 1100 *pixel*, così come quella con soglia di 6357 *pixel*, non rappresenta correttamente la realtà e non può essere quindi utilizzata per analisi successive. La presenza di questi macro errori nella rete estratta è dovuto molto probabilmente a problemi nel DTM utilizzato, emersi durante il rilievo in volo.



**Figura 34:** Confronto tra il reticolo ARPA e quello estratto nella zona A.



**Figura 35:** Confronto tra il reticolo ARPA e quello estratto nella zona B.



**Figura 36:** Confronto tra il reticolo ARPA e quello estratto nella zona C.

### 3.3 Confronto tra le reti idrografiche rilevate e quelle di ARPA per Valfredda, Fuciade e Focobon

Dalle tre mappe riportate nelle Figure 19 a 21 è possibile effettuare un'analisi visiva delle due idrografie mostrate.

Nel bacino del Valfredda (Fig. 19), l'idrografia ricavata dall'ente regionale ARPA include solamente il corso principale della zona, trascurando tutti gli affluenti del torrente. Questi affluenti sono stati invece mappati con precisione attraverso varie rilevazioni in campo effettuate tra settembre e novembre 2018.

Una situazione diversa si riscontra nel bacino del Fuciade (Fig. 20), dove l'idrografia dell'ARPA è più estesa rispetto a quella rilevata sul campo, indicando la presenza di canali che in realtà non esistono. In particolare, nel tratto principale del torrente e in alcuni affluenti le due idrografie coincidono. Tuttavia, altri canali, come quelli nella parte nord, sono segnati solo nell'idrografia dell'ARPA e non corrispondono alla realtà.

Nel bacino del Focobon, invece, le due idrografie sono molto simili (Fig. 21). Questo potrebbe essere dovuto alla minore vegetazione presente nella zona, che ha permesso all'ARPAV di ottenere dati più accurati utilizzando metodi di rilevamento come immagini satellitari e segnali LIDAR.

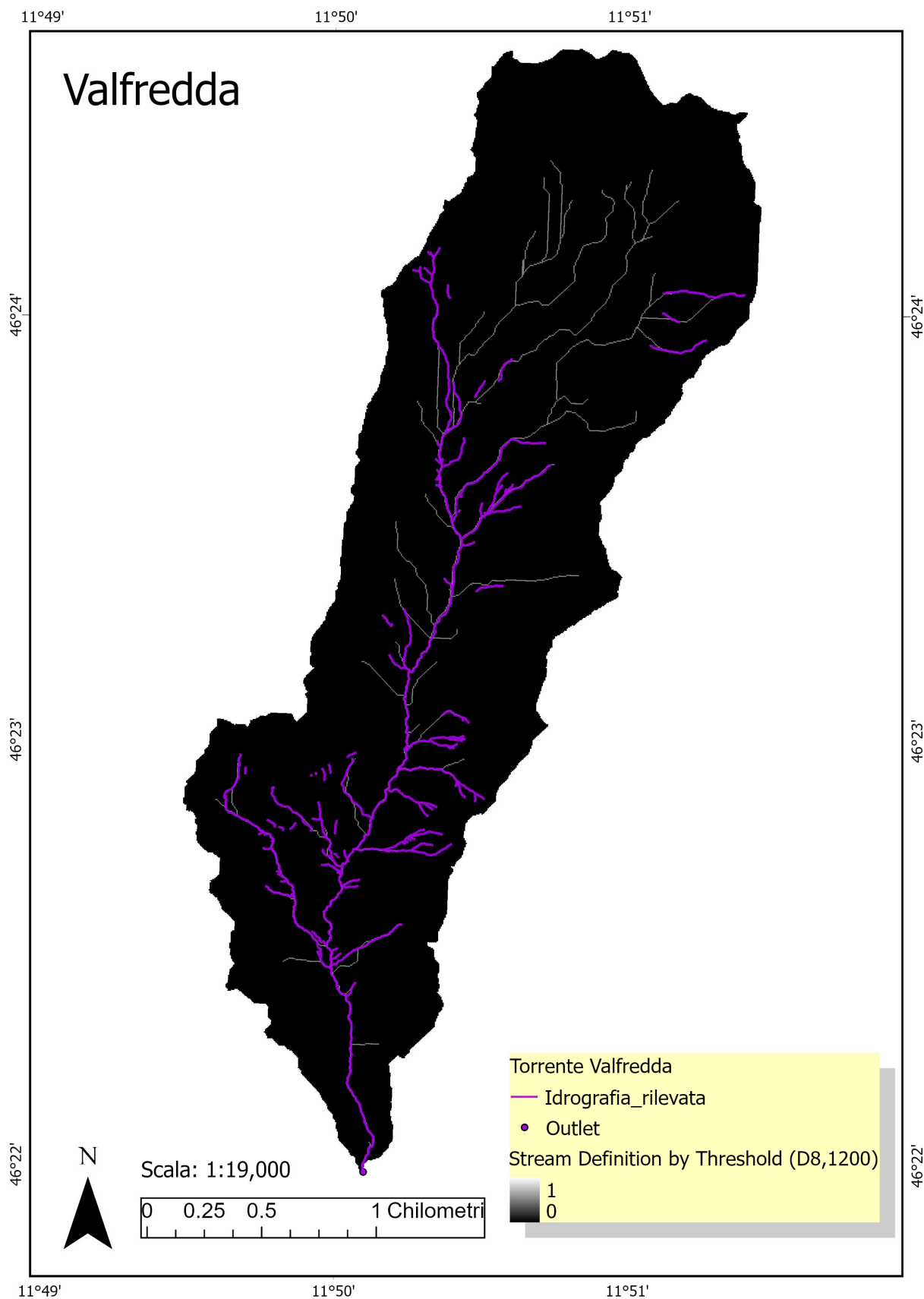
### 3.4 Generazione del reticolo idrografico dei tre affluenti

Dopo aver ottenuto risultati non accettabili dalle estrazioni dell'intero reticolo idrografico del Biois, molto distanti dalla realtà a causa di problemi sui dati del DTM, si è deciso di procedere con l'estrazione del reticolo dei torrenti Valfredda, Fuciade e Focobon, al fine di ottenere risultati migliori. In particolare, sono stati scelti i bacini di questi tre torrenti come aree di studio per le nuove estrazioni, poiché tutti oggetto di ricerca presso l'Università di Padova.

Le estrazioni sono state effettuate anche in questo caso sull'area contribuyente utilizzando il metodo D8. Per ciascun bacino, sono state determinate soglie diverse al fine di ottenere il miglior risultato, il più vicino possibile alla rete di riferimento rilevata sul campo.

Di seguito sono riportate le rispettive tre mappe ottenute (Figure 37 a 39), in cui la rete estratta viene confrontata con quella rilevata sul campo.





**Figura 37:** Rete estratta del Valfredda, con soglia sull'area cumulata di 1200 *pixel*.

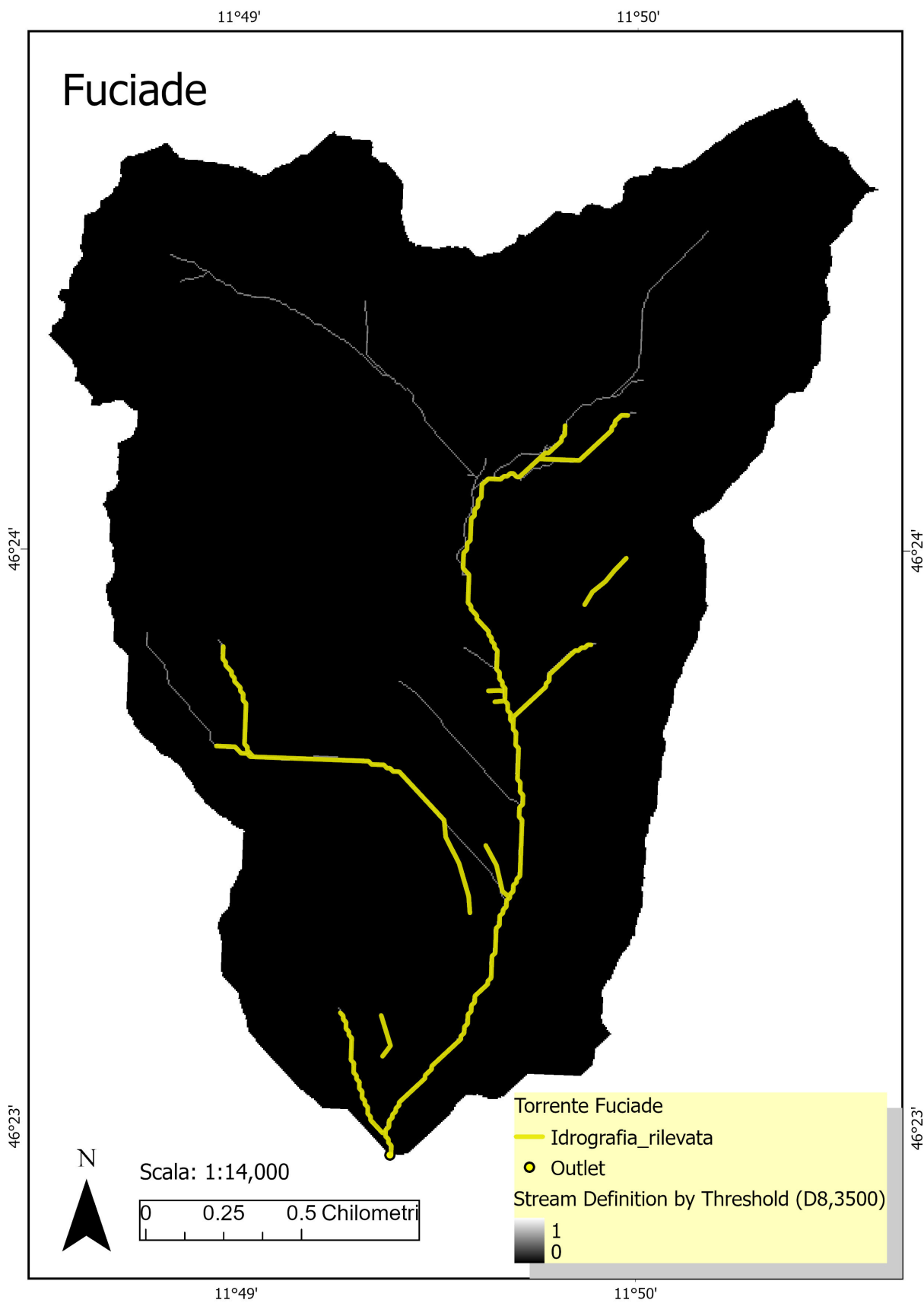
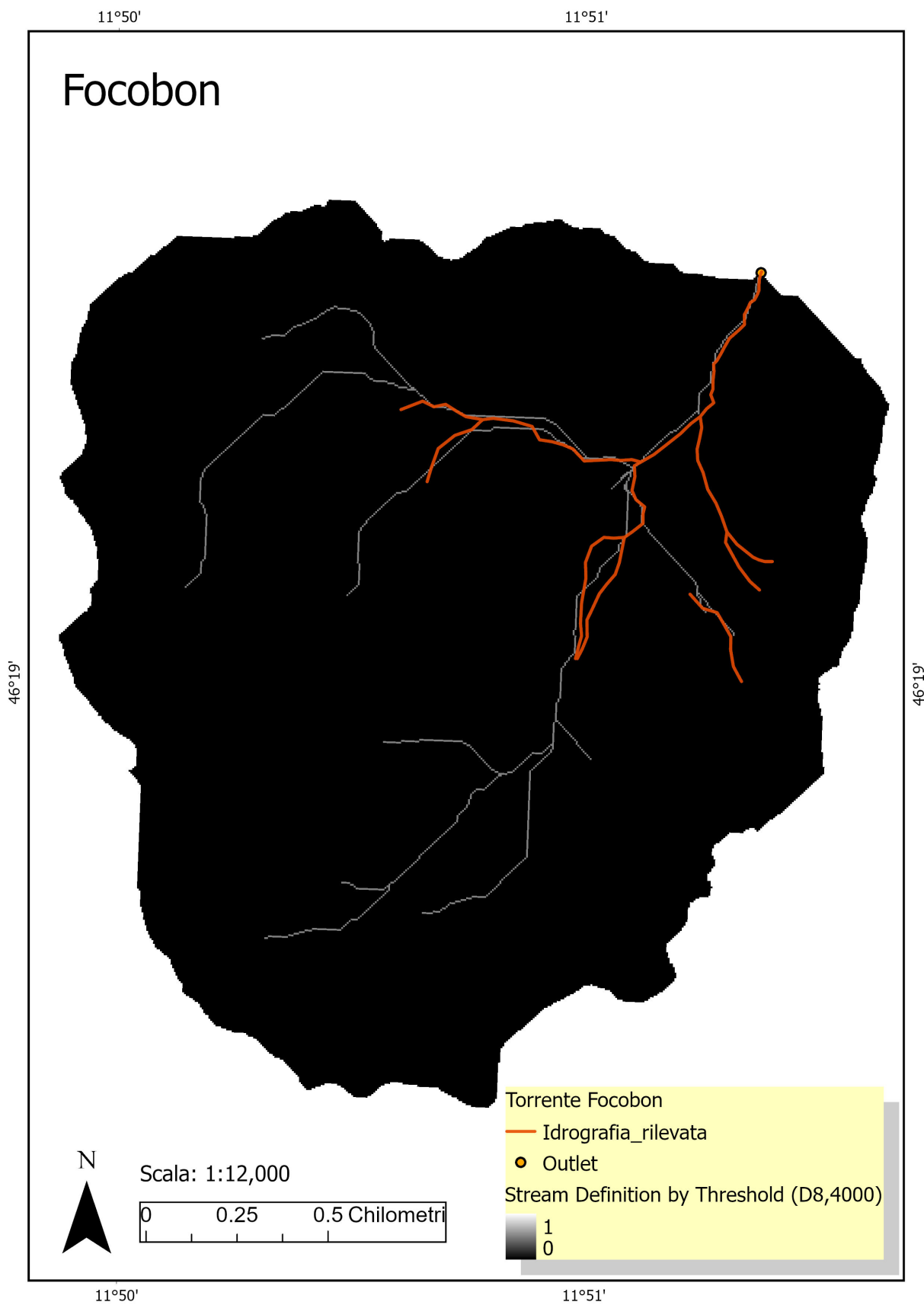


Figura 38: Rete estratta del Fuciade, con soglia sull'area cumulata di 3500 *pixel*.



**Figura 39:** Rete estratta del Focobon, con soglia sull'area cumulata di 4000 *pixel*.

Dalle tre figure si riscontrano anche in questo caso delle differenze tra l'estrazione e l'idrografia rilevata. Per tutti e tre i torrenti sono state individuate soglie dell'area contribuente che hanno permesso di avvicinare il più possibile l'estrazione al reticolo reale. Per trovare la soglia ottimale, è stato necessario raggiungere un compromesso: evitare un'estrazione troppo estesa ma anche assicurarsi che venissero rilevati i canali effettivamente esistenti, generando così un reticolo il più simile possibile all'idrografia reale. Nonostante questo, in tutti e tre i casi la rete estratta rappresenta dei canali inesistenti nella realtà, non indicando allo stesso tempo dei tratti di canale che invece sono reali.

In particolare, in Fig. 37 l'estrazione del Valfredda mostra, specialmente nella parte nord del bacino, dei canali inesistenti, creando erroneamente un reticolo connesso dove la rete reale mostra invece dei canali separati.

Anche l'estrazione del Fuciade in Fig. 38 ha prodotto un'idrografia imprecisa, con una serie di canali inesistenti a nord bacino, mentre risulta più precisa verso la sezione di chiusura del torrente.

Infine, il Focobon in Fig. 39 è l'estrazione che presenta maggiori errori, mostrando canali irreali, con tratti spostati rispetto a quelli reali e dunque non sovrapposti, e unendo, anche in questo caso, tratti di canali che nella realtà sono separati dal torrente.

Queste estrazioni sono accomunate da gravi errori nelle geometrie e nelle direzioni dei flussi, che normalmente non dovrebbero verificarsi durante l'estrazione di un reticolo idrografico. Si deduce che questi errori siano probabilmente dovuti al DTM utilizzato, il quale potrebbe presentare delle imprecisioni nei dati di queste zone, causate da interferenze durante la rilevazione, come la presenza strade, fitta vegetazione o edifici.







## 4 CONCLUSIONE

Le estrazioni ottenute nel corso di questa tesi hanno dimostrato che i *Digital Terrain Model* (DTM) utilizzati di Veneto e Trento presentano errori all'interno dell'area di studio, la Valle del Biois. Data l'alta risoluzione spaziale di questi dati, con ogni cella che descrive l'elevazione di una superficie di  $5m \times 5m$ , è improbabile che gli errori siano dovuti a una rappresentazione approssimata del terreno. Si deduce quindi che questi errori nei DTM derivino da problemi durante la rilevazione dei dati, che non hanno permesso di ottenere le elevazioni precise del terreno.

Questi problemi possono essere dovuti a interferenze del segnale LIDAR, causate da vari fattori come ostacoli (ad esempio, edifici e vegetazione fitta), riflessioni multiple o condizioni meteorologiche avverse. Inoltre, gli errori possono derivare da metodologie di elaborazione dei dati del DTM, come algoritmi di interpolazione o filtraggio, che possono introdurre errori nelle altezze del suolo se non sono applicate correttamente. In un'area montuosa come quella di studio, il rilievo dell'elevazione del suolo tramite segnale LIDAR può facilmente comportare errori nel DTM a causa della fitta vegetazione e delle rapide variazioni di altitudine, rendendo una risoluzione di  $5m \times 5m$  in realtà una risoluzione spaziale limitata.

Guardando al futuro, ulteriori ricerche potrebbero continuare questo lavoro concentrandosi su vari aspetti: ricavare un DTM della zona con una risoluzione maggiore, integrare i dati del bacino idrografico da più sorgenti per una rappresentazione più completa e migliorare i metodi di estrazione geospaziale. In particolare, potrebbe essere utile implementare una matrice di confusione per trovare la soglia sulle estrazioni che minimizzi gli errori rispetto all'idrografia di riferimento (assunto che questa possa essere calcolata mediante l'estrazione di verità a terra).



# Bibliografia e Sitografia

Geoportale della Regione Veneto: <https://idt2.regione.veneto.it/>

Geocatalogo della Provincia di Trento: <http://territorio.provincia.tn.it/>

Differenza tra DTM e DSM: <https://3dmetrica.it/dtm-dsm-dem/>



# Ringraziamenti

*Innanzitutto, desidero esprimere la mia profonda gratitudine al mio relatore, il Prof. Gianluca Botter, e al mio correlatore, il Prof. Nicola Durighetto, per la guida, la pazienza e il supporto in ogni fase del mio lavoro di tesi. La loro esperienza e le loro preziose intuizioni hanno reso possibile il completamento di questa tesi.*

*Ringrazio di cuore i miei genitori per il loro sostegno e l'incoraggiamento costante. Senza di loro, nulla di tutto questo sarebbe stato possibile.*

*Ringrazio anche i miei fratelli Andrea e Enrico, per il loro supporto e per avermi sempre incoraggiato a dare il massimo.*

*Un pensiero speciale va ai miei nonni, che con il loro affetto e la loro saggezza mi hanno sempre ispirato e sostenuto.*

*Infine, desidero ringraziare tutti i miei amici dell'università, con cui ho condiviso momenti indimenticabili di studio e di vita. La loro amicizia e il loro appoggio sono stati fondamentali durante questi anni di studio.*

*Marco Babato*



