



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO

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

# Relazione idro-geomorfologica: Rio Farinelli

---

Corso di Idrologia

**Docente: Riccardo Rigon**

**Autori: Mara Ottoboni, Alice Resconi**



**Anno Accademico 2014-2015**

## INDICE

<b>1. Inquadramento</b>	<b>1</b>
1.1 Inquadramento geografico e geo-morfologico .....	5
1.2 Inquadramento del torrente .....	6
<b>2. Sopralluoghi</b>	<b>7</b>
2.1 Località sopra Magnago .....	7
2.2 Località Magnago .....	10
2.3 Frazione Mazzanigo .....	12
2.4 Civezzano – Via Argentario .....	14
2.5 Civezzano – Ponte stradale SP71 .....	17
2.6 Civezzano – Affluente Rio Santa Colomba .....	20
2.7 Località Slacche – Foce .....	23
<b>3. Analisi idro-geomorfologica con JGrass</b>	<b>26</b>
3.1 Mosaic12 .....	27
3.2 Pitfiller .....	27
3.3 FlowDirections .....	28
3.4 DrainDir .....	29
3.5 Markoutlets .....	32
3.6 ExtractNetwork .....	33
3.7 Slope .....	34
3.8 Gradient .....	37
3.9 Aspect .....	38
3.10 Curvatures .....	39
3.11 Tc .....	42
3.12 Gc .....	44
3.13 Ab .....	46
3.14 Magnitudo .....	48
3.15 HackLength .....	49
3.16 H2cd .....	50
3.17 DistanceToOutlet .....	52
3.18 WaterOutlet .....	53
3.19 NetNumbering .....	54
3.20 TopIndex .....	57
3.21 RescaledDistance .....	59

<b>4. Statistiche</b>	<b>61</b>
4.1 RasterSummary .....	61
4.2 Cb .....	62
<b>A. Programmi utilizzati</b>	<b>64</b>
<b>B. Cartografia utilizzata</b>	<b>64</b>
<b>C. Riferimenti bibliografici</b>	<b>64</b>

## Elenco delle figure

1. Inquadramento geografico dell'area in esame .....	5
2. Inquadramento idrologico della zona di studio .....	6
3. Fondo del Rio Farinelli .....	6
4. Vista satellitare di inquadramento: sopralluogo 2.1 .....	7
5. Rio Farinelli presso Località sopra Magnago .....	8
6. Rio Farinelli in ambiente boschivo .....	8
7. Opera antropica sul Rio Farinelli .....	9
8. Vista dall'alto dell'opera .....	9
9. Sentieri di Località Magnago .....	10
10. Vista satellitare di inquadramento: sopralluogo 2.2 .....	10
11. Ponte presso Località Magnago .....	11
12. Particolare della vegetazione nei pressi del ponte .....	11
13. Vista satellitare di inquadramento: sopralluogo 2.3 .....	12
14. Rio Farinelli presso Località Mazzanigo .....	13
15. Particolare dell'alveo arginato da muri in cemento .....	13
16. Vista satellitare di inquadramento: sopralluogo 2.4 .....	14
17. Particolare del cunettone .....	15
18. Ponte sul Rio Farinelli nei pressi dell'abitato di Civezzano .....	15
19. Incanalamento all'interno dell'abitato di Civezzano .....	16
20. Particolare dell'alveo artificiale .....	16
21. Vista satellitare di inquadramento: sopralluogo 2.5 .....	17
22. Strada Provinciale 71 .....	18
23. Ponte della SP71 sotto il quale scorre Rio Farinelli .....	18

24. Elementi arborei e arbustivi sulle sponde del rio .....	19
25. Particolare del fondo .....	19
26. Vista satellitare di inquadramento: sopralluogo 2.6 .....	20
27. Ponte su Rio Santa Colomba .....	21
28. Visuale a Nord del ponte .....	21
29. Corso dell'affluente all'interno dell'abitato .....	22
30. Visuale a Sud del ponte .....	22
31. Vista satellitare di inquadramento: sopralluogo 2.7 .....	23
32. Strada che conduce all'impianto di betonaggio .....	24
33. Immissione di Rio Farinelli nel torrente Fersina .....	24
34. Linea di demarcazione tra i due torrenti .....	25
35. Vista satellitare fra il punto di incontro tra i due corsi d'acqua .....	25
36. Quadro d'insieme del Rio Farinelli elaborato dal DTM .....	26
37. Mappa ottenuta tramite il comando <i>Pitfiller</i> .....	27
38. Mappa ottenuta tramite il comando <i>FlowDirections</i> .....	28
39. Mappa delle direzioni di drenaggio ottenuta tramite il comando <i>DrainDir</i> .....	29
40. Mappa delle aree contribuenti ottenuta tramite il comando <i>DrainDir</i> .....	30
41. Mappa delle aree contribuenti ottenuta tramite il comando <i>DrainDir</i> , in scala logaritmica .....	31
42. Mappa ottenuta tramite il comando <i>Markoutlets</i> .....	32
43. Mappa ottenuta tramite il comando <i>ExtractNetwork</i> .....	33
44. Mappa ottenuta tramite il comando <i>Slope</i> .....	34
45. Mappa ottenuta tramite il comando <i>ExtractNetwork</i> (10 pixel), a confronto con l'idrografia ufficiale .....	35
46. Mappa ottenuta tramite <i>ExtractNetwork</i> (10 pixel) .....	36
47. Mappa ottenuta tramite <i>ExtractNetwork</i> (20 pixel) .....	36
48. Mappa ottenuta tramite <i>ExtractNetwork</i> (30 pixel) .....	36
49. Mappa ottenuta tramite il comando <i>Gradient</i> .....	37
50. Mappa ottenuta tramite il comando <i>Aspect</i> .....	38
51. Mappa delle curvature longitudinali ottenuta tramite il comando <i>Curvatures</i> .....	39
52. Mappa delle curvature tangenziali ottenuta tramite il comando <i>Curvatures</i> .....	40
53. Mappa delle curvature planari ottenuta tramite il comando <i>Curvatures</i> .....	41
54. Mappa delle classi morfologiche ottenuta tramite il comando <i>Tc</i> .....	43
55. Mappa delle classi fondamentali ottenuta tramite il comando <i>Tc</i> .....	43
56. Mappa delle undici classi geomorfologiche ottenuta tramite il comando <i>Gc</i> .....	44
57. Mappa delle cinque classi geomorfologiche ottenuta tramite il comando <i>Gc</i> .....	45
58. Mappa del contorno drenante ottenuta tramite il comando <i>Ab</i> .....	46
59. Mappa dell'area per unità di lunghezza ottenuta tramite il comando <i>Ab</i> .....	47
60. Mappa dell'area per unità di lunghezza ottenuta tramite il comando <i>Ab</i> , visualizzazione logaritmica .....	47

---

61. Mappa ottenuta tramite il comando <i>Magnitudo</i> .....	48
62. Mappa ottenuta tramite il comando <i>HackLength</i> .....	49
63. Mappa ottenuta tramite il comando <i>H2cd</i> , calcolata in metri .....	50
64. Mappa ottenuta tramite il comando <i>H2cd</i> , calcolata in pixel .....	50
65. Mappa ottenuta tramite il comando <i>H2cd</i> , calcolata in metri, visualizzazione 3D .....	51
66. Mappa ottenuta tramite il comando <i>H2cd</i> , calcolata in pixel, visualizzazione 3D .....	51
67. Mappa calcolata tramite il comando <i>DistanceToOutlet</i> , calcolata in metri .....	52
68. Mappa del sottobacino ottenuta tramite il comando <i>WaterOutlet</i> , a confronto con i bacini ufficiali .....	53
69. Mappa contenente il reticolo idrografico numerato, ottenuta tramite il comando <i>NetNumbering</i> .....	54
70. Mappa raster contenente i sottobacini estratti, ottenuta tramite il comando <i>NetNumbering</i> .....	55
71. Mappa vettoriale contenente i sottobacini estratti, ottenuta tramite il comando <i>Vectorizer</i> .....	56
72. Mappa vettoriale dei centroidi ottenuta tramite il comando <i>VectorReshaper</i> .....	56
73. Mappa dell'indice topografico ottenuta tramite il comando <i>TopIndex</i> .....	57
74. Mappa dell'indice topografico ottenuta tramite il comando <i>TopIndex</i> , rielaborata attraverso <i>Mapcalc</i> .....	58
75. Mappa delle distanze semplici ottenuta tramite il comando <i>RescaledDistance</i> con $r = 1$ .....	59
76. Mappa delle distanze riscalate ottenuta tramite il comando <i>RescaledDistance</i> con $r = 10$ .....	60
77. Mappa delle distanze riscalate ottenuta tramite il comando <i>RescaledDistance</i> con $r = 20$ .....	60
78. Grafico della distribuzione delle quote .....	61
79. Grafico della distribuzione percentuale delle quote .....	61
80. Grafico della funzione d'ampiezza calcolata con $r=1$ .....	62
81. Grafico della funzione d'ampiezza riscalata con $r=10$ .....	63
82. Grafico della funzione d'ampiezza riscalata con $r=20$ .....	63

## 1. Inquadramento

### 1.1 Inquadramento geografico e geo-morfologico

Civezzano sorge in provincia di Trento, situato all'imbocco della Valsugana, la quale collega il capoluogo trentino con il Veneto nelle direzioni di Feltre e Bassano del Grappa. È compreso tra i torrenti Silla (a Est) e Fersina (a Sud) fino a raggiungere, verso Nord, l'area del Monte Calisio. L'abitato è sparso su di un terrazzo glaciale, tra le profonde incisioni di Rio Farinella e Santa Colomba, oltre che del Torrente Fersina. Il deposito alluvionale sembra essere formato da laghi post-glaciali.

Geomorfologicamente questi luoghi si trovano presso la linea di contatto delle formazioni calcaree Mesozoiche (Dolomia Principale, Giura, Cretaceo) nel settore meridionale del massiccio del Monte Calisio (o Monte Argentario), con le rocce vulcaniche effusive del Paleozoico (Porfidi e Permiani) degli Altipiani di Santa Croce, Fornace e Pinè. La zona, con le sue caratteristiche fisiche, completa l'assetto territoriale della più vasta regione del Perginese, a ridosso dello spartiacque tra il bacino dell'Adige (Fersina) e quello del Brenta (Lago di Caldronazzo).

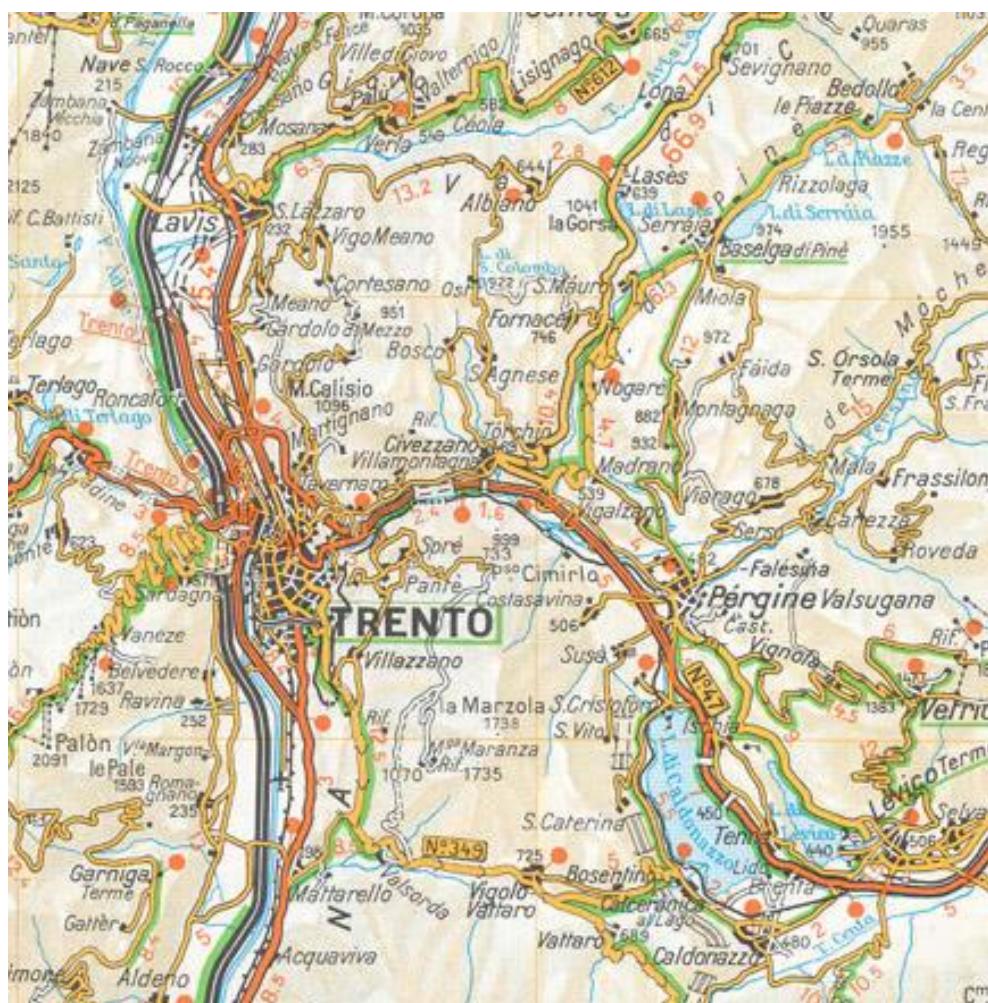


Figura 1: Inquadramento geografico dell'area in esame

## 1.2 Inquadramento del torrente

Il torrente Farinelli nasce dal monte Corno (953 m), scorre a Nord-Ovest di Civezzano, e viene anche detto “Còel” o “Còen”.

È un affluente di destra del torrente Fersina, mentre il suo affluente di sinistra è Rio Santa Colomba, il quale nasce dall’omonimo lago Santa Colomba (922 m), situato tra il Dosso Le Grave (911 m) e il Dosso dei Brusadi (991 m), e dalla sorgente Santa Colomba (898 m).

Le sue acque sono trasparenti e tranquille, individuando il sentiero della “Lastra”.

La lunghezza dell’asta principale è di 3.4 km, la superficie del bacino è di circa 12 km<sup>2</sup>, mentre quella del sottobacino preso in analisi corrisponde a circa 5 km<sup>2</sup>.

Inoltre per il bacino di appartenenza è calcolato un Deflusso Minimo Vitale stagionale (DMV) pari a  $3 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$ , da intendersi come il quantitativo di acqua rilasciata da una qualsiasi opera di captazione sull’asta di un lago, fiume o torrente, in grado di garantire la naturale integrità ecologica, seppure con popolazione ridotta, con particolare riferimento alla tutela della vita aquatica e alla salvaguardia della normale struttura naturale dell’alveo.

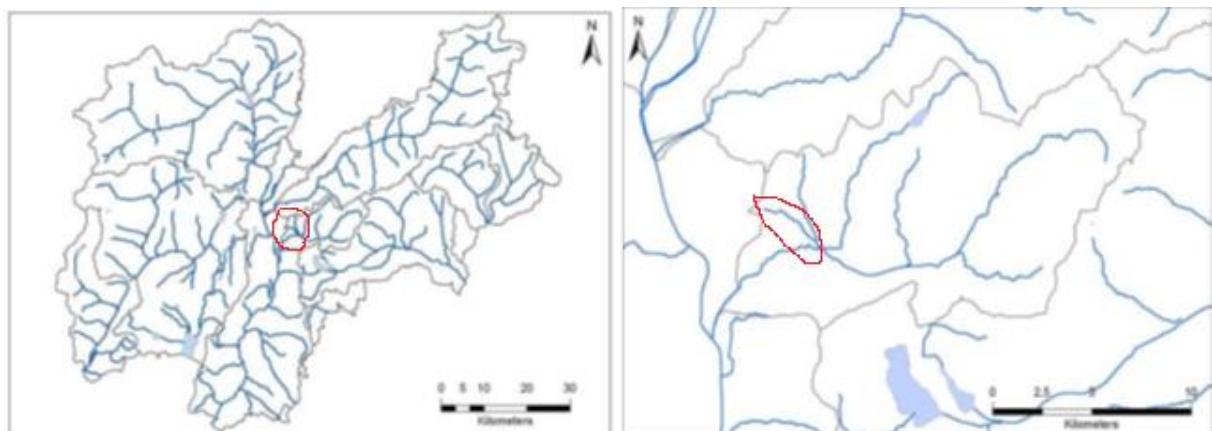


Figura 2: Inquadramento idrologico della zona di studio

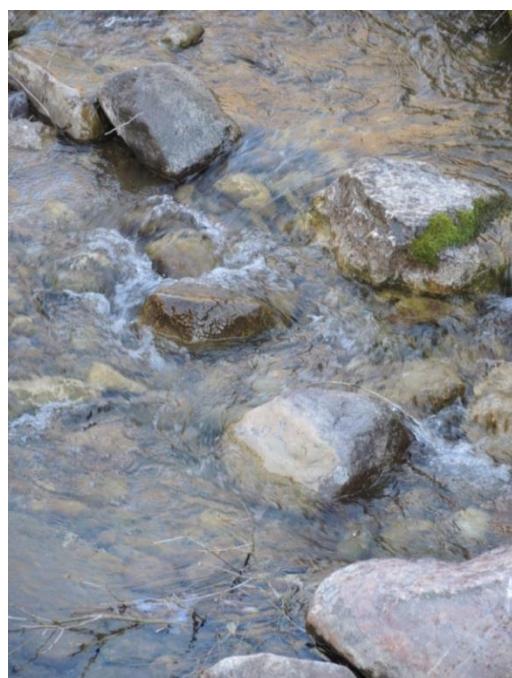


Figura 3: Fondo del Rio Farinelli

## 2. Sopralluoghi

Nella giornata del 31 marzo 2015 sono stati effettuati sopralluoghi in vari punti significativi lungo il corso di Rio Farinelli. Il materiale fotografico raccolto, corredata da coordinate ricavate mediante l'utilizzo di Google Maps (in gradi/milionesimi di grado, nel S.d.R. WGS84), è di supporto per la successiva elaborazione svolta tramite i software *STAGE* e *QGIS*. I rilevamenti fotografici sono stati effettuati a partire dalla zona situata sopra la Località di Magnago, seguendo il corso del torrente fino al centro di Civezzano, e da qui fino a giungere alla foce, presso la Località Slacche.

### 2.1 Località sopra Magnago

COORDINATE WGS84 (DD):	46,097635
	11,162986
QUOTA:	650,64 m s.l.m.

Il primo tratto del Rio Farinelli è interamente circondato da vegetazione. Questa, nella fascia perifluvale, è per entrambe le sponde individuata da formazione arborea con dominanza di specie esotiche, tra le quali la Robinia pseudoacacia. Il fondo è caratterizzato da massi incassati e ciottoli.

A seguito del sopralluogo si è ipotizzato che la sorgente si trovi nella zona boschiva adiacente all'area agricola, della quale però non si è potuto registrare un riscontro visivo diretto.

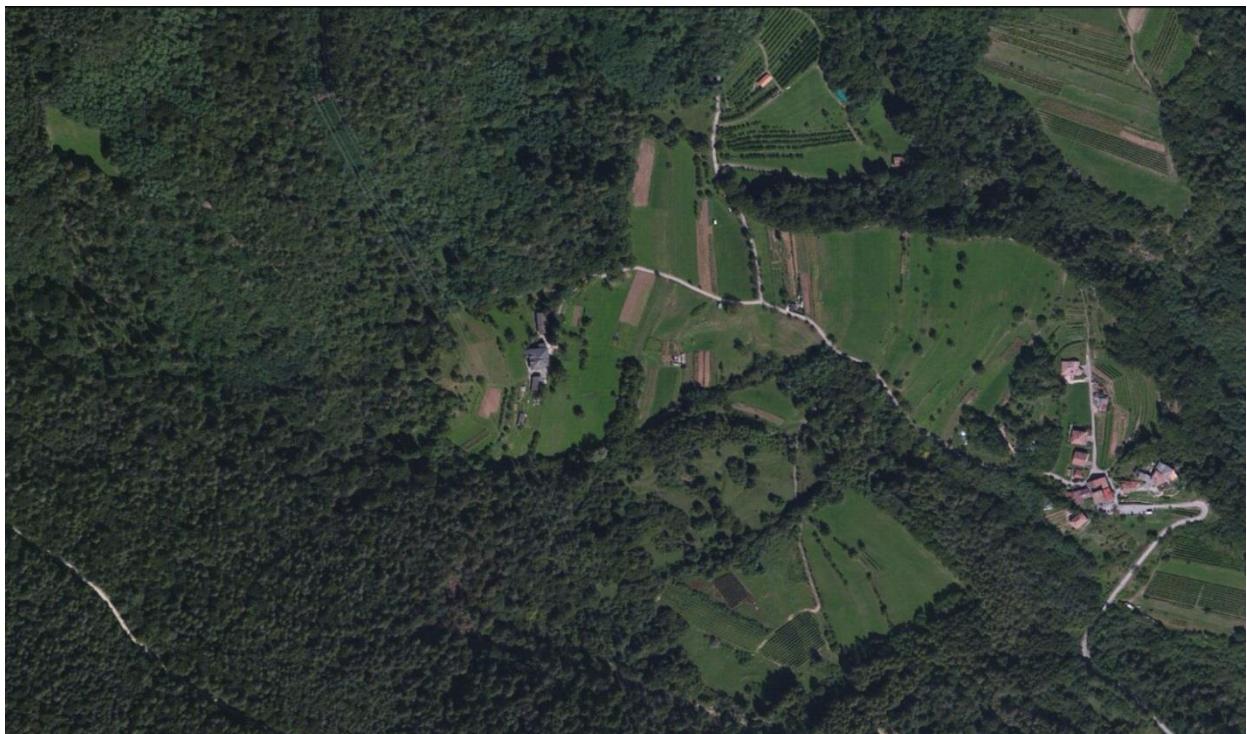


Figura 4: Vista satellitare d'inquadramento: sopralluogo 2.1

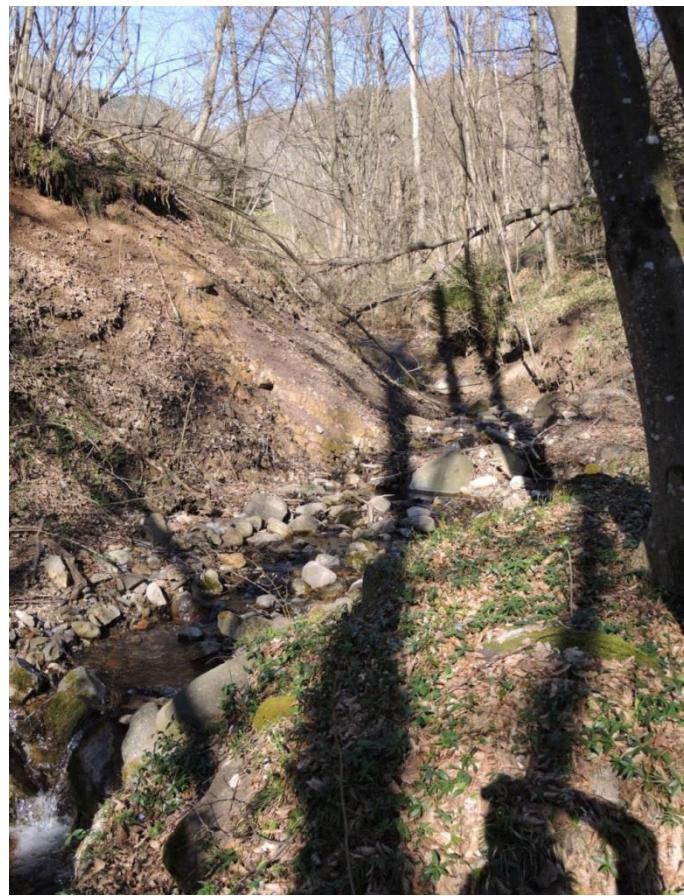


Figura 5: Rio Farinelli presso Località sopra Magnago



Figura 6: Rio Farinelli in ambiente boschivo

Di seguito si riportano immagini relative all'intervento antropico sul corso del torrente. Si ipotizza che tale intervento sia stato apportato al fine di controllare il flusso per la presenza di una strada nelle vicinanze.



Figura 7: Opera antropica sul Rio Farinelli



Figura 8: Vista dall'alto dell'opera

## 2.2 Località Magnago

<b>COORDINATE WGS84 (DD):</b>	<b>46,095763</b>
	<b>11,168402</b>
<b>QUOTA:</b>	<b>588,58 m s.l.m.</b>



Figura 9: Sentieri di Località Magnago

La Frazione o Località Magnago dista 1.66 km dal medesimo comune di Civezzano di cui essa fa parte e sorge a circa 590 m s.l.m.

Scendendo lungo la strada di Frazione Magnago poche centinaia di metri, si incontra un ponte al di sotto del quale è incanalato il torrente. In questa zona, come si può vedere dalle foto mostrate nella pagina successiva, la vegetazione si infittisce e presenta grande diversificazione delle specie.



Figura 10: Vista satellitare d'inquadramento: sopralluogo 2.2



Figura 11: Ponte presso Località Magnago



Figura 12: Particolare della vegetazione nei pressi del ponte

## 2.3 Frazione Mazzanigo

COORDINATE WGS84 (DD):	46,091122
	11,177317
QUOTA:	574,60 m s.l.m.

Si tratta di una zona prevalentemente agricola, situata tra Località Magnago e il centro di Civezzano. Il tratto analizzato si distingue per la presenza di prati sia in sponda destra che in quella sinistra. È inoltre caratterizzato dalla presenza di muri in cemento per la difesa spondale ed una serie di briglie poste a distanza ravvicinata, come si vede dalle immagini che seguono. In alveo crescono solo arbusti infestanti ed il substrato torna ad essere composto principalmente da ciottoli, strutture libere e mobili durante i fenomeni di piena.

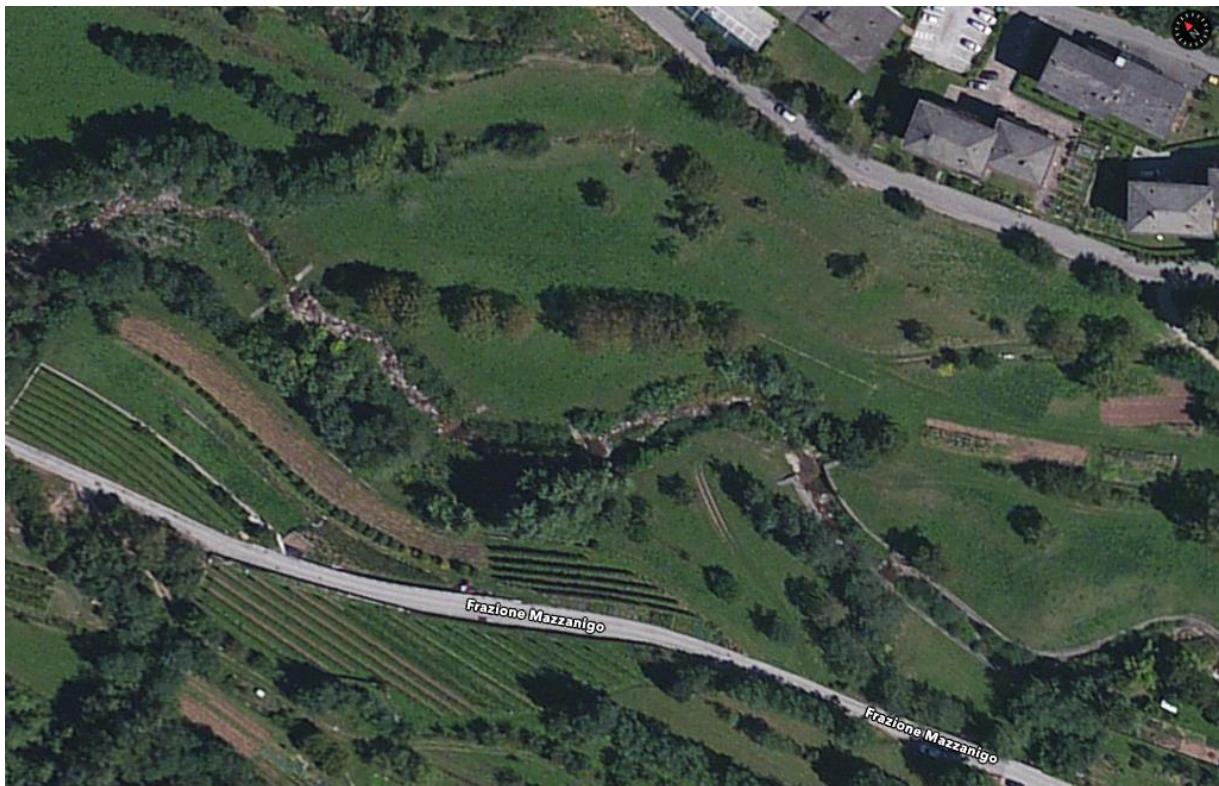


Figura 13: Vista satellitare d'inquadramento: sopralluogo 2.3

Dall'immagine satellitare si vedono chiaramente le briglie, opere di ingegneria naturalistica poste trasversalmente all'alveo, concepite per ridurre il trasporto di materiale solido di fondo da parte del corso d'acqua. Ogni briglia deve essere posta ad una determinata distanza dalla successiva, in modo tale da creare una pendenza di compensazione del flusso che permetta alla stessa di diminuire la pendenza dell'alveo, formando salti di fondo fino a ridurre la capacità erosiva del corso d'acqua a valori tali che il letto non venga eroso.



Figura 14: Rio Farinelli presso Località Mazzanigo



Figura 15: Particolare dell'alveo arginato da muri in cemento

## 2.4 Civezzano – Via Argentario

COORDINATE WGS84 (DD):	46,089242
	11,178848
QUOTA:	557,63 m s.l.m.

Questa zona del rio è caratterizzata per essere una cunettone. Si tratta di un alveo artificiale sufficientemente regolare, protetto con pietrame legato con malta o altro materiale non erodibile dalla corrente. Questo tipo di costruzione impedisce l'erosione dell'alveo e al tempo stesso diminuisce la scabrezza, causando un aumento della velocità di corrente che impedisce la deposizione di sedimenti, diminuendo inoltre gli effetti dovuti al calo di pendenza. Tale intervento, per ragioni di forte impatto ambientale e idraulico, è riservato solitamente alle zone di attraversamento dei centri abitati.

All'interno dell'alveo si è sviluppata una bordura di arbusti appartenenti a diverse specie.



Figura 16: Vista satellitare d'inquadramento: sopralluogo 2.4



Figura 17: Particolare del cunettone



Figura 18: Ponte sul Rio Farinelli nei pressi dell'abitato di Civezzano



Figura 19: Incanalamento all'interno dell'abitato di Civezzano



Figura 20: Particolare dell'alveo artificiale

## 2.5 Civezzano – Ponte stradale SP71

COORDINATE WGS84 (DD):	46,086402
	11,183070
QUOTA:	529,12 m s.l.m.

In questa zona il torrente torna ad essere privo di interventi antropici sull'alveo, fatta eccezione per il ponte dove passa la Strada Provinciale 71.

Sulle sponde, di altezza elevata e composizione terrosa, si trovano specie arbustive ed arboree di varia natura, mentre il fondo è composto da ciottoli e ghiaia.

Al momento del sopralluogo la quantità di acqua presente in alveo era molto ridotta.

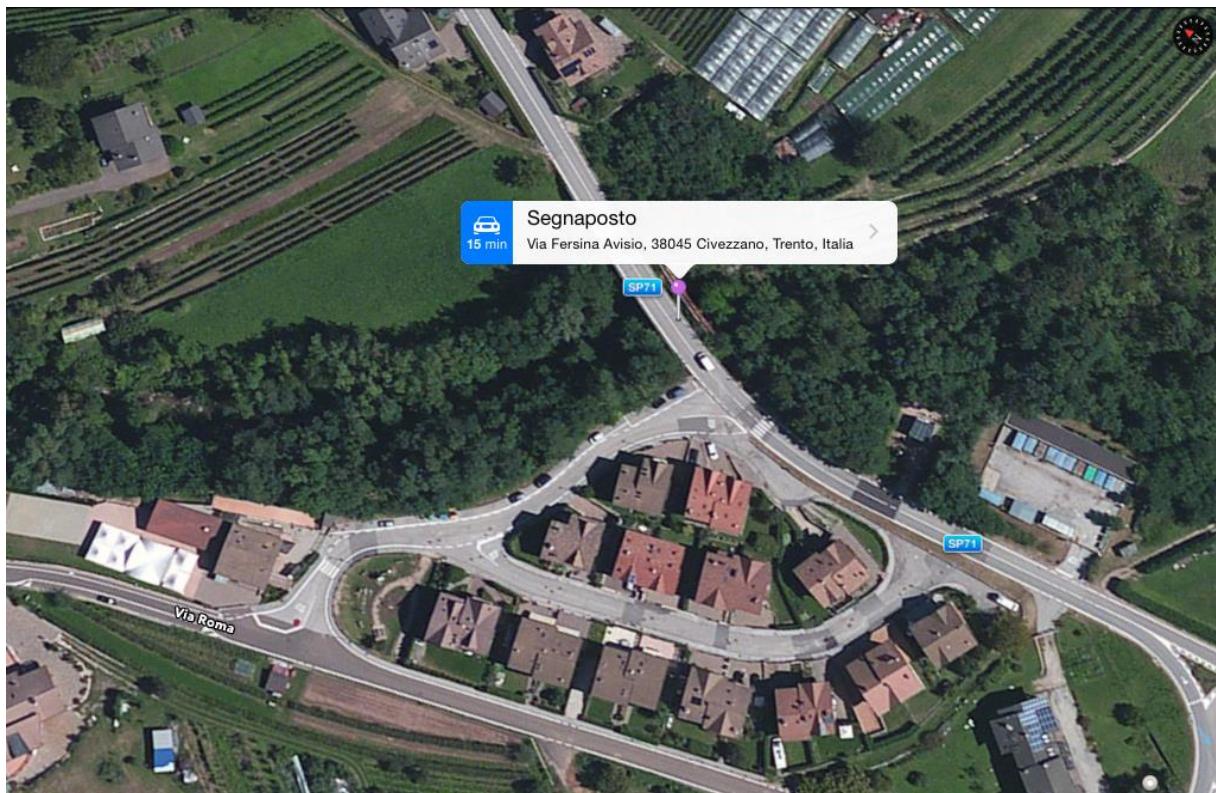


Figura 21: Vista satellitare d'inquadramento: sopralluogo 2.5

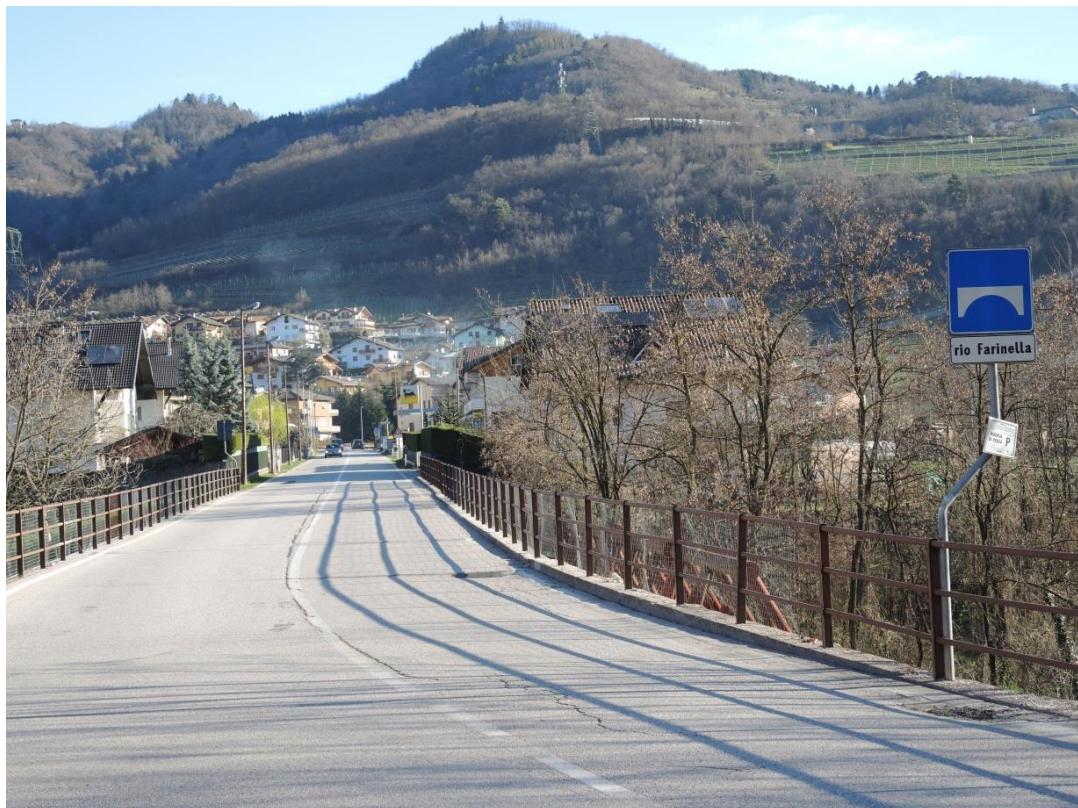


Figura 22: Strada Provinciale 71



Figura 23: Ponte della SP71 sotto il quale scorre Rio Farinelli



Figura 24: Elementi arborei ed arbustivi sulle sponde del rio



Figura 25: Particolare del fondo

## 2.6 Civezzano - Affluente Rio Santa Colomba

COORDINATE WGS84 (DD):	46,089167
	11,184964
QUOTA:	544,78 m s.l.m.

Proseguendo lungo la Strada Provinciale 71 (Via Fersina Avisio), all'incrocio con Via De Gasperi e la Strada Provinciale 17, si incontra un ulteriore ponte al di sotto del quale scorre Rio Santa Colomba, uno dei maggiori affluenti di Rio Farinelli insieme a Rio Negro, il quale non è stato considerato poiché non compreso nell'analisi del sottobacino in esame.

Rio Santa Colomba è localizzato ad est di Civezzano, mentre Rio Farinelli ad ovest del paese.

A Nord del ponte le sponde sono in muratura ed il fondo è costituito da ciottolato libero, mentre a Sud il corso viene incanalato su di un fondo semi-artificiale.

La vegetazione all'interno dell'alveo è assente.

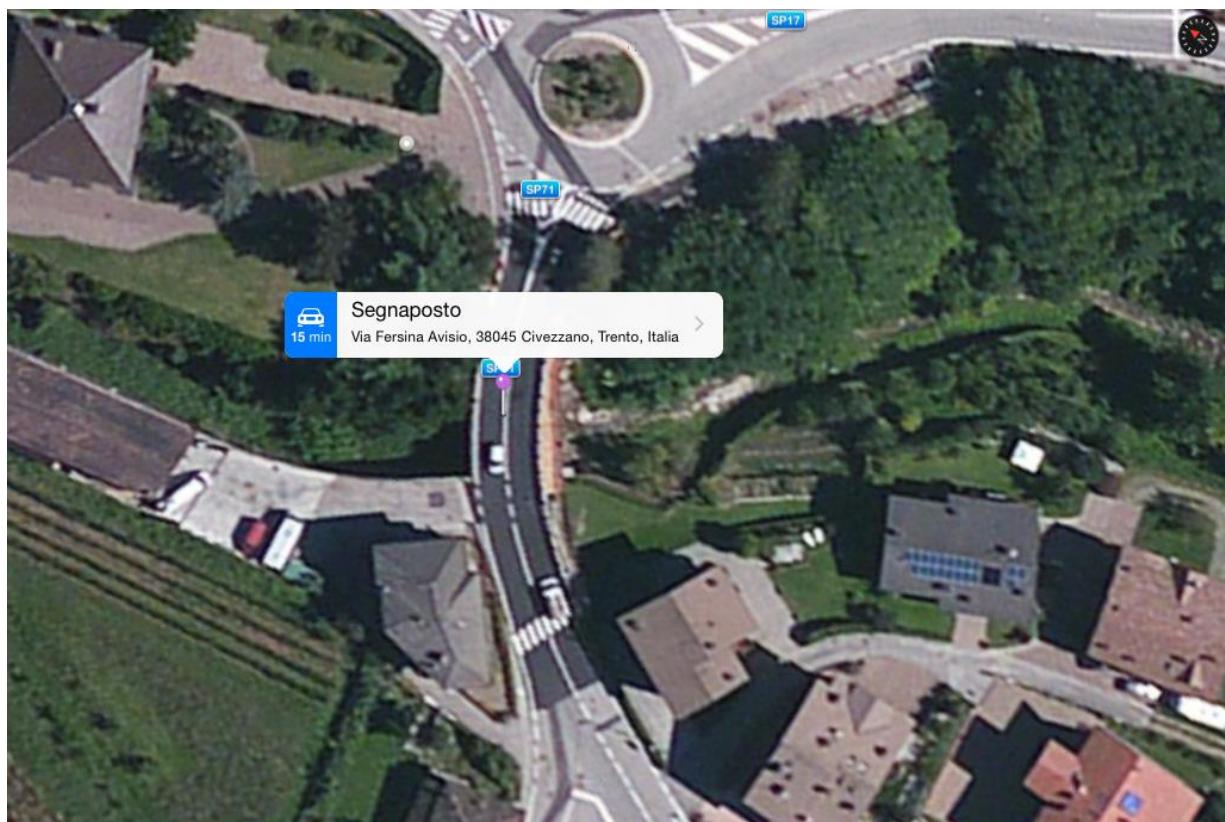


Figura 26: Vista satellitare d'inquadramento: sopralluogo 2.6



Figura 27: Ponte su Rio Santa Colomba

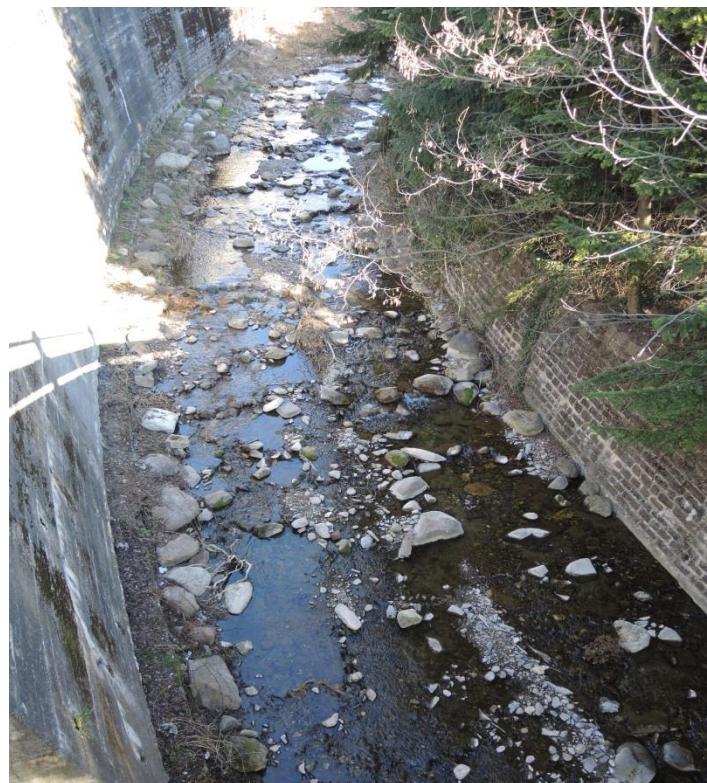


Figura 28: Visuale a Nord del ponte



Figura 29: Corso dell'affluente all'interno dell'abitato



Figura 30: Visuale a Sud del ponte

## 2.7 Località Slacche – Foce

COORDINATE WGS84 (DD): **46,081644**

**11,187245**

QUOTA: **430,70 m s.l.m.**

Rio Farinelli sfocia nel torrente Fersina come affluente di destra.

Nel punto d'incontro tra i due corsi d'acqua si crea una linea di demarcazione netta, visibile grazie alle diverse colorazioni, brunastra per il Rio Farinelli e grigiastra per il Fersina. In entrambi i casi i fondali sono costituiti da ciottoli, di dimensioni maggiori per il torrente Fersina.

In questa zona è situato un impianto di lavorazione dei calcestruzzi, che utilizza l'acqua di Rio Farinelli per l'impianto di betonaggio, come è visibile dalle immagini che seguono.



Figura 31: Vista satellitare d'inquadramento: sopralluogo 2.7



Figura 32: Strada che conduce all'impianto di betonaggio



Figura 33: Immissione di Rio Farinelli nel torrente Fersina



Figura 34: Linea di demarcazione fra i due torrenti



Figura 35: Vista satellitare del punto di confluenza tra i due corsi d'acqua

### 3. Analisi idro-geomorfologica con JGrass

Per poter condurre l'analisi idrologica digitale di un bacino idrografico è necessario inizialmente reperire la cartografia digitale dell'area in esame. Ciò è stato possibile grazie all'ausilio del *Mapserver* dell'Università di Trento, dal quale è stato scaricato il DTM (Modello Digitale del Terreno) ad una risoluzione di 10 x 10 metri, oltre alle mappe vettoriali di idrografia e bacini.

Dopo la creazione della Location, nel sistema di riferimento Roma40 e proiezione Gauss-Boaga, è stato possibile importare i fogli del DTM che sono stati scaricati.

Per l'elaborazione è stato impiegato il Sistema di Informazione Geografica Open-Source *QGIS*, nella versione 2.6.0, unitamente allo strumento *STAGE* 0.7.0, anch'esso libero e Open-Source. All'interno di *STAGE* i *JGrassTools* utilizzati per questa analisi sono la *Horton Machine*, il *Raster Processing* e il *Vector Processing*.

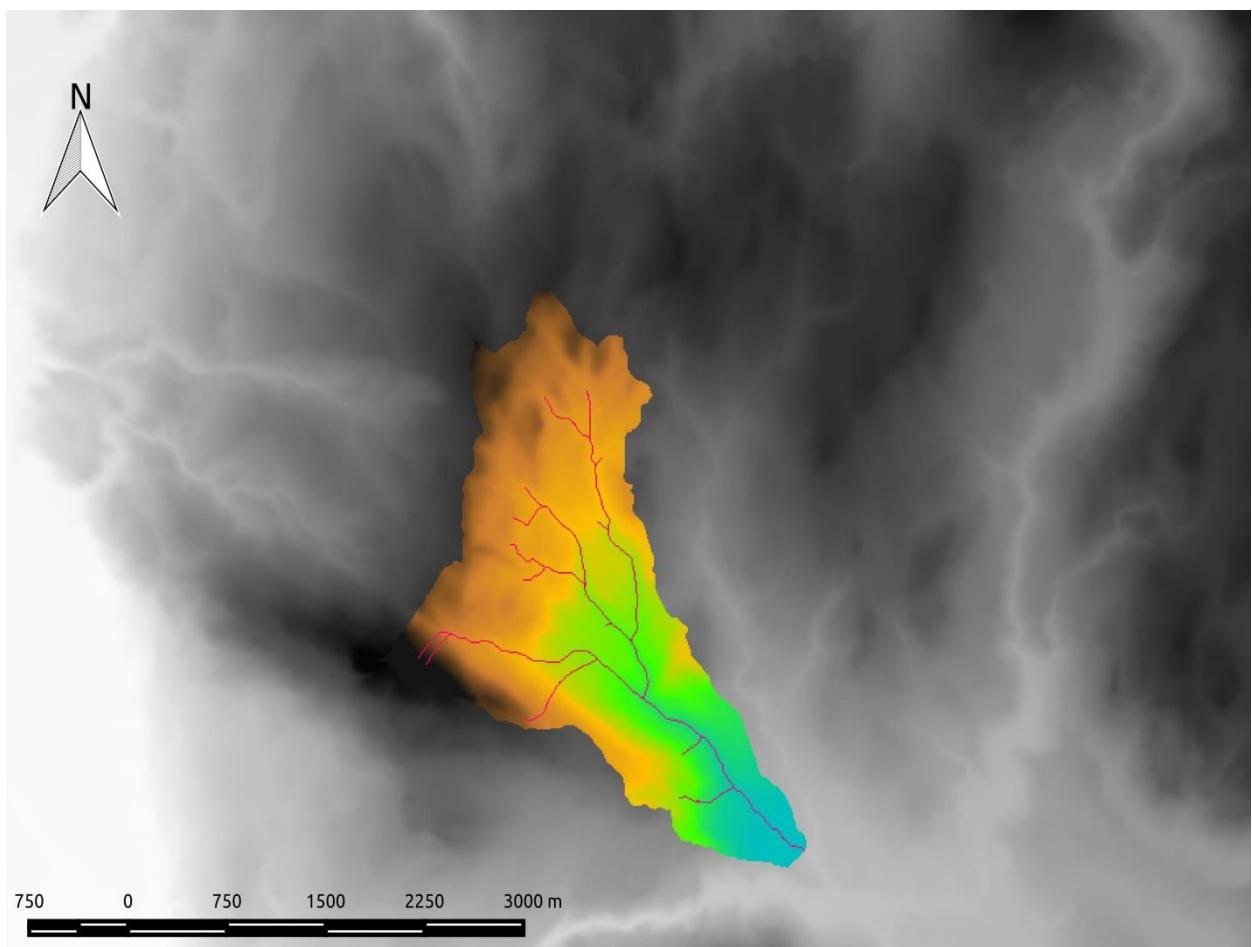


Figura 36: Quadro d'insieme del Rio Farinelli elaborato dal DTM

### 3.1 Mosaic12

Per ottenere una mappa unica del DTM a partire dai fogli scaricati, è stato quindi utilizzato il comando *Mosaic12* del *Raster Processing*, che richiede in input l'inserimento dei singoli fogli in formato .asc. Nel caso in esame i fogli sono quattro.

### 3.2 Pitfiller

Una volta ottenuto il DTM sono stati eliminati gli eventuali punti di depressione al fine di calcolare le direzioni di drenaggio. Per fare ciò è stato necessario selezionare dallo Spatial Toolbox, all'interno della cartella *Horton Machine*, la sottocartella *Dem Manipulation* (che consente di svolgere analisi preliminari sui modelli digitali del terreno), e quindi il comando *Pitfiller*.

Solitamente si tratta di punti di depressione che derivano da calcoli errati svolti durante la fase di creazione del DTM, e dunque non realmente presenti, ma che ostacolano il calcolo delle effettive direzioni di drenaggio in ogni punto.

Per la distribuzione delle quote sull'area in esame si veda il paragrafo 4.1 a pagina 61.

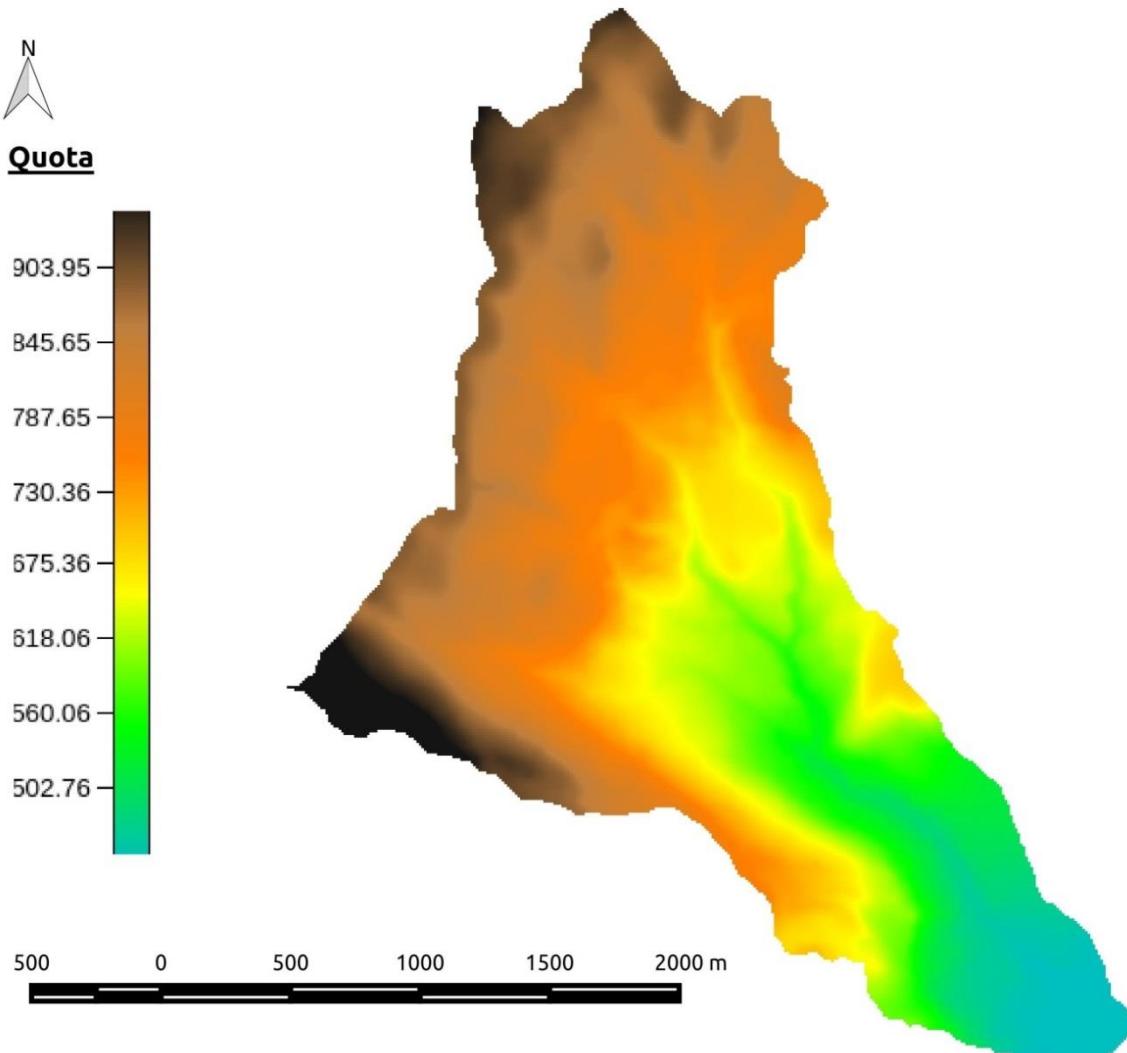


Figura 37: Mappa ottenuta tramite il comando *Pitfiller*

### 3.3 FlowDirections

A questo punto è possibile determinare le direzioni di drenaggio per ogni pixel, ovvero come si muove l'acqua sulla superficie in relazione alla topografia che caratterizza la regione di studio. Si procede alla discretizzazione del territorio, basata sull'ipotesi che ogni cella drena solo in una delle otto ad essa adiacenti (soprastanti, sottostanti o diagonali), nella direzione di massima pendenza, secondo lo schema D8. Nella mappa di output quindi ogni punto assumerà un valore compreso tra 1 e 8, dove 1 corrisponde alla direzione est, 3 alla direzione nord, 5 a quella ovest e 7 alla direzione sud.

Ad eseguire questo calcolo è il comando *FlowDirections*, che si trova nella sottocartella *Geomorphology* della *Horton Machine*.

Questo modello ha dei limiti: provoca infatti un deviazione del flusso rispetto al percorso effettivamente seguito dall'acqua durante la discesa da monte verso valle, deviazione che dovrà essere opportunamente corretta.

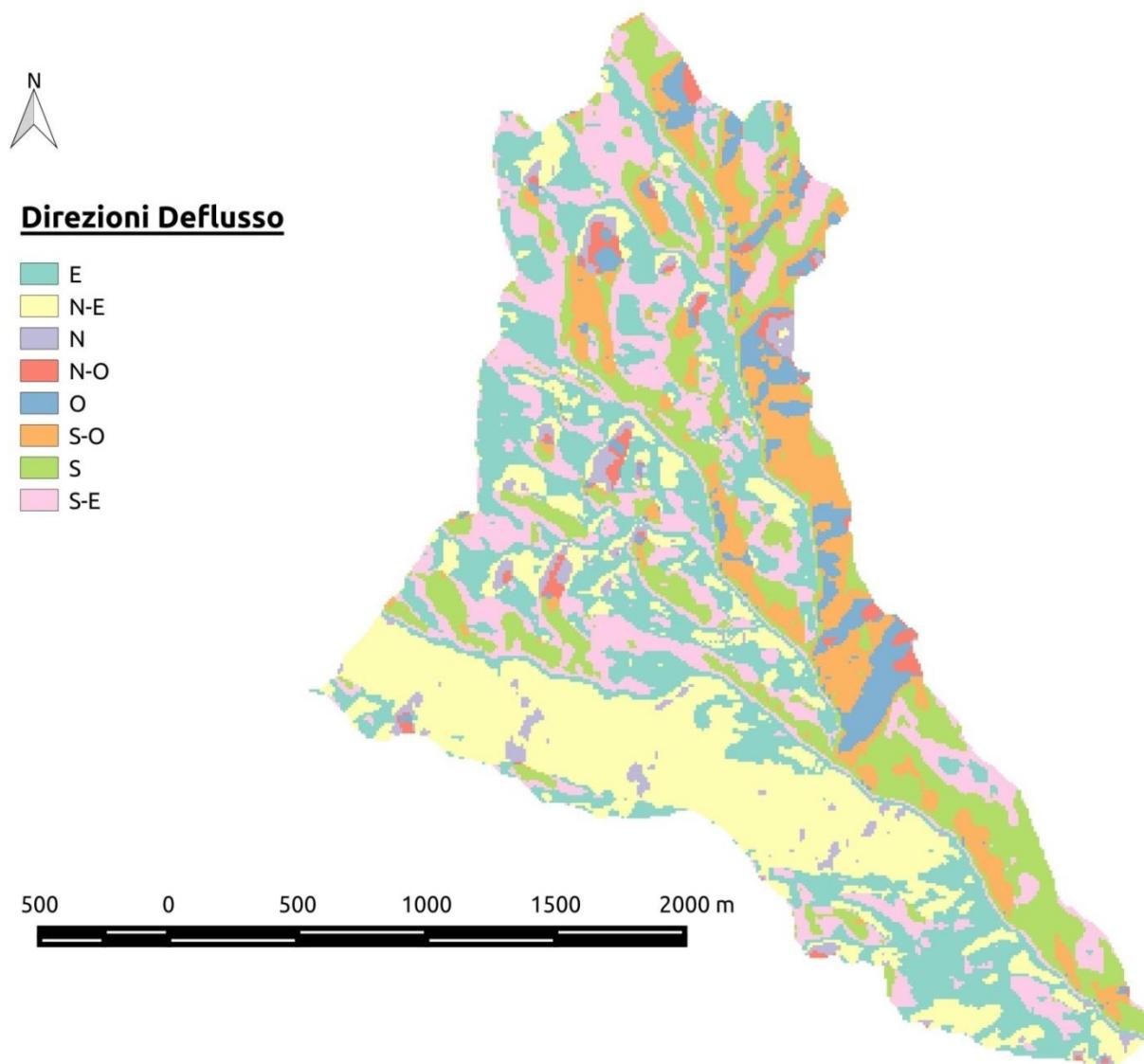


Figura 38: Mappa ottenuta tramite il comando *FlowDirections*

### 3.4 DrainDir

*DrainDir* è il comando impiegato per correggere la deviazione del flusso d'acqua durante la discesa da monte verso valle calcolata tramite *FlowDirections*. Esso consente di ricalcolare tale percorso apportando una correzione mediante un algoritmo che minimizza la deviazione. Ciò è possibile tramite due differenti metodi: LAD method, che considera la deviazione angolare, e LTD method, che considera invece quella trasversale. In input viene quindi richiesto di attribuire un valore compreso tra 0 e 1 al parametro  $\lambda$ , che permette di assegnare un peso alla correzione apportata, e di specificare il metodo da utilizzare per eseguire il calcolo. In questo caso è stato utilizzato il primo metodo, assegnando a  $\lambda$  il valore 1.

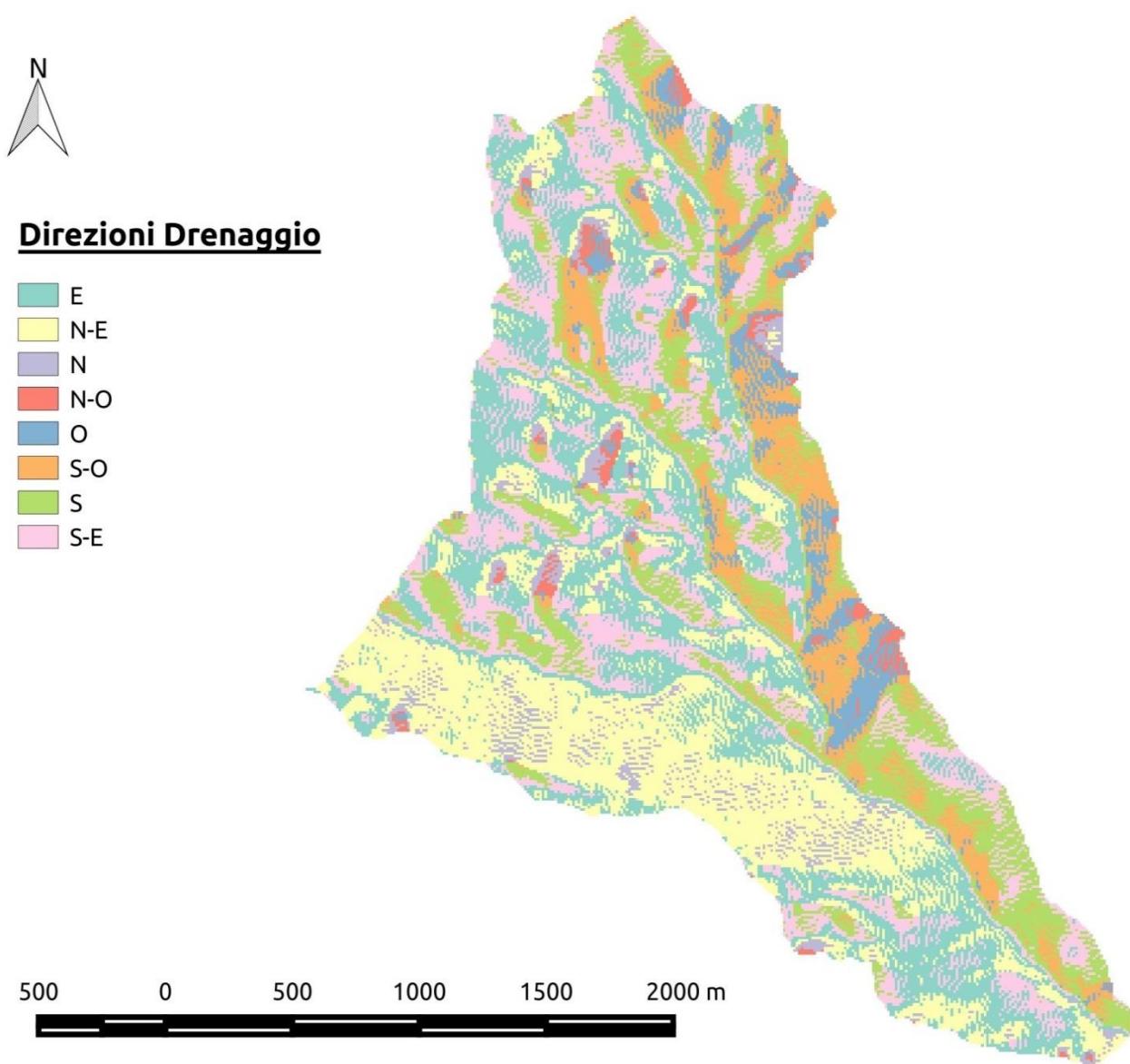


Figura 39: Mappa delle direzioni di drenaggio ottenuta tramite il comando *DrainDir*

Il comando *DrainDir* inoltre restituisce in output anche la mappa delle aree contribuenti, che rappresentano la proiezione sul piano orizzontale delle aree che afferiscono ad un punto del bacino, alternativamente ottenibile tramite l'apposito comando *Tca* (*Total Contributing Area*) della sottocartella *Geomorphology* della *Horton Machine*.

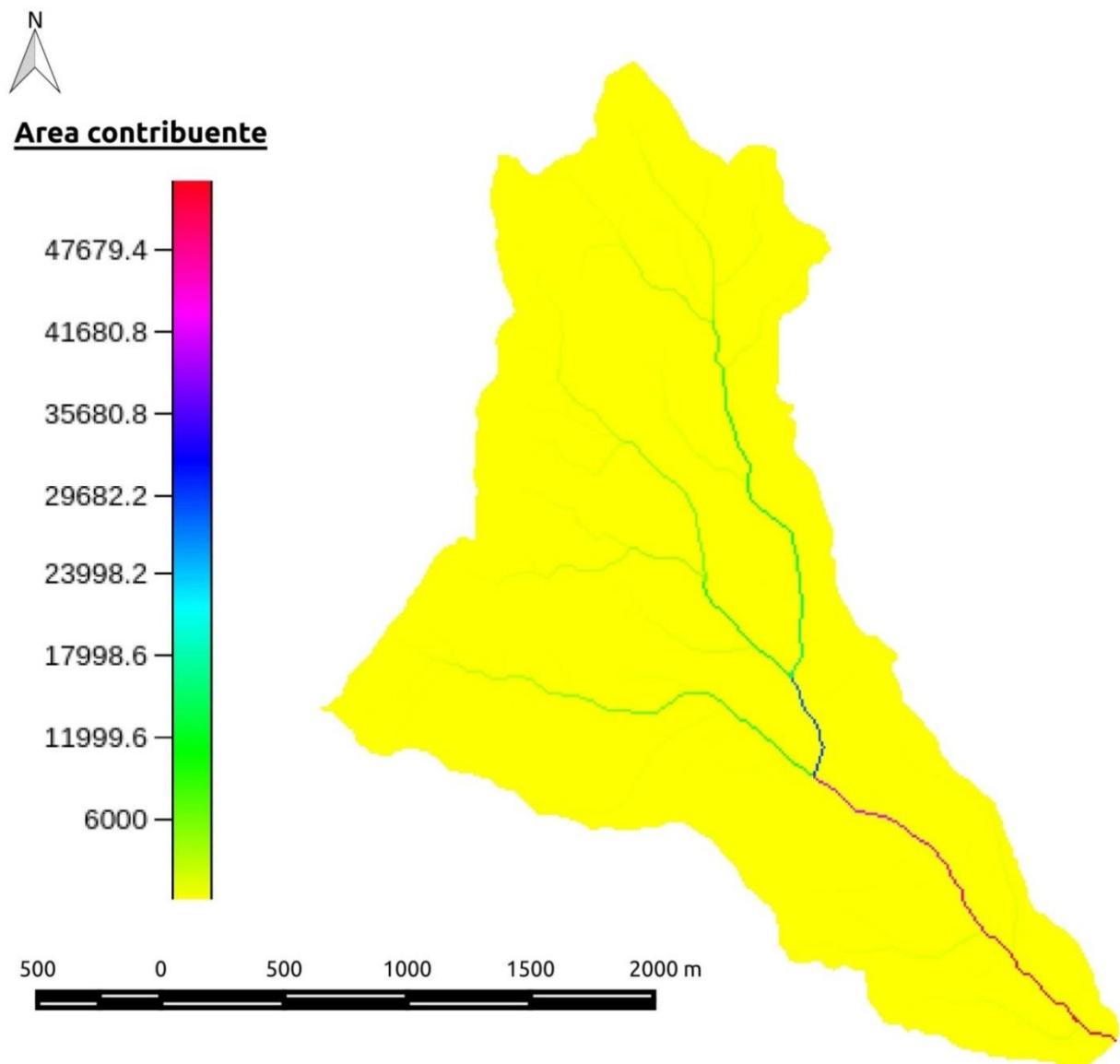


Figura 40: Mappa delle aree contribuenti ottenuta tramite il comando *DrainDir*

Visto l'ordine di grandezza dei valori restituiti, risulta più opportuna ed efficace una visualizzazione in scala logaritmica. Questo passaggio è possibile tramite il comando *Mapcalc* del *Raster Processing*, impiegato per eseguire operazioni logico-aritmetiche su mappe raster.

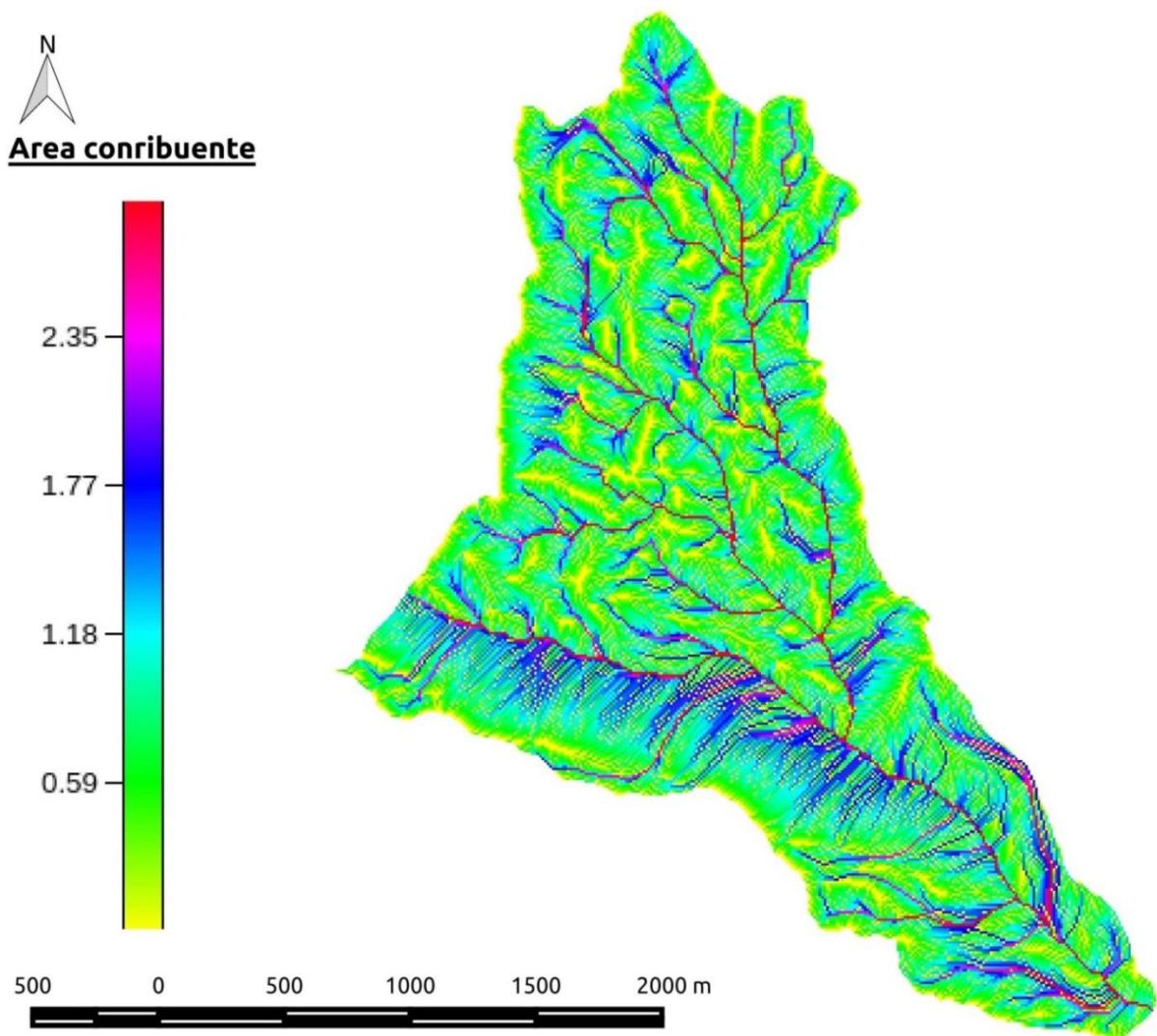


Figura 41: Mappa delle aree contribuenti ottenuta tramite il comando *DrainDir*, in scala logaritmica

### 3.5 Markoutlets

Il comando *Markoutlets*, che si trova all'interno della cartella *Dem Manipulation* della *Horton Machine*, consente di contrassegnare con il valore 10, nella mappa che rappresenta le direzioni di drenaggio calcolate tramite *DrainDir*, le uscite (outlets) del bacino, ovvero quei pixel che drenano al di fuori dell'area in esame. Seguendo le direzioni di drenaggio, si arriva infatti sul bordo del DTM; i punti sul bordo rappresentano la chiusura di un bacino idrografico. *Markoutlets* individua proprio questi punti, sostituendo a tutte le uscite il valore convenzionale 10 al posto della direzione di drenaggio preesistente.

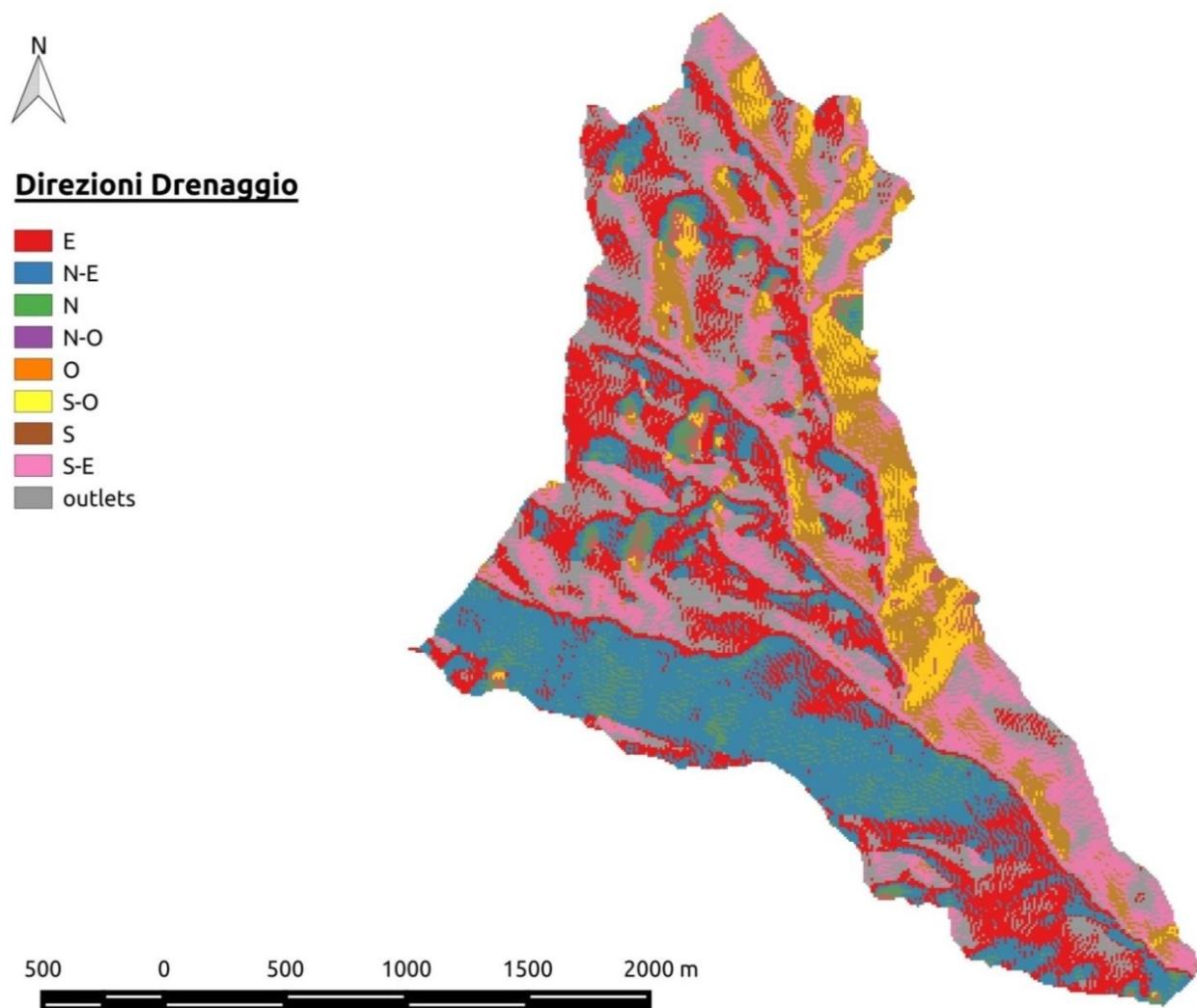


Figura 42: Mappa ottenuta tramite il comando *Markoutlets*

### 3.6 ExtractNetwork

Si può procedere all'estrazione del reticolo idrografico utilizzando uno dei tre seguenti metodi: uno basato sulle aree contribuenti, un secondo riguardante il prodotto tra aree contribuenti e gradiente, ed un terzo sulle curvature. In questo caso il calcolo è stato eseguito seguendo il primo metodo, che prevede la determinazione di una soglia sulle aree contribuenti, scelta in base alle caratteristiche del territorio ed alla risoluzione della mappa. Si è assunto così che tutti i pixel con valore di area contribuente maggiore di quello di soglia contengono un canale. Il comando atto a svolgere questo processo è *ExtractNetwork*, contenuto nella cartella *Network*, che assegna il valore 2 ai punti appartenenti ai canali, mentre valore nullo a tutti gli altri. Nel caso in esame si è attribuito un valore di area limite pari a 100 pixel.

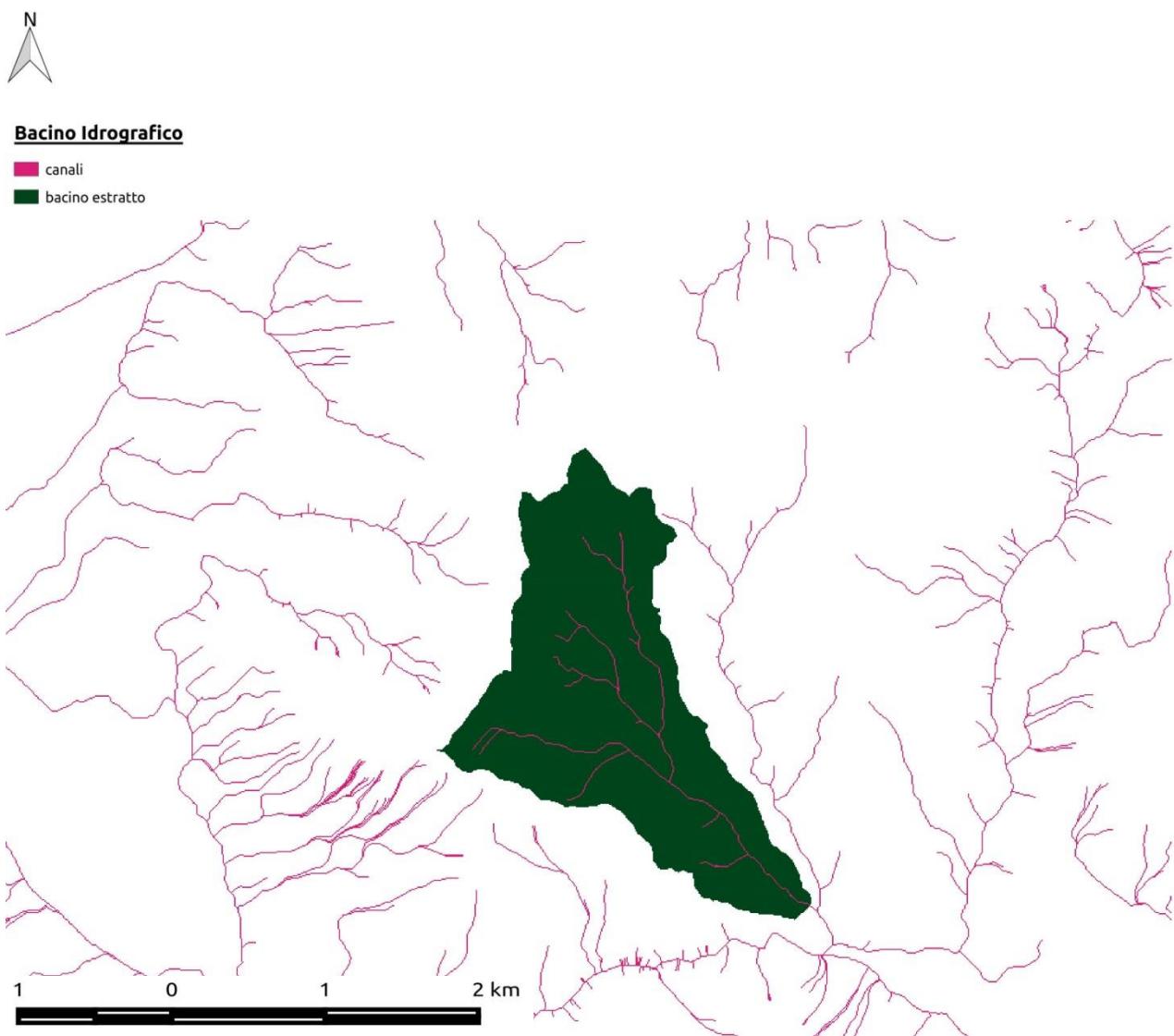


Figura 43: Mappa ottenuta tramite il comando *ExtractNetwork*

### 3.7 Slope

Per estrarre il reticolo idrografico tramite il secondo metodo illustrato sopra, è necessaria un'ulteriore mappa in input, oltre a quella delle direzioni di drenaggio e delle aree contribuenti trovate in precedenza. Si tratta della mappa delle pendenze della superficie del bacino in ogni punto lungo le direzioni di drenaggio, individuata mediante il comando *Slope* di *Geomorphology*. Esso calcola la differenza di quota tra un pixel e quello immediatamente adiacente a valle, la divide per la dimensione del pixel, e restituisce in output la tangente dell'angolo rappresentante la pendenza, ovvero  $\gamma = \arctan \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ .

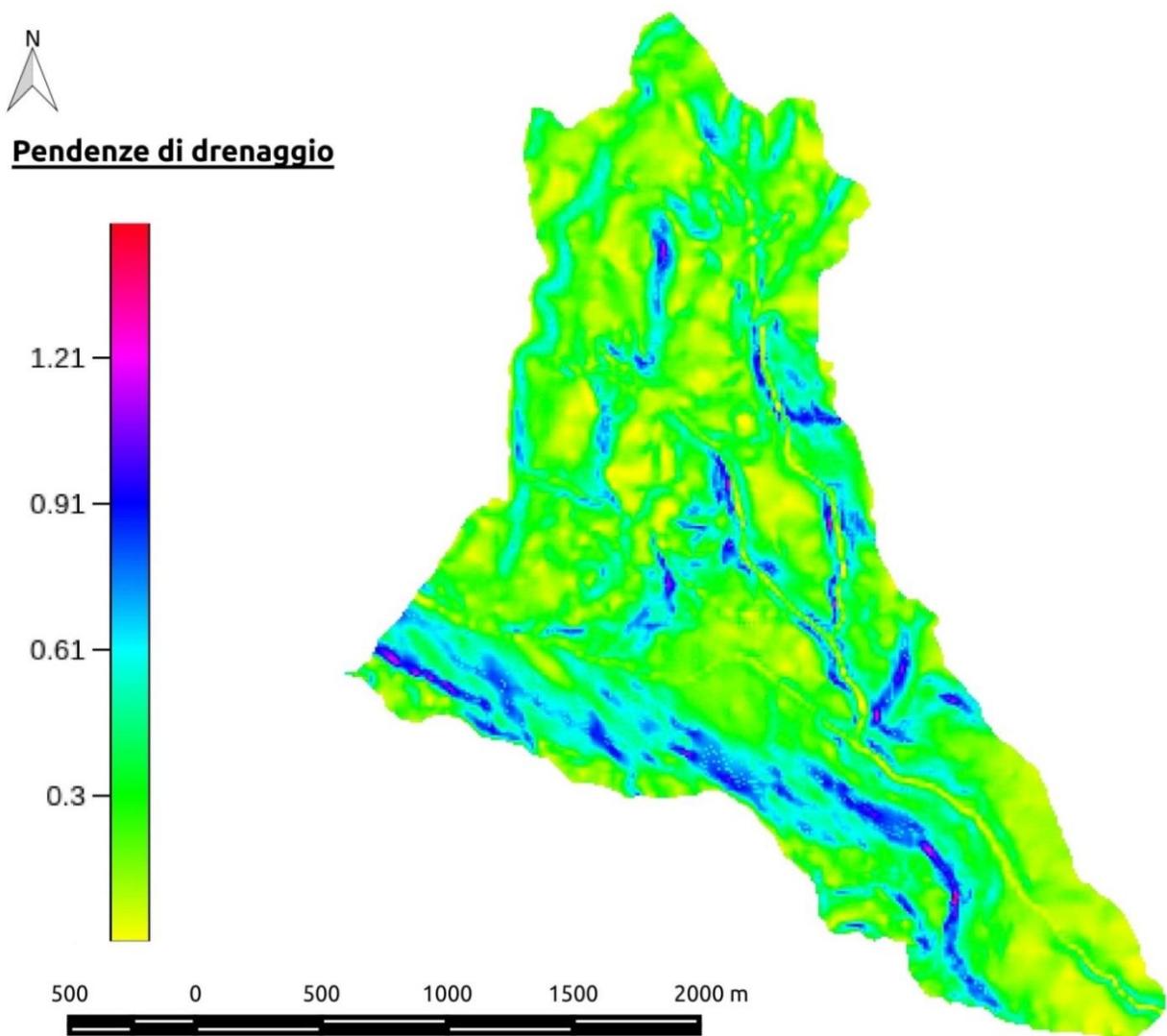


Figura 44: Mappa ottenuta tramite il comando *Slope*

A questo punto è possibile riavviare il comando *ExtractNetwork*. Nelle elaborazioni che seguono è stato assegnato in prima approssimazione il valore di area limite pari a 10 pixel, in seconda approssimazione pari a 20 pixel ed infine pari a 30. I risultati ottenuti mostrano che l'approssimazione migliore dell'idrografia ufficiale è quella con 10 pixel.

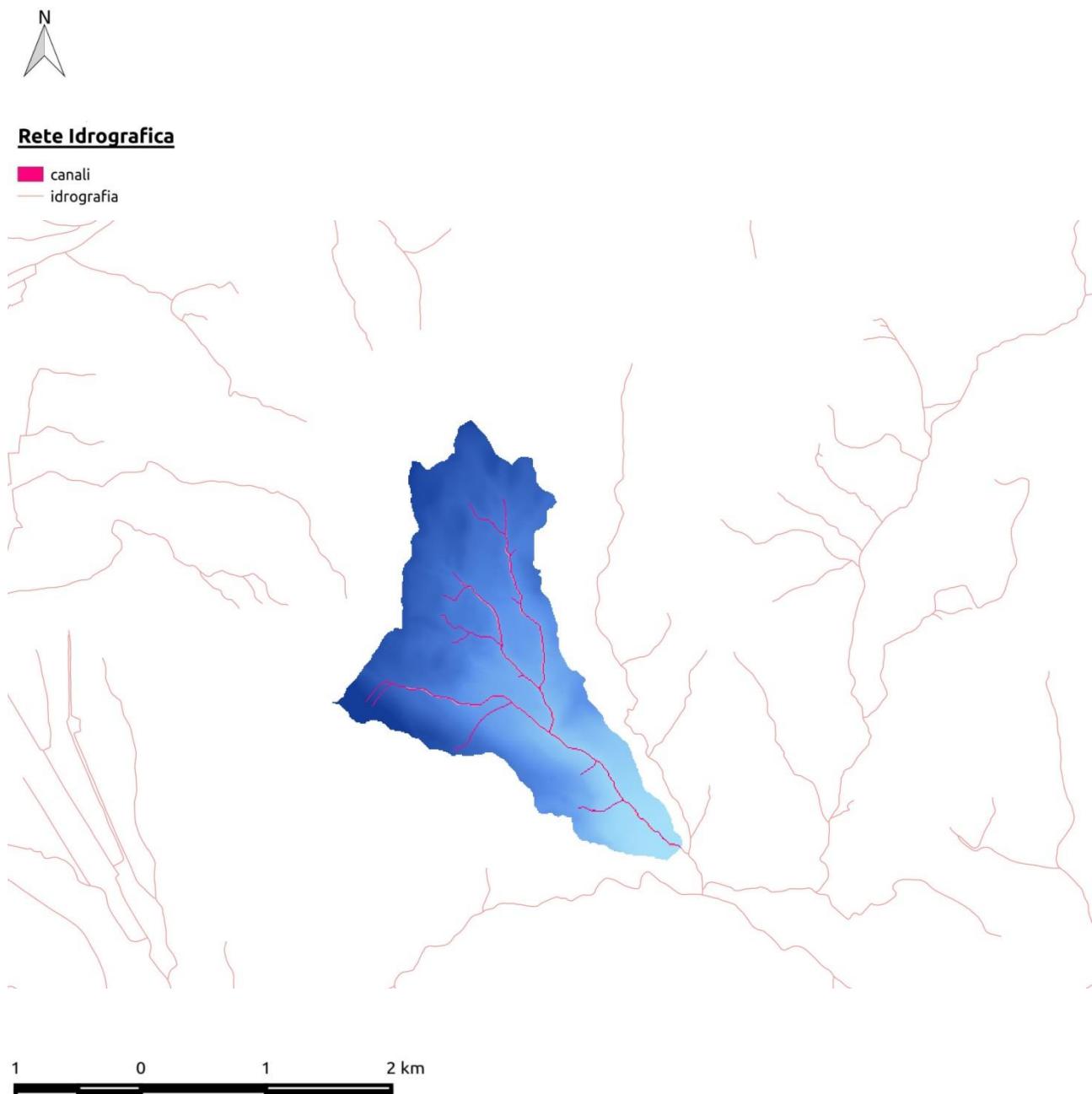
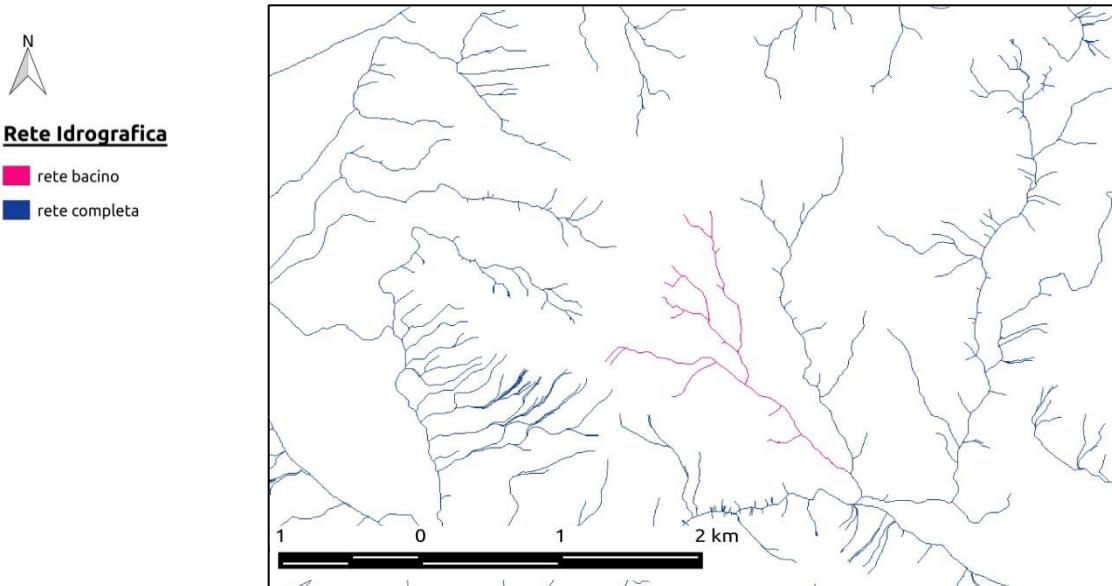
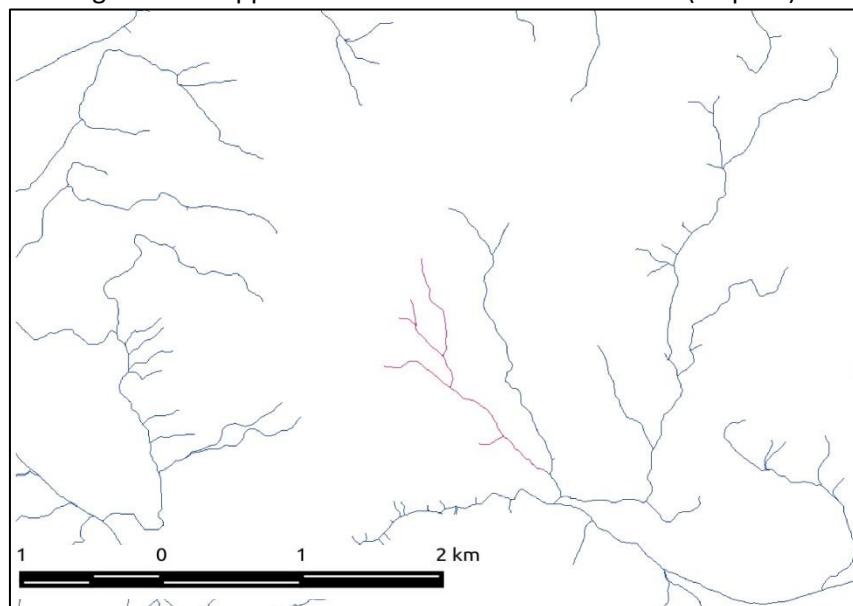
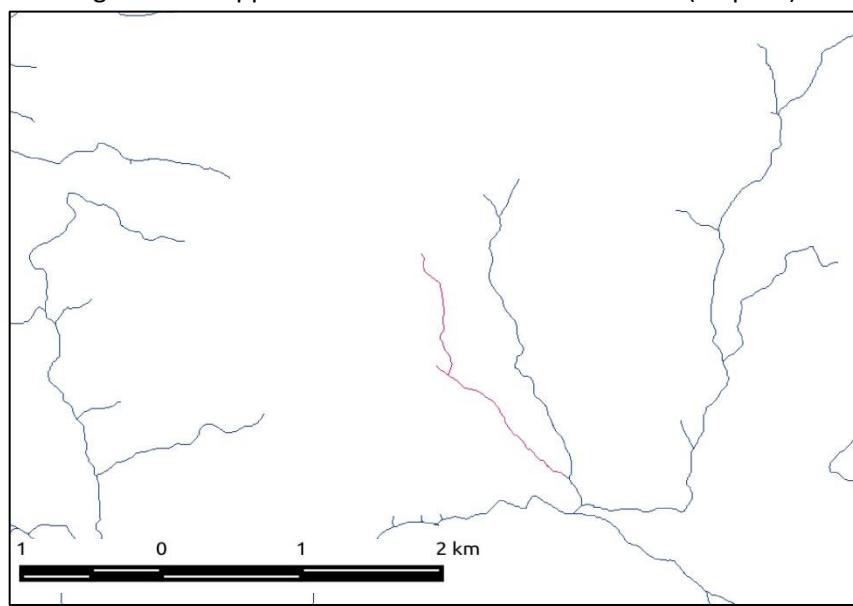


Figura 45: Mappa ottenuta tramite il comando *ExtractNetwork* (10 pixel), a confronto con l'idrografia ufficiale

Figura 46: Mappa ottenuta tramite *ExtractNetwork* (10 pixel)Figura 47: Mappa ottenuta tramite *ExtractNetwork* (20 pixel)Figura 48: Mappa ottenuta tramite *ExtractNetwork* (30 pixel)

### 3.9 Gradient

Il comando *Gradient*, che si trova nella sottocartella *Geomorphology* della *Horton Machine*, calcola le direzioni di massima pendenza in ogni punto dell'area in esame. Il gradiente della funzione che descrive la quota è definito come il vettore che ha come componenti le derivate parziali della funzione stessa, ovvero  $\nabla z = (fx; fy)$ .

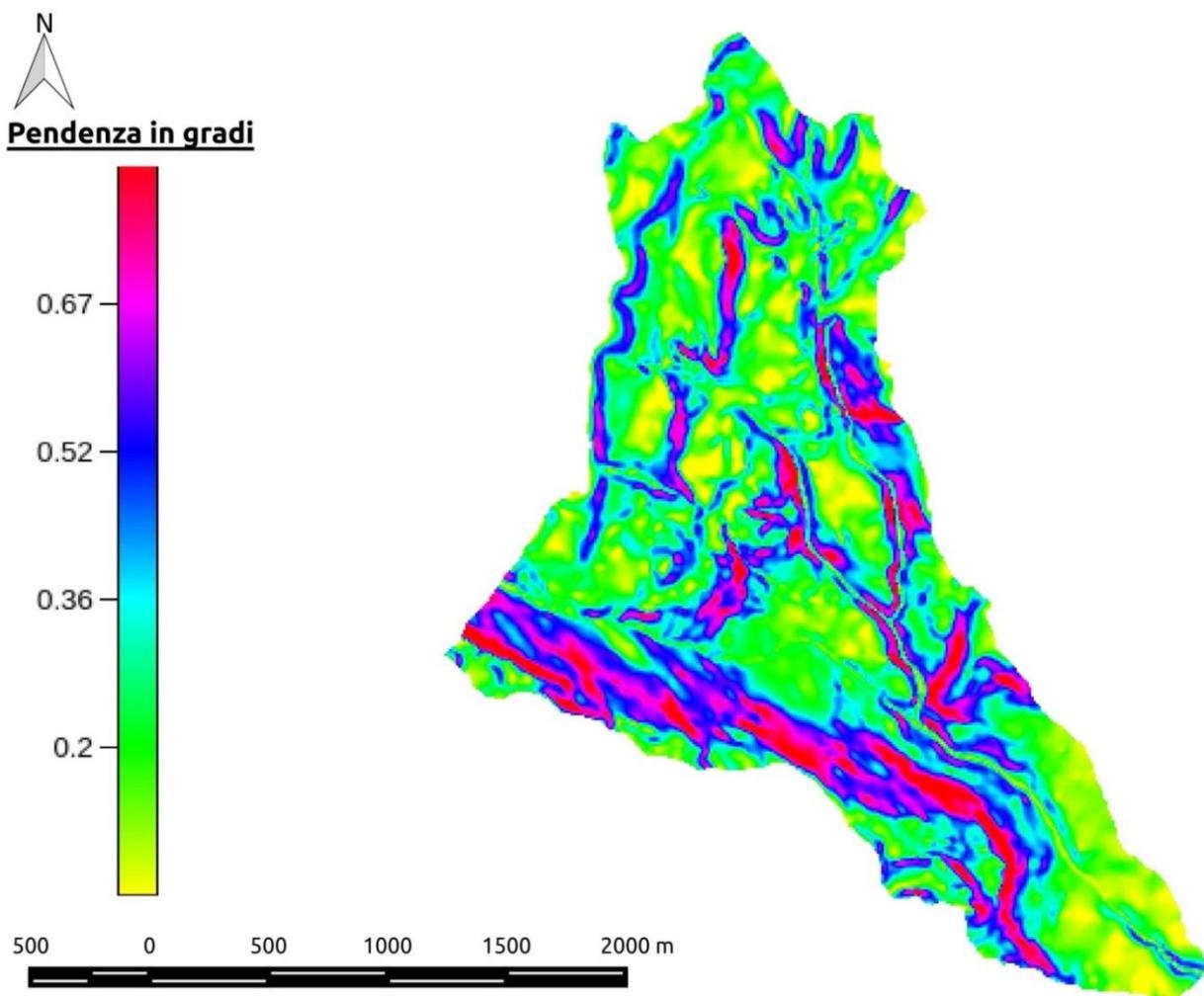


Figura 49: Mappa ottenuta tramite il comando *Gradient*

### 3.10 Aspect

Il comando *Aspect* calcola l'esposizione in ogni punto, che è definita come la direzione del gradiente rispetto al Nord o all'Est in relazione al riferimento utilizzato, ovvero  $\alpha = \arctan\left(\frac{f_y}{f_x}\right)$ . La grandezza è dipendente dall'orientazione e fornisce informazioni circa la direzione verso cui tende il versante. È collocato all'interno della sottocartella *Geomorphology* della *Horton Machine*.

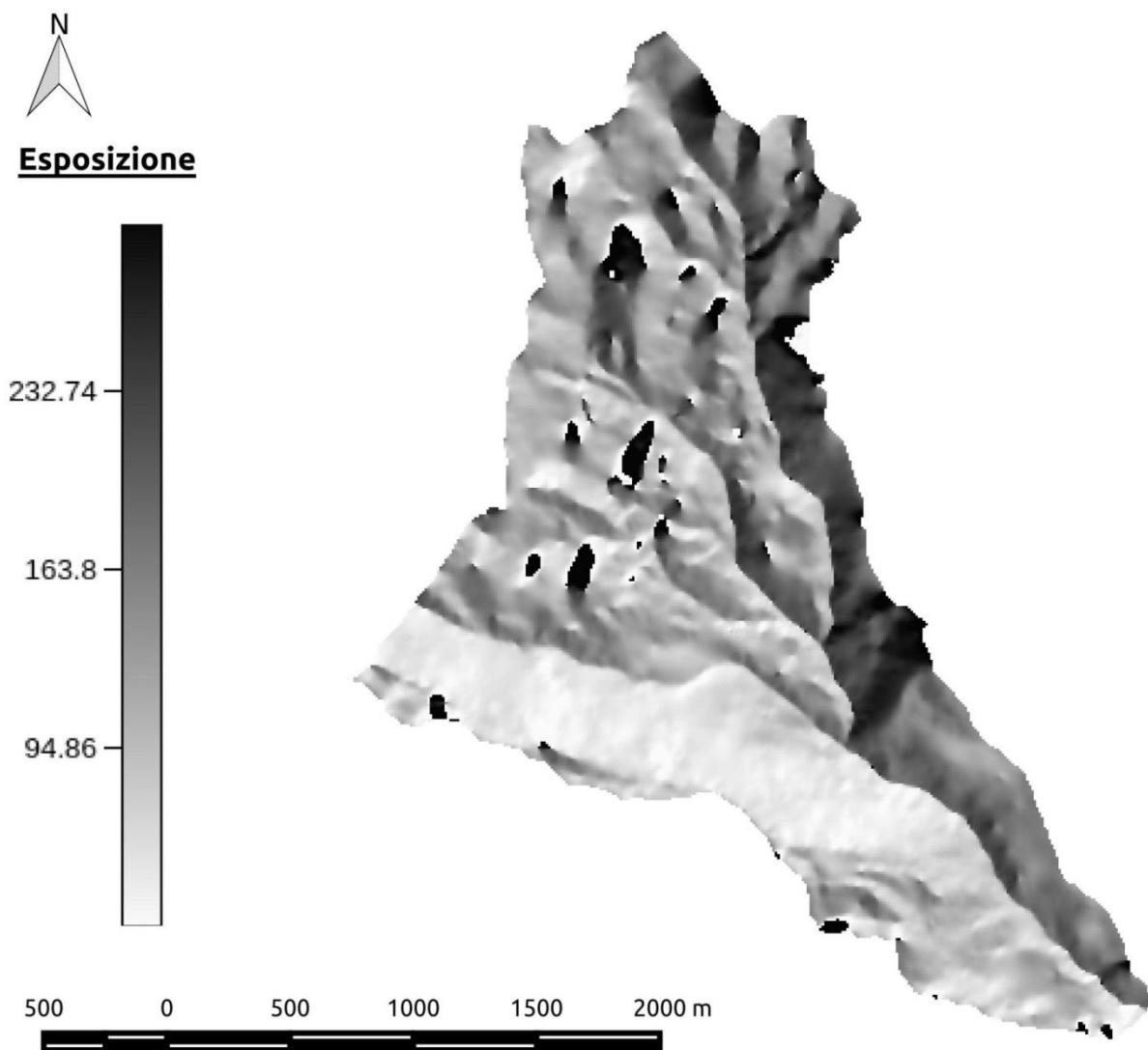


Figura 50: Mappa ottenuta tramite il comando *Aspect*

### 3.11 Curvatures

Il terzo ed ultimo metodo per l'estrazione del reticolo idrografico si basa sulla considerazione dei soli punti concavi come appartenenti al canale. Per individuarli è necessario calcolare prima la curvatura tangenziale, longitudinale e planare dell'area in esame, tramite il comando *Curvatures* della sottocartella *Geomorphology*. Le curvature rappresentano la deviazione del vettore gradiente per unità di lunghezza lungo particolari curve tracciate sulla superficie.

La curvatura longitudinale rappresenta la deviazione del vettore gradiente andando da valle verso monte. Mette in evidenza le valli: assume cioè valori più alti lungo i corsi d'acqua, come si vede nella mappa che segue.

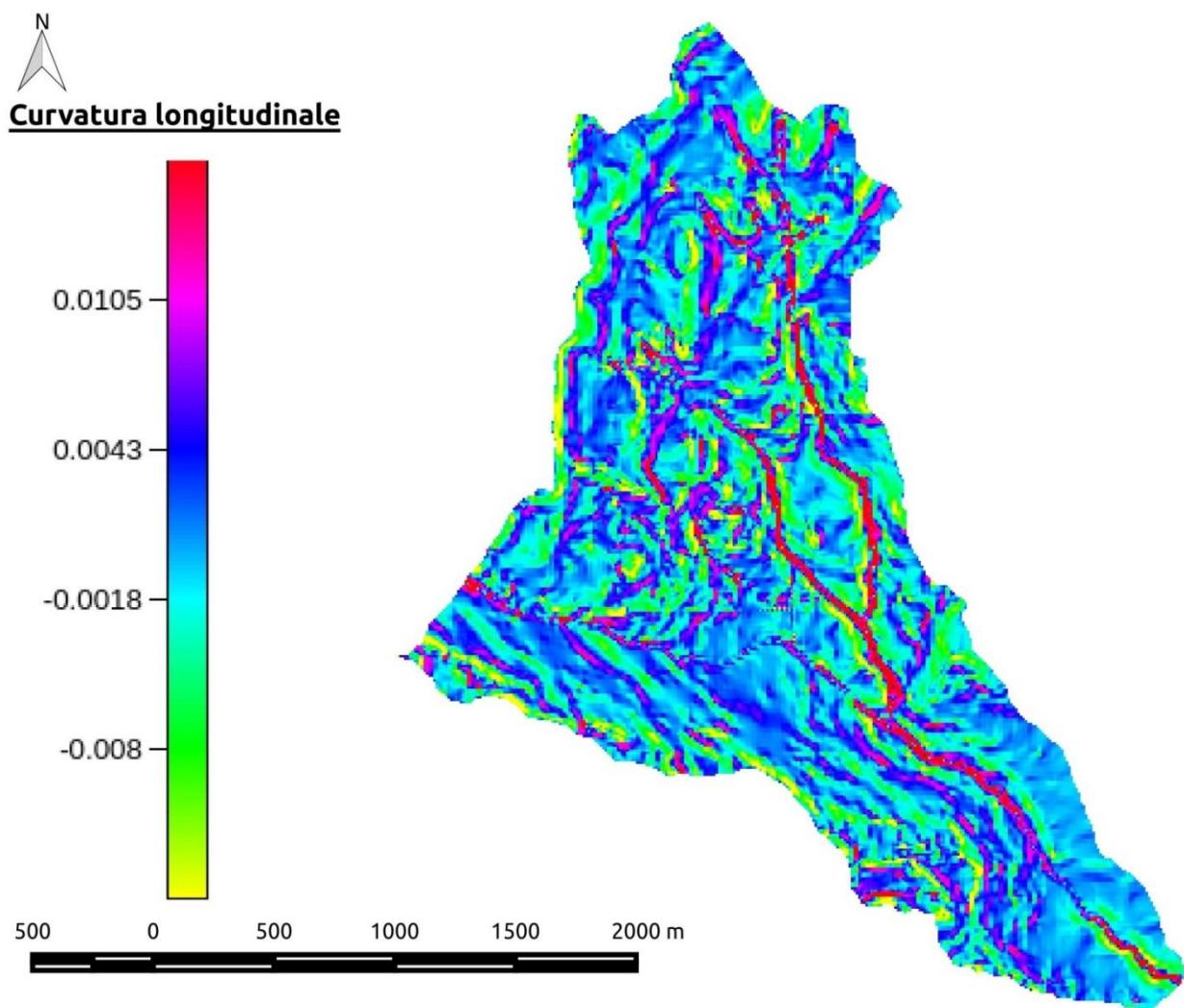


Figura 51: Mappa delle curvature longitudinali ottenuta tramite il comando *Curvatures*

La curvatura tangenziale o normale è determinata sulla curva di intersezione tra un piano perpendicolare alla direzione del gradiente e tangente alle linee di livello nel punto considerato. Si notano valori positivi di curvatura longitudinale (evidenziati in rosso) in corrispondenza del reticolo idrografico, cioè nelle valli scavate dai torrenti. In questo caso si tratta di una topografia concava.

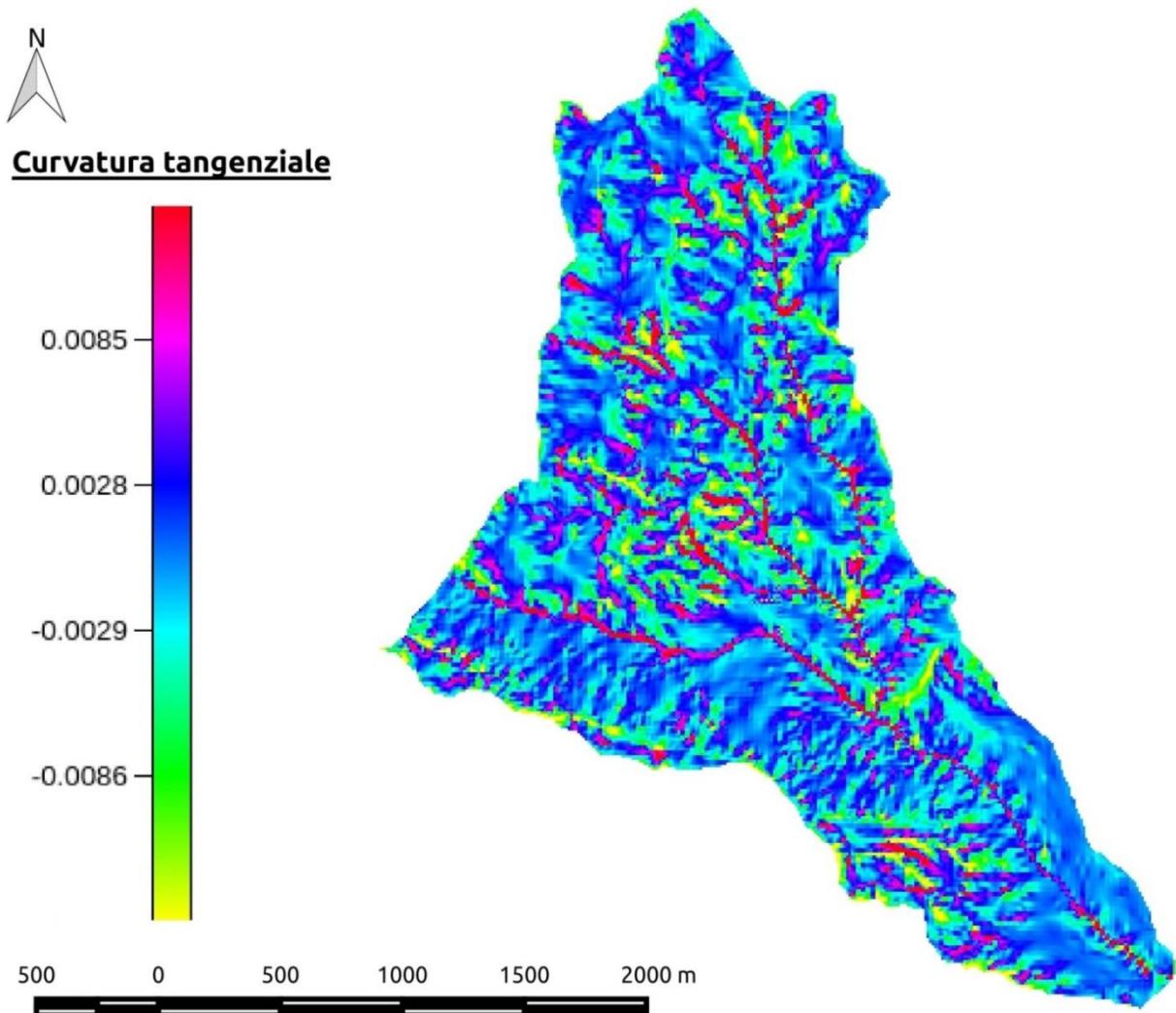


Figura 52: Mappa delle curvature tangenziali ottenuta tramite il comando *Curvatures*

La curvatura planare è la variazione dei vettori tangentи alle linee di livello passanti per il punto in esame e misura la convergenza (se valori positivi) o la divergenza (se valori negativi) del flusso. Nei punti del reticolo la topografia tende ad essere convergente.

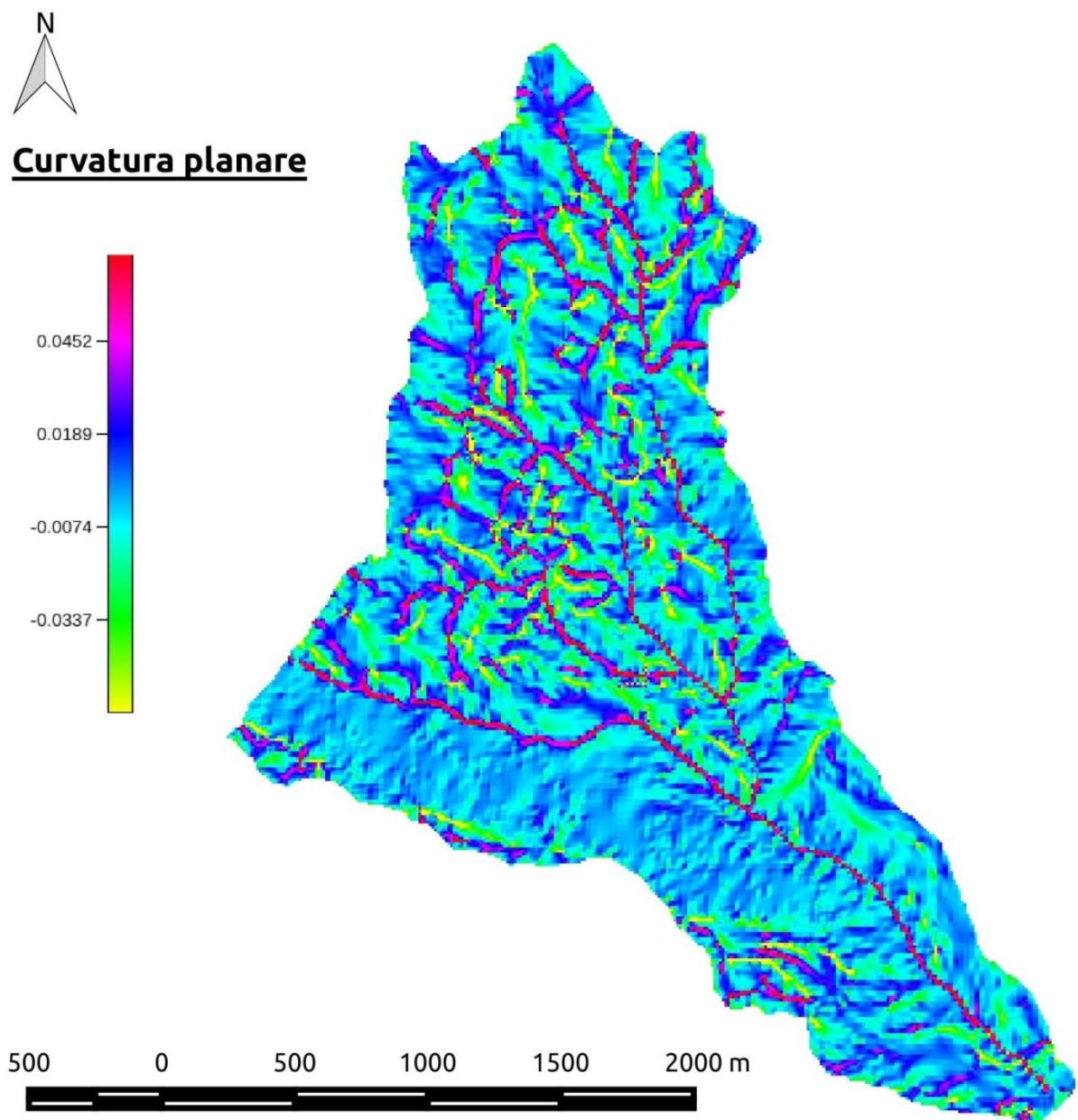


Figura 53: Mappa delle curvature planari ottenuta tramite il comando *Curvatures*

### 3.12 Tc

Il comando *Tc* (*Topological Classes*) permette di attribuire ad ogni pixel una delle nove classi topografiche, ottenute con l'intersezione dei tre tipi di curvature longitudinali e dei tre di curvature planari. Chiede di impostare un valore soglia sulle curvature longitudinale e normale per definire la planarità: i siti che presentano una curvatura minore, in valore assoluto, rispetto alla soglia vengono considerati planari. Il comando si trova nella sottocartella *Hillslope* della *Horton Machine*.

Le convenzioni adottate per la descrizione delle classi topografiche sono le seguenti:

- 10 → planare parallelo;
- 20 → convesso parallelo;
- 30 → concavo parallelo;
- 40 → planare divergente;
- 50 → convesso divergente;
- 60 → concavo divergente;
- 70 → planare convergente;
- 80 → convesso convergente;
- 90 → concavo convergente.

È anche possibile aggregare queste classi in tre categorie fondamentali: siti concavi, siti piani e siti convessi.

In questo caso le convenzioni adottate sono:

- 15 → concavo (unione delle classi 30, 70 e 90);
- 25 → planare (corrispondente alla classe 10);
- 35 → convesso (unione delle restanti classi).

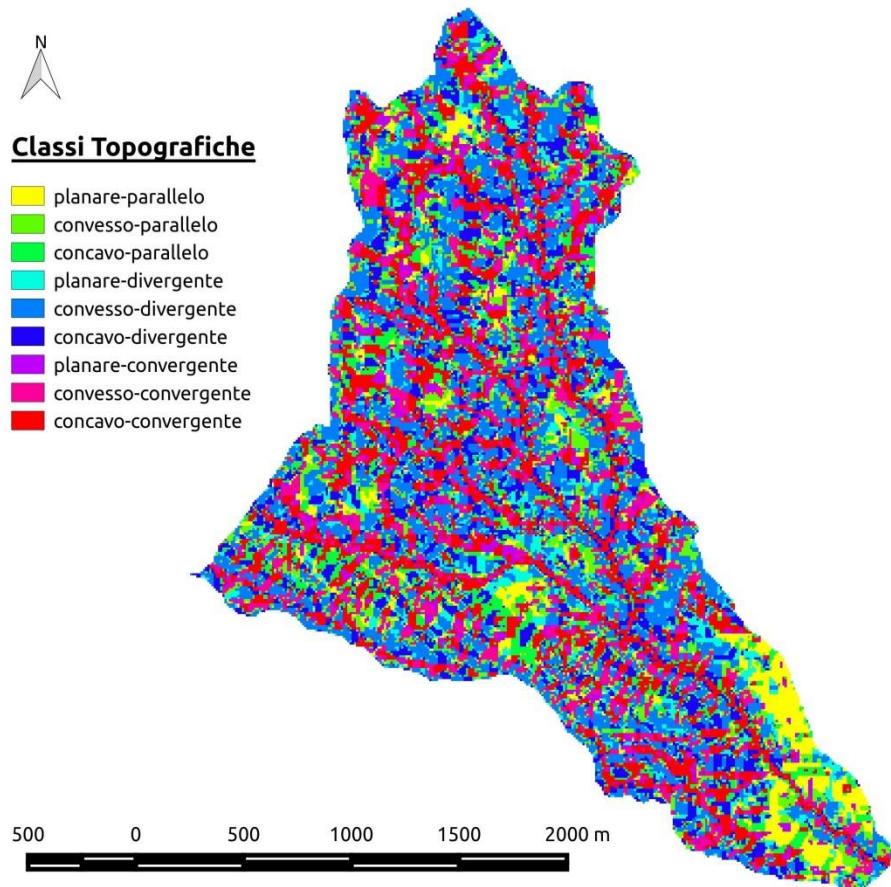


Figura 54: Mappa delle classi morfologiche ottenuta tramite il comando *Tc*

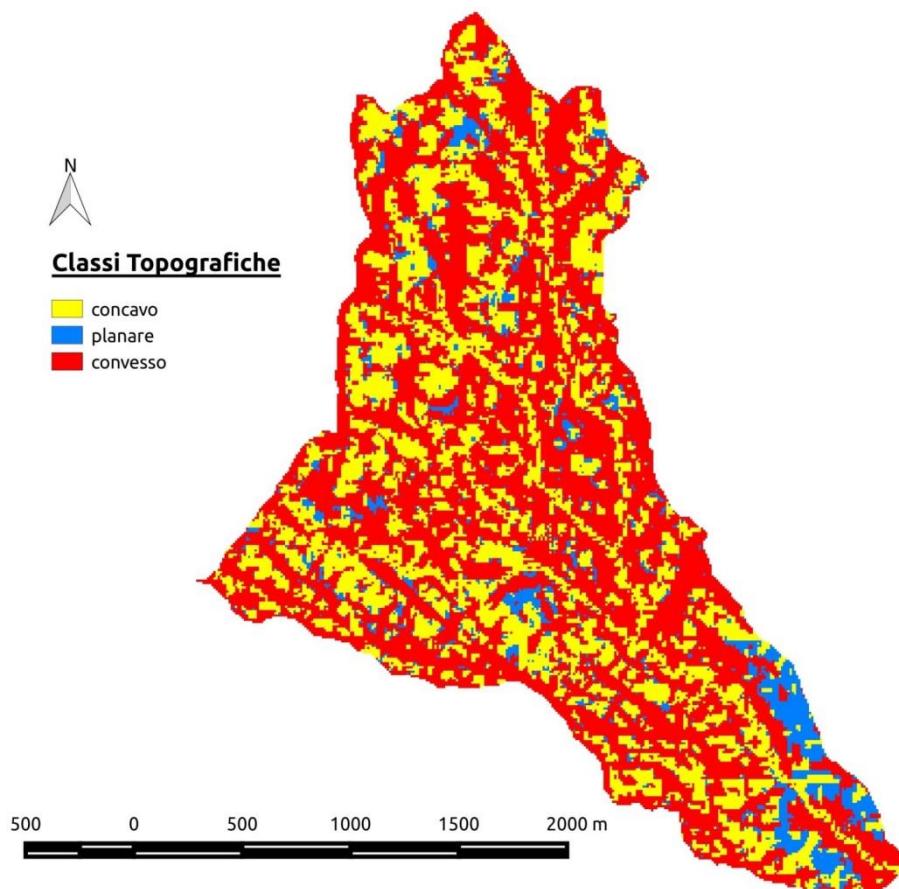


Figura 55: Mappa delle classi fondamentali ottenuta tramite il comando *Tc*

### 3.13 Gc

Un'altra possibile classificazione è quella secondo le classi geomorfologiche, realizzabile mediante il comando *Gc* (*Geomorphological Classes*), appartenente alla sottocartella *Hillslope* della *Horton Machine*. Classifica ogni punto dell'area in esame secondo undici classi, chiedendo in input, oltre alle nove classi ottenute precedentemente con il comando *Tc*, le mappe restituite dai comandi *ExtractNetwork* e *Slope*. Queste ultime vengono contrassegnate dai valori 100 e 110.

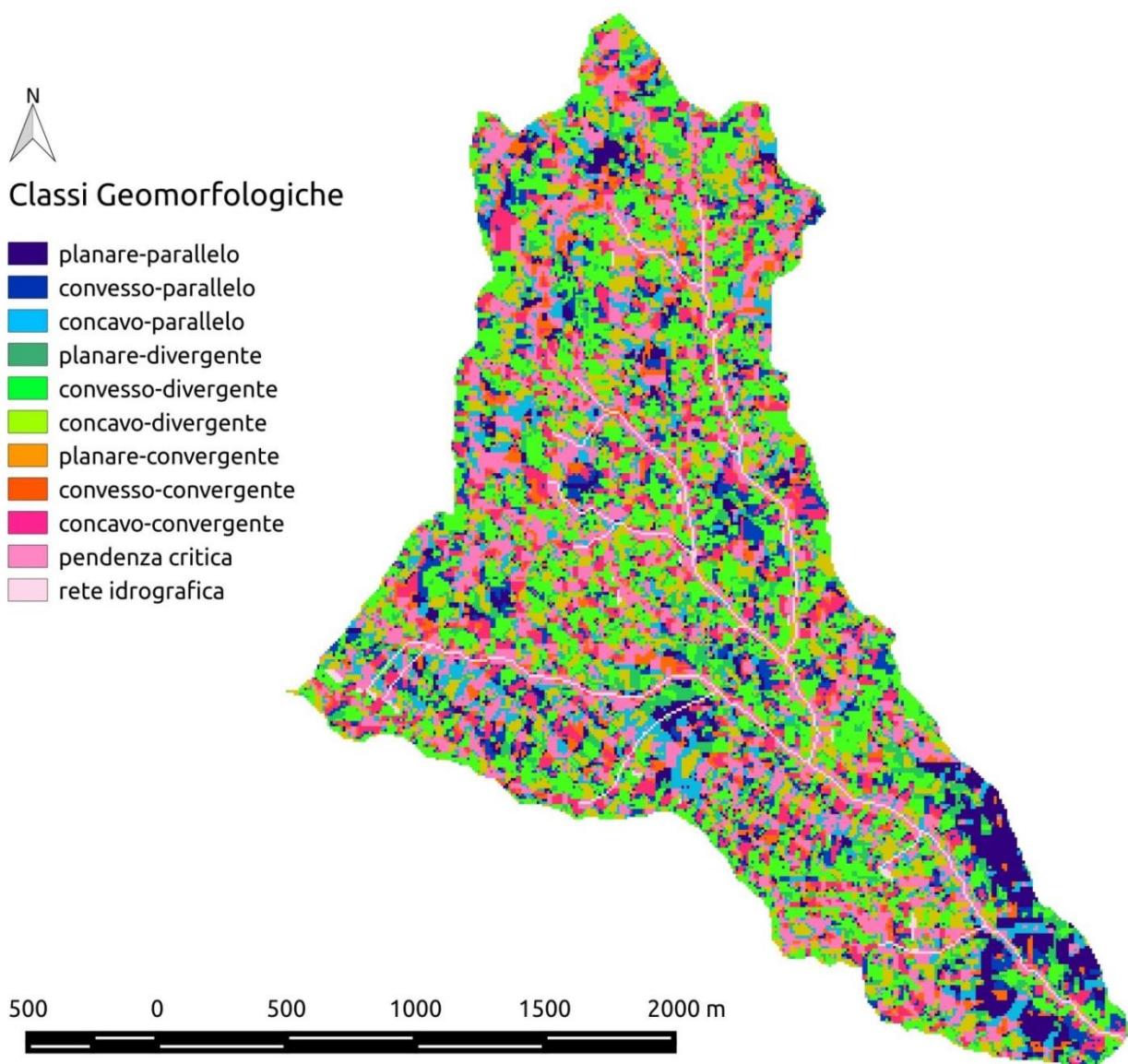


Figura 56: Mappa delle undici classi geomorfologiche ottenuta tramite il comando *Gc*

È possibile effettuare un'ulteriore riclassificazione secondo cinque classi:

15 → punti di valle non appartenenti al canale (classi 30, 70, 90);

25 → punti piani (classe 10);

35 → punti appartenenti al canale (classe 100);

45 → punti di pendio (classi 20, 40, 50, 60, 80);

55 → punti instabili (classe 110).

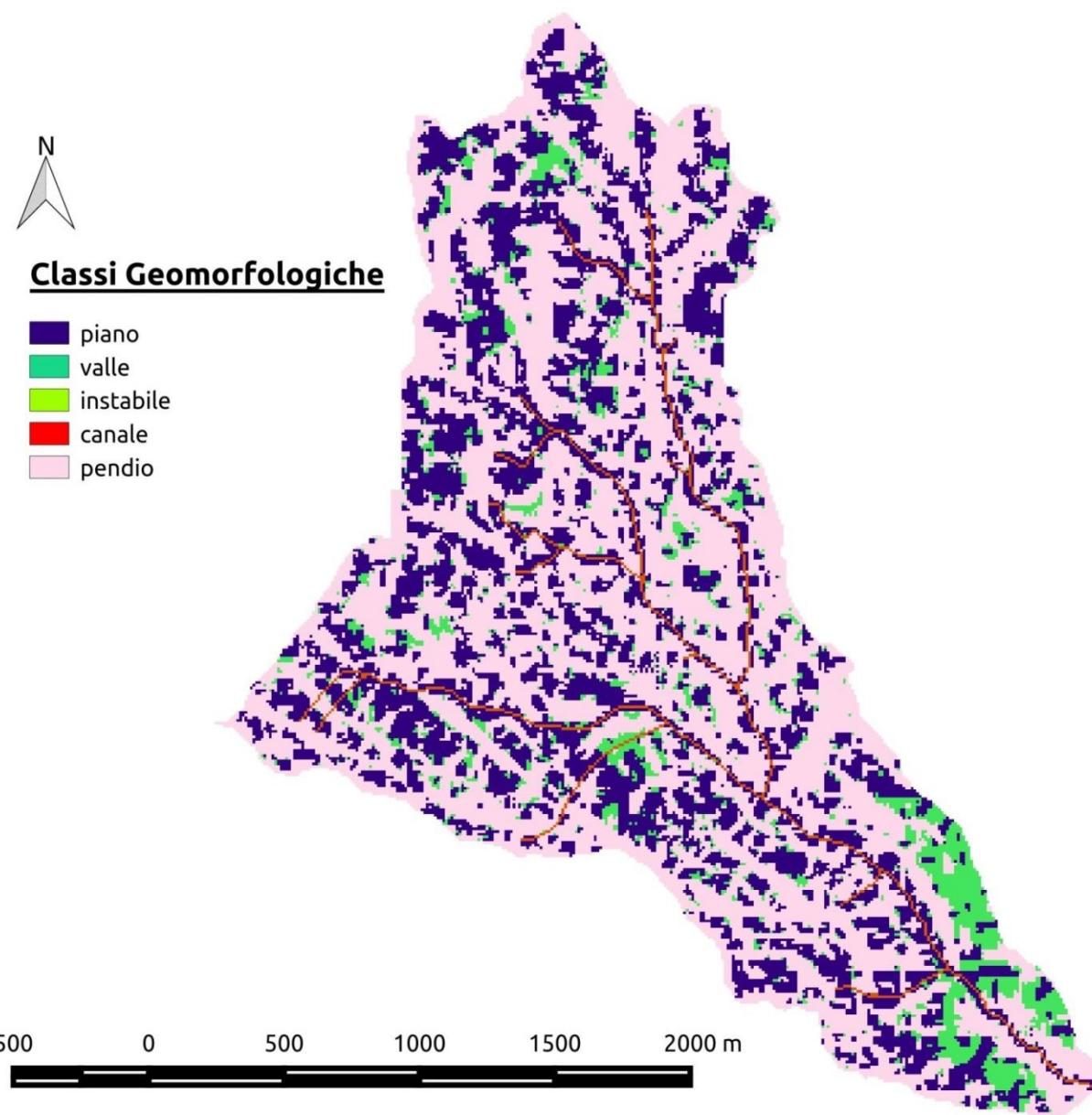


Figura 57: Mappa delle cinque classi geomorfologiche ottenuta tramite il comando Gc

### 3.14 Ab

Tramite il comando *Ab* è possibile calcolare in ogni punto del bacino l'area drenante per unità di lunghezza (*A/b*) e la lunghezza della curva di livello *b*, passante per il punto a cui corrisponde un'area contribuente pari ad *A*. Il calcolo di questo contorno drenante è legato al valore assunto dalla curvatura planare in ogni punto del bacino. Per eseguire il comando è necessario selezionare dallo Spatial Toolbox, all'interno della cartella *Horton Machine*, la sottocartella *Geomorphology* e quindi *Ab*.

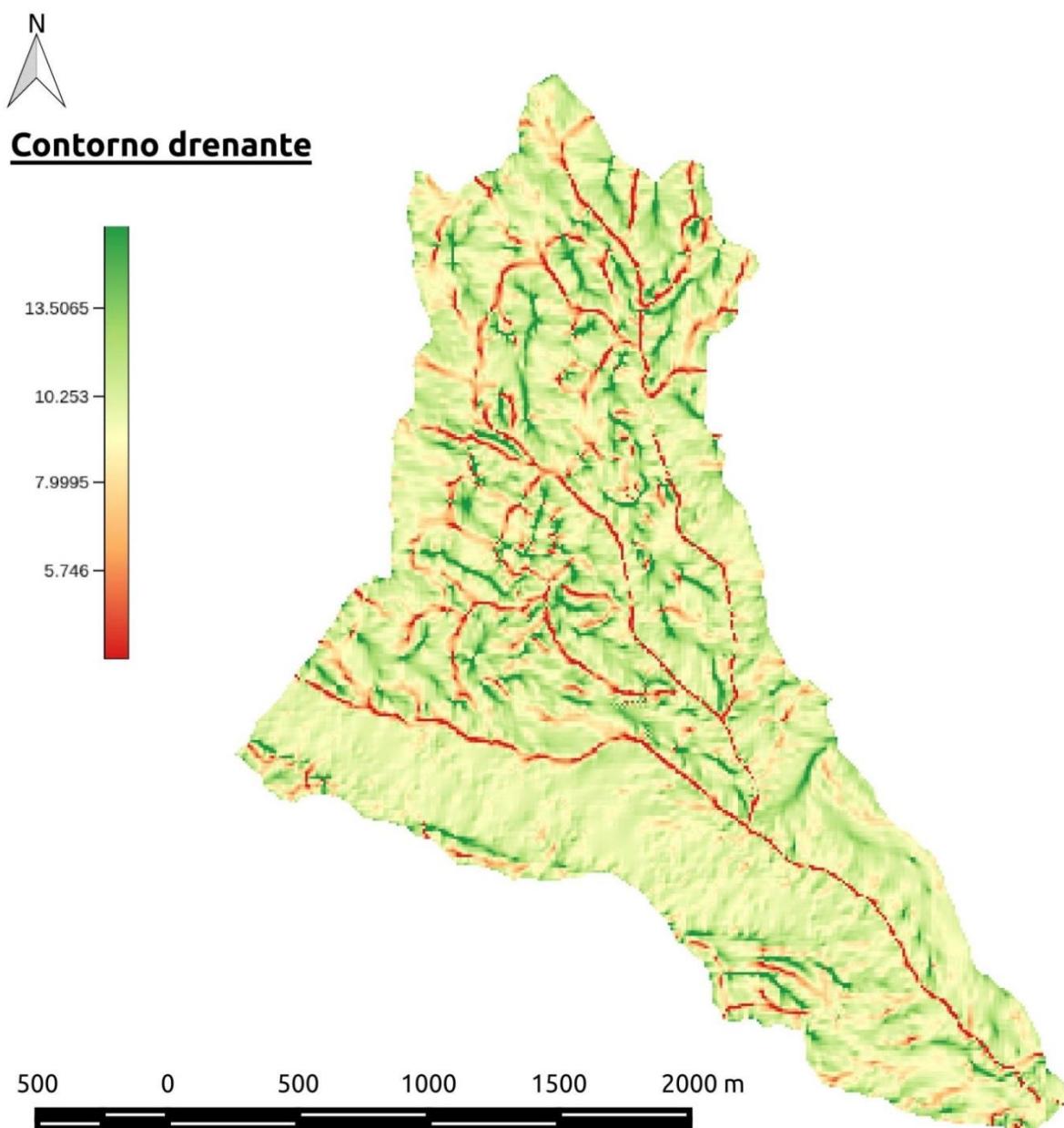


Figura 58: Mappa del contorno drenante ottenuta tramite il comando *Ab*

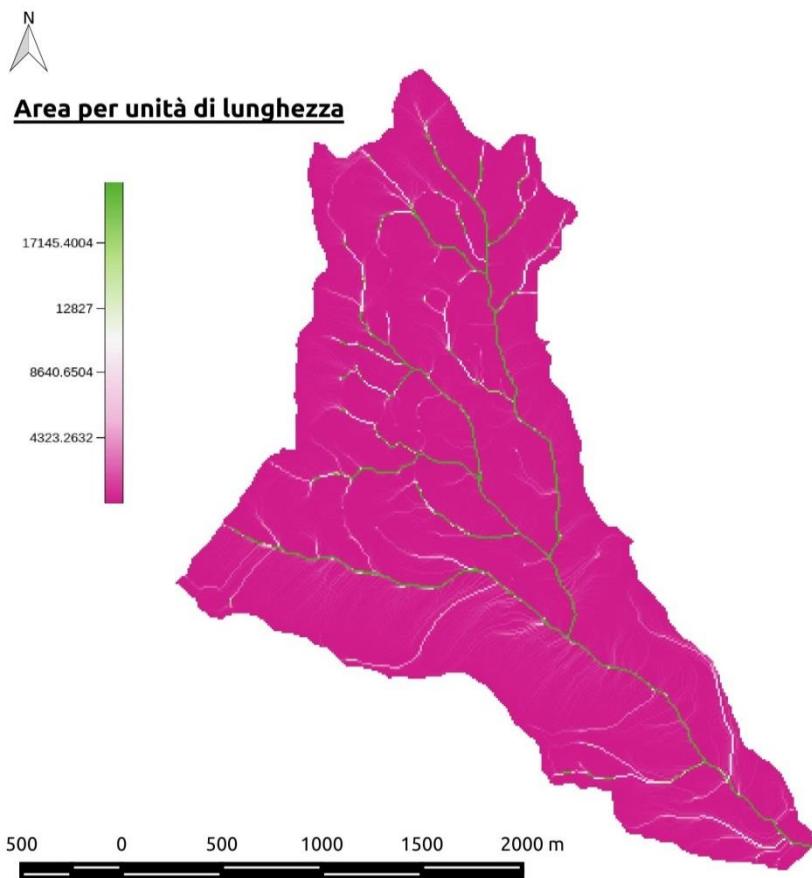


Figura 59: Mappa dell'area per unità di lunghezza ottenuta tramite il comando *Ab*

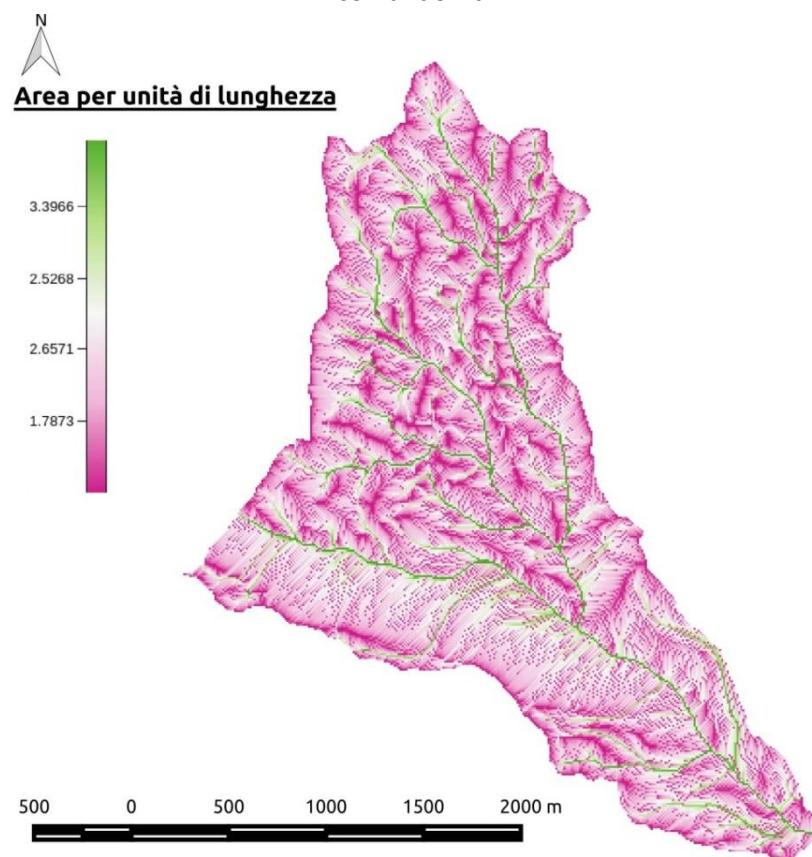


Figura 60: Mappa dell'area per unità di lunghezza ottenuta tramite il comando *Ab*, visualizzazione logaritmica

### 3.15 Magnitudo

Il comando calcola la magnitudine del bacino, ovvero il numero di sorgenti per ogni punto. Nell'eventualità di avere un nodo in cui entrano due canali e ne esce uno, allora tra il numero di sorgenti e i canali vi è una corrispondenza biunivoca del tipo  $h_c = 2n_s - 1$ , dove  $h_c$  corrisponde al numero dei canali e  $n_s$  al numero delle sorgenti. La magnitudine è quindi un buon indicatore dell'area contribuente. Viene calcolata mediante il comando *Magnitudo*, situato nella sottocartella *Geomorphology* della *Horton Machine*.

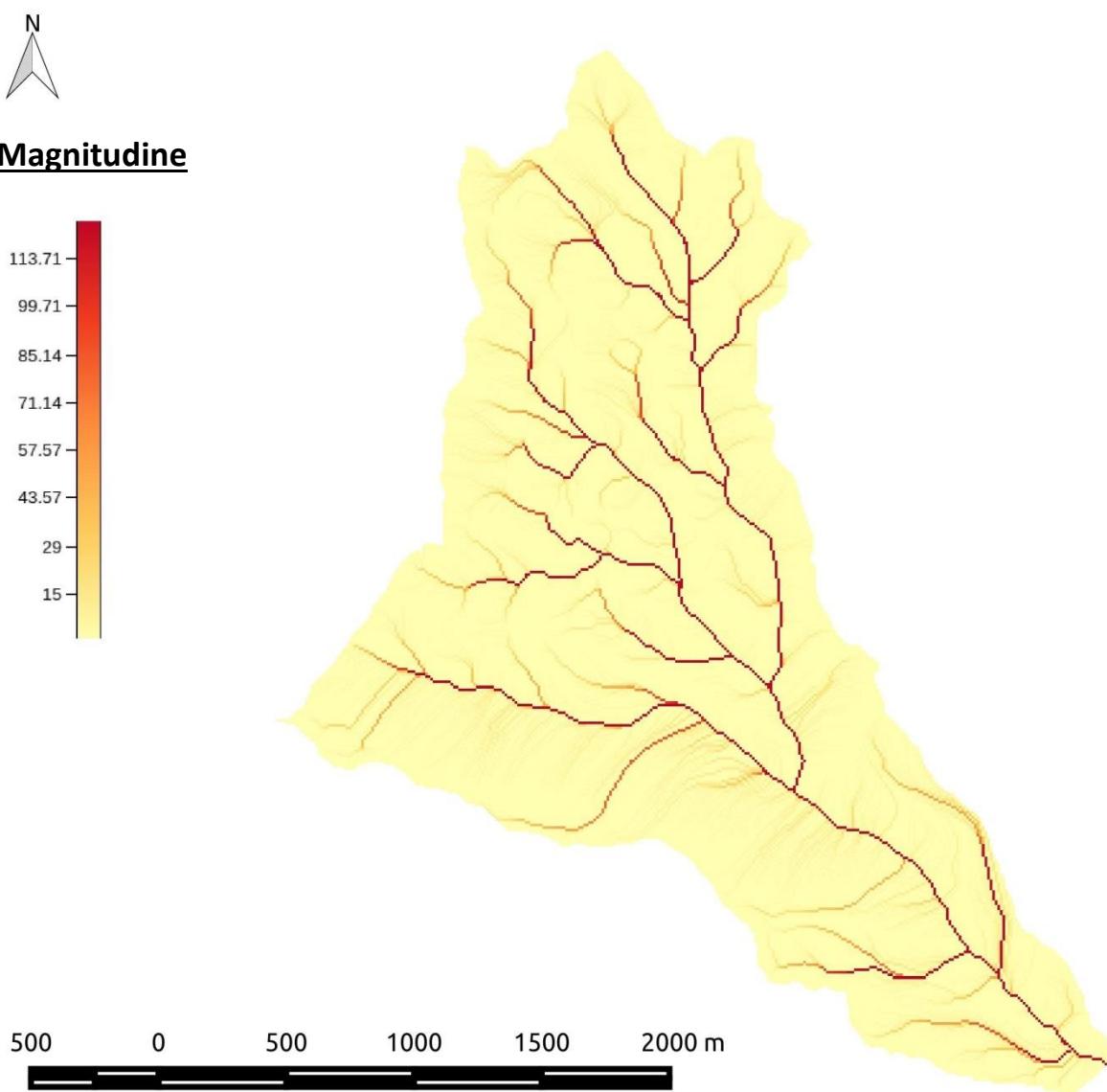


Figura 61: Mappa ottenuta tramite il comando *Magnitudo*

### 3.16 HackLength

La lunghezza di Hack è la distanza che separa ogni punto del bacino dallo spartiacque all'interno della rete idrografica. Viene calcolata andando da valle verso monte, partendo da un punto arbitrario che deve necessariamente appartenere al bacino. Quando si incontra una biforcazione nella rete si segue il ramo fluviale dotato di maggiore area contribuente. Nel caso in cui due rami confluenti abbiano la stessa area contribuente ne viene scelta una in maniera casuale. Si ottiene così la lunghezza dell'asta principale del bacino, che rappresenta la proiezione sul piano orizzontale della distanza dallo spartiacque. Il comando da eseguire è *HackLength*, collocato nella sottocartella *Network* della *Horton Machine*.

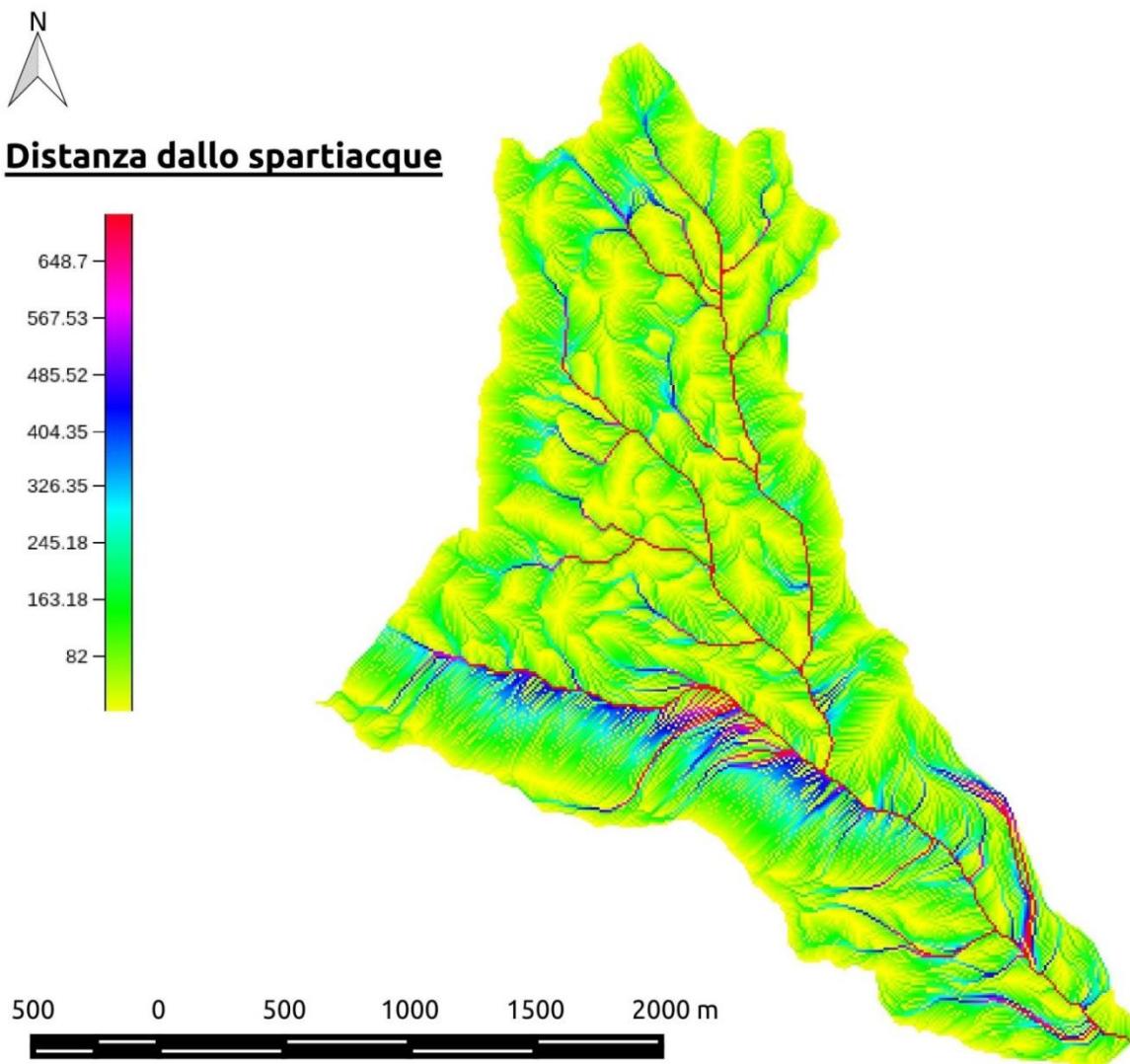


Figura 62: Mappa ottenuta tramite il comando *HackLength*

### 3.17 H2cd

*Hillslope to channel distance (H2cd)* calcola la proiezione sul piano orizzontale della distanza di ogni punto del bacino, non appartenente al reticolo idrografico, dalla rete, seguendo le direzioni di drenaggio. Il comando fornisce la possibilità di calcolare le distanze in metri e in pixel. L'esecuzione del comando è possibile dalla sottocartella *Hillslope* della *Horton Machine*.

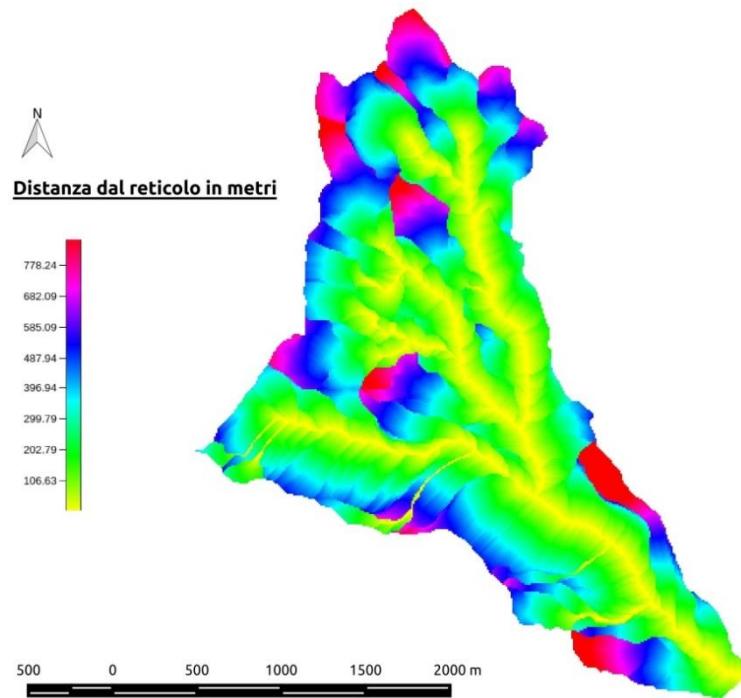


Figura 63: Mappa ottenuta tramite il comando *H2cd*, calcolata in metri

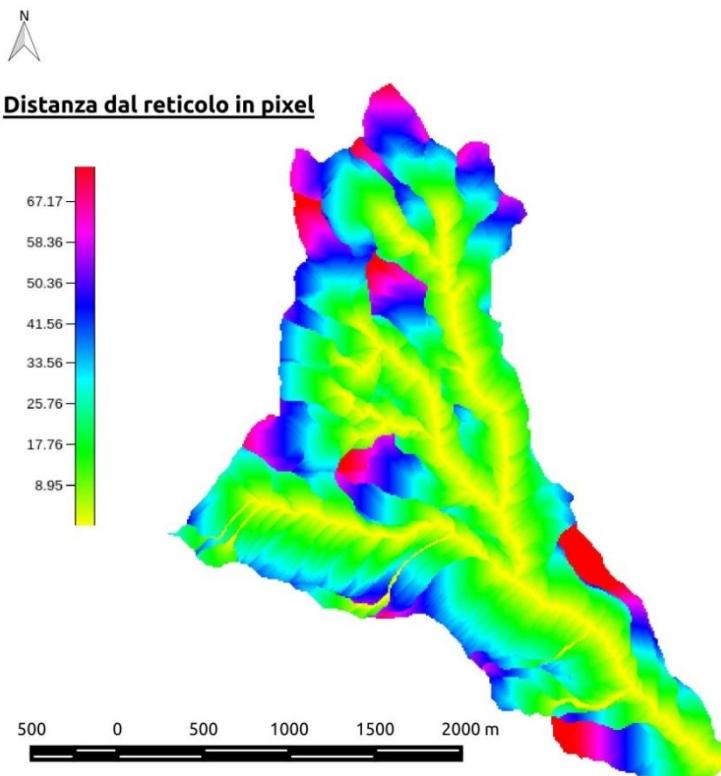


Figura 64: Mappa ottenuta tramite il comando *H2cd*, calcolata in pixel

È inoltre possibile scegliere una visualizzazione tridimensionale che, nel calcolo della proiezione orizzontale della distanza di ogni punto del bacino, tiene conto dell'andamento altimetrico della topografia. Di seguito si riportano le rielaborazioni tridimensionali calcolate in precedenza.

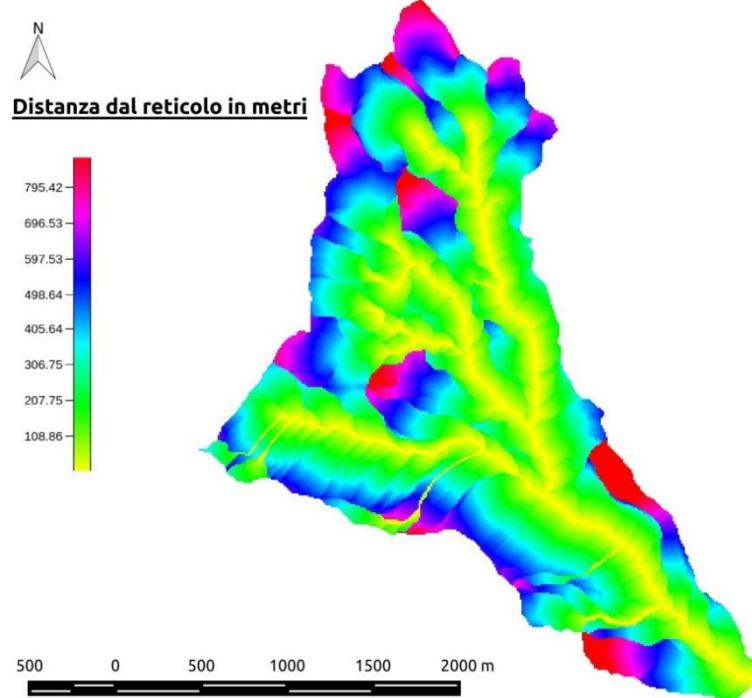


Figura 65: Mappa ottenuta tramite il comando *H2cd*, calcolata in metri, visualizzazione 3D

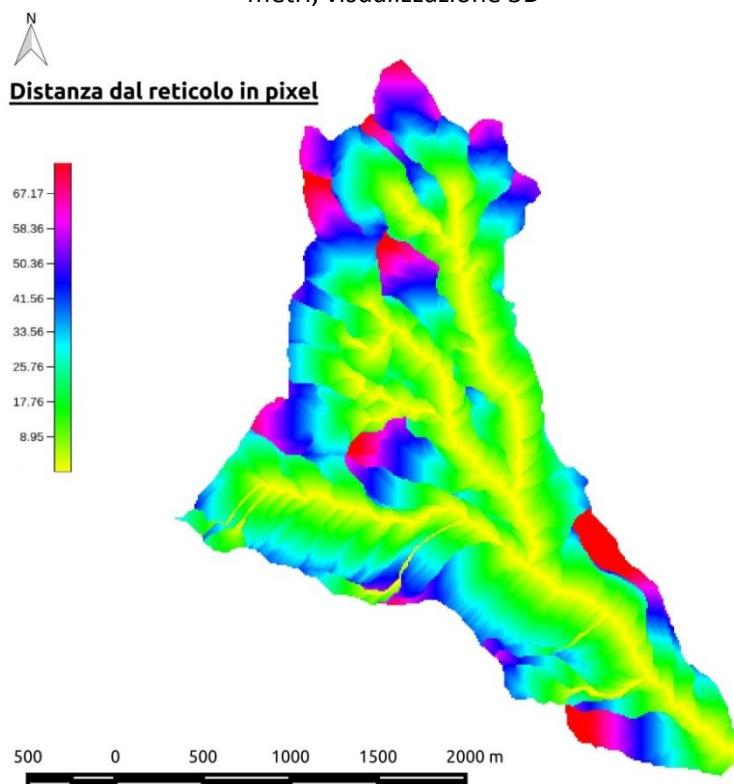


Figura 66: Mappa ottenuta tramite il comando *H2cd*, calcolata in pixel, visualizzazione 3D

### 3.18 DistanceToOutlet

*DistanceToOutlet*, situato nella sottocartella *Network* della *Horton Machine*, calcola la proiezione sul piano della distanza di ogni pixel dal punto di chiusura del bacino, seguendo le direzioni di drenaggio. L'output di questo comando è eseguibile alternativamente in metri e in pixel. Di seguito si riporta la sola mappa calcolata in metri.

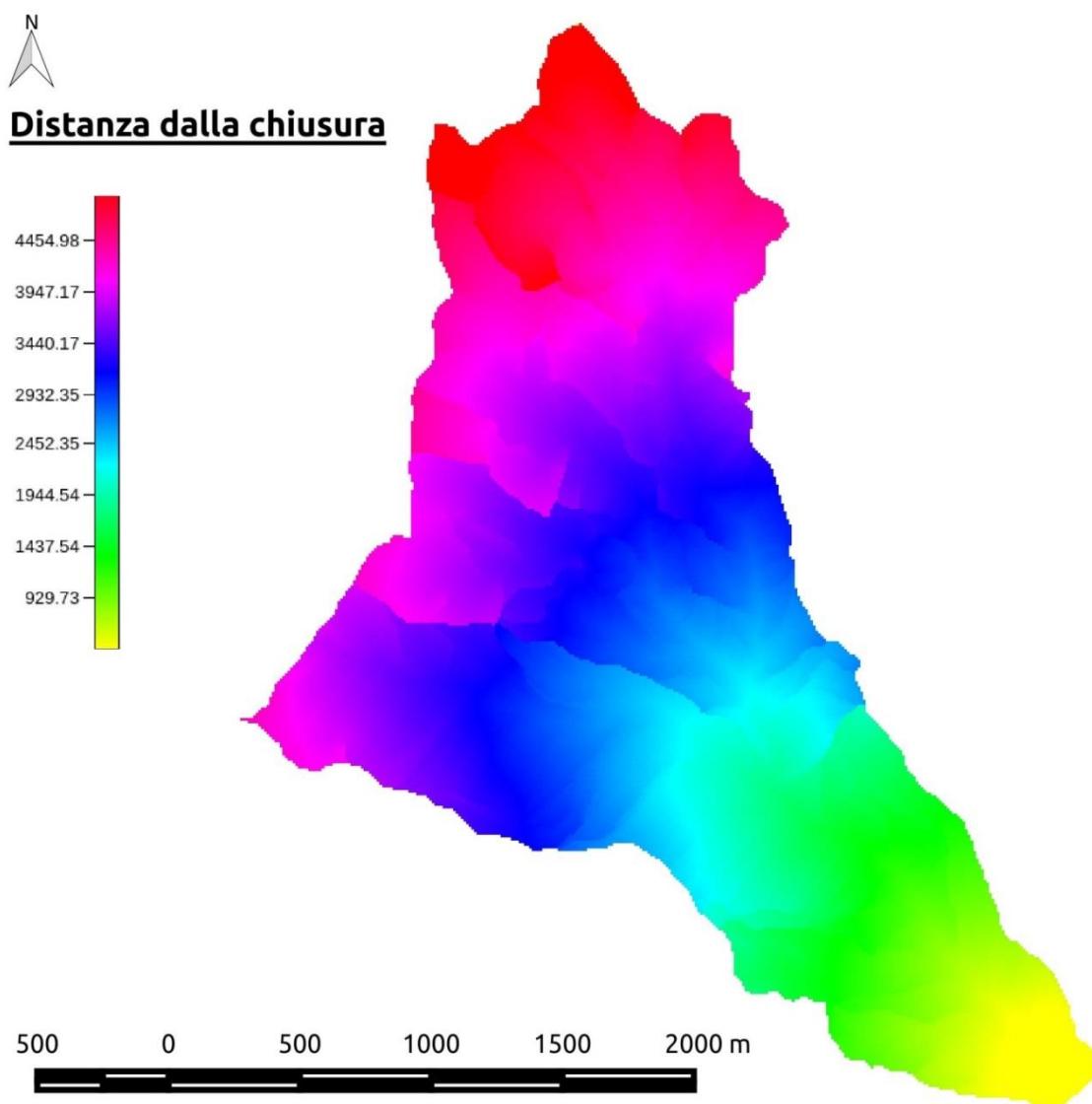


Figura 67: Mappa calcolata tramite il comando *DistanceToOutlet*, calcolata in metri

### 3.19 WaterOutlet

Una volta ottenuto il reticolo idrografico con un uno dei metodi descritti in precedenza, è possibile calcolare il sottobacino d'interesse. Di fondamentale importanza è indicare la sezione di chiusura del bacino, scelta a piacere ma necessariamente collocata in un punto appartenente al reticolo idrografico, estratto con il comando *ExtractNetwork*. *WaterOutlet* si trova all'interno della sottocartella *Dem Manipulation* della *Horton Machine*. L'output restituito fa da maschera per tutte le mappe utilizzate nell'analisi.

Tramite il comando *CutOut* del *Raster Processing* è possibile ritagliare lungo la maschera tutte le mappe calcolate.

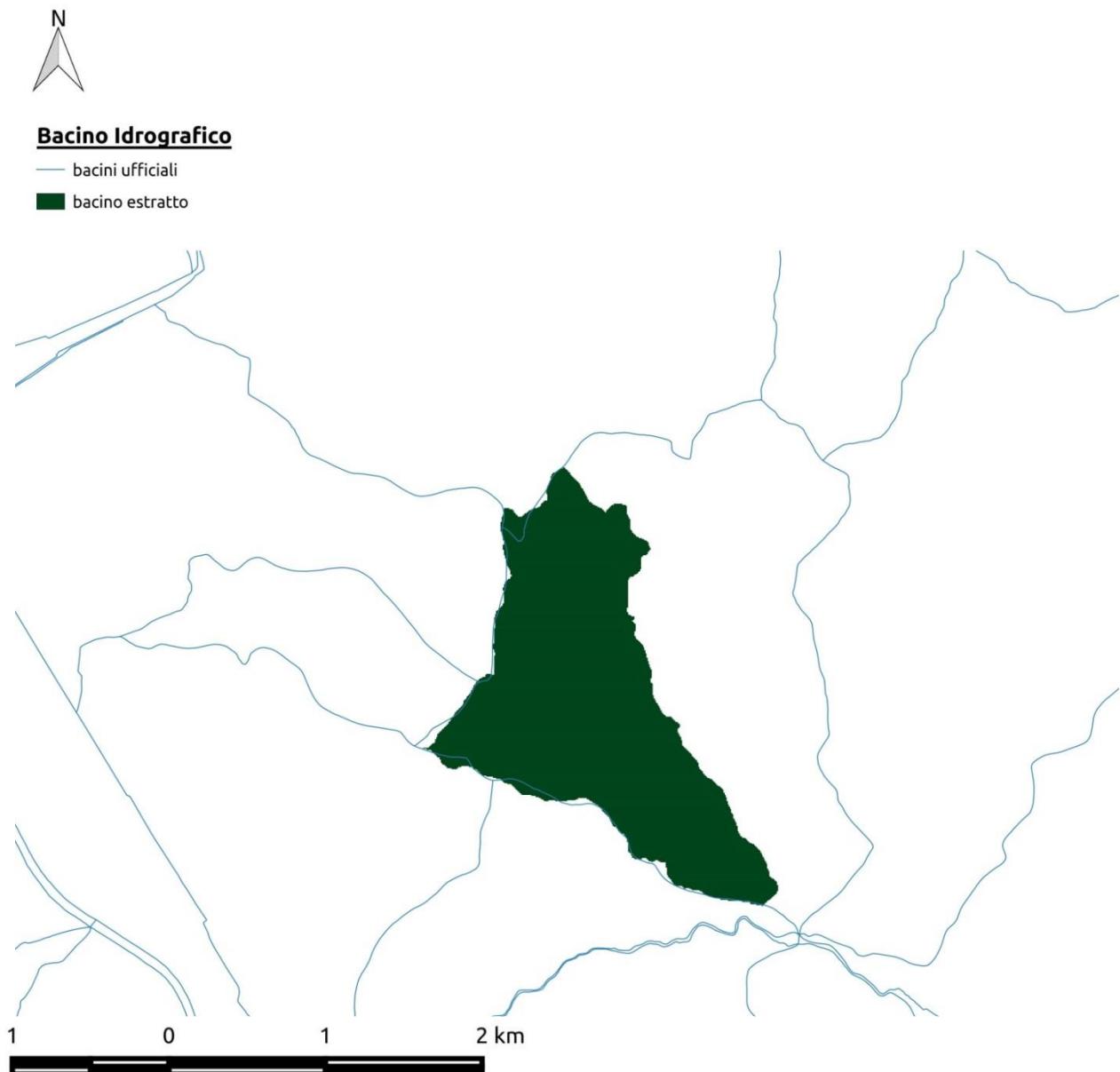


Figura 68: Mappa del sottobacino ottenuta tramite il comando *WaterOutlet*, a confronto con i bacini ufficiali

### 3.20 NetNumbering

Il comando *NetNumbering* necessita di alcune operazioni preliminari.

Innanzitutto è opportuno creare una mappa vettoriale della rete del bacino di interesse, utilizzando il comando *NetworkAttributesBuilder* della sottocartella *Network*, il quale estrae una serie di attributi inerenti alle lunghezze di ogni singolo ramo.

In seguito si utilizza il comando *VectorReshaper*, appartenente alla categoria dei *VectorProcessing*, che restituisce un'altra mappa vettoriale con nuovi campi di attributi, derivati dalle caratteristiche geometriche delle feature, a loro volta ottenute da quelle originali.

In conclusione dalla sottocartella *Network*, attraverso *NetNumbering* si numerano i canali del reticolo idrografico e si individuano i bacini ad essi afferenti. Il processo numera in maniera crescente la testa di ogni canale fino ad arrivare ad una confluenza. Si procede in questo modo fino all'uscita.

#### Reticolo idrografico numerato

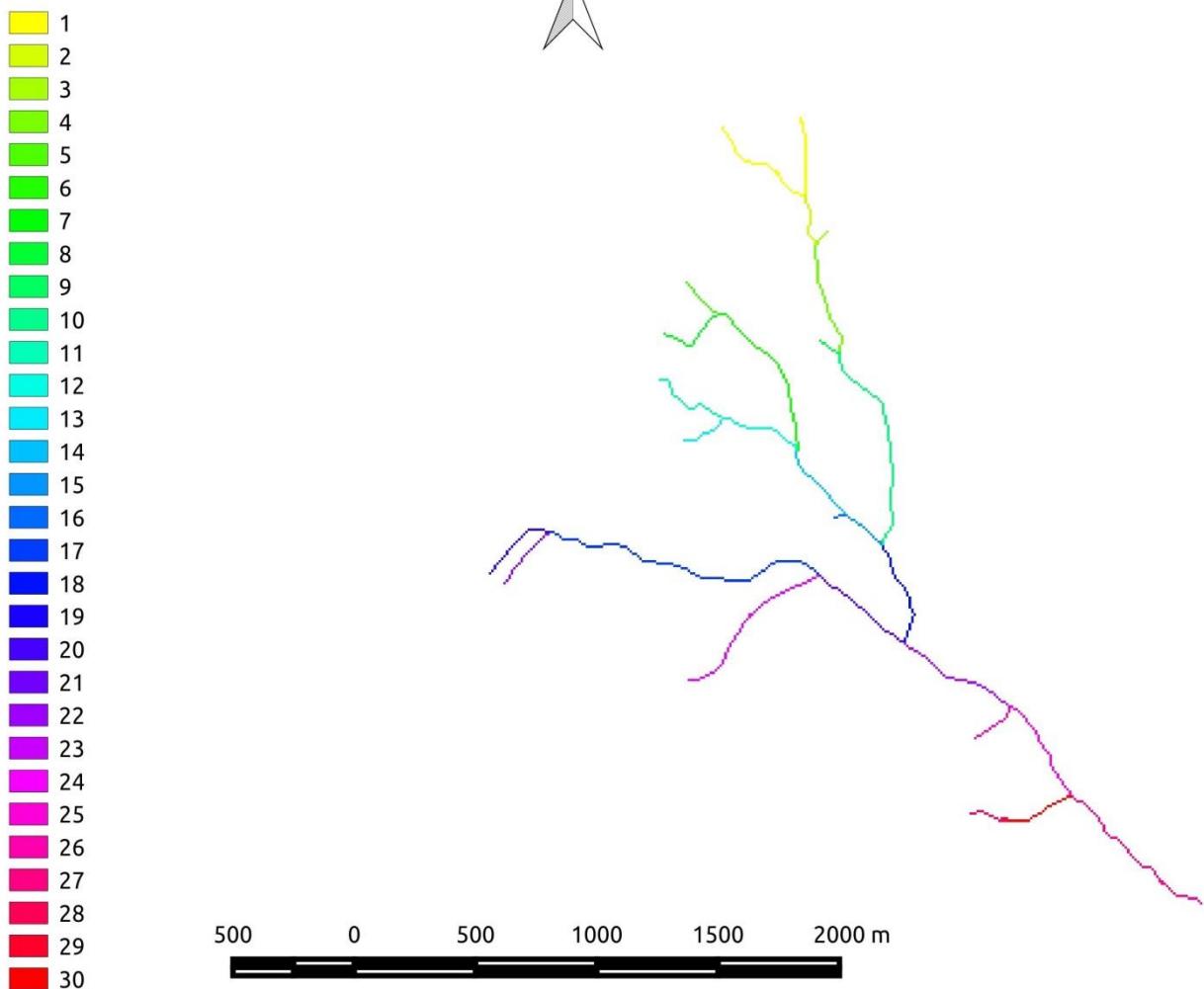


Figura 69: Mappa contenente il reticolo idrografico numerato ottenuta tramite il comando *NetNumbering*

Una volta numerata la rete vengono estrapolati i bacini che drenano dentro ogni singolo ramo della stessa. Nel caso in esame sono stati rilevati trenta sottobacini.

Tramite *Vectorizer*, comando del *Vector Processing*, la mappa dei sottobacini numerati è stata convertita da raster a vettoriale.

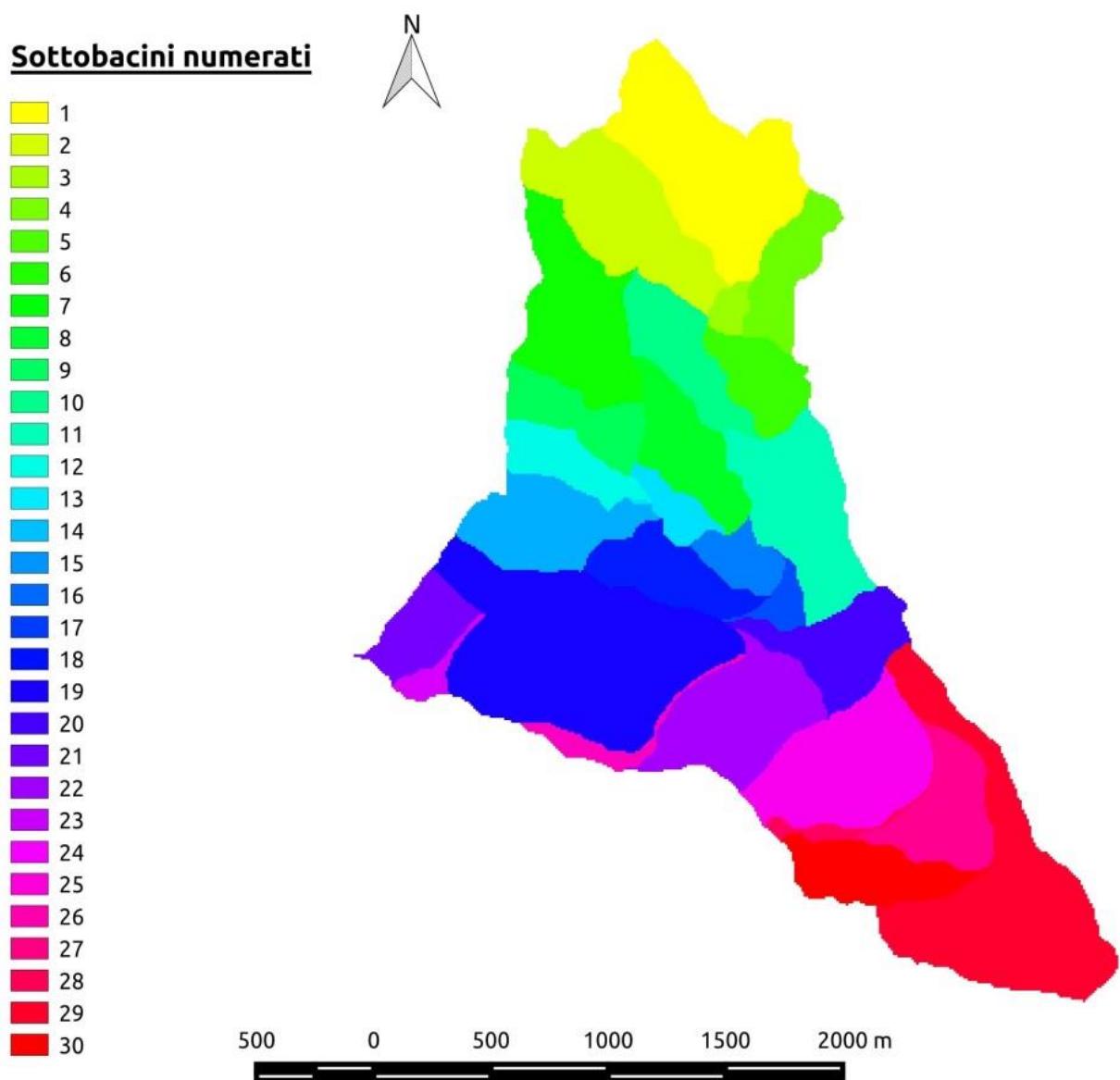


Figura 70: Mappa raster contenente i sottobacini estratti, ottenuta tramite il comando *NetNumbering*

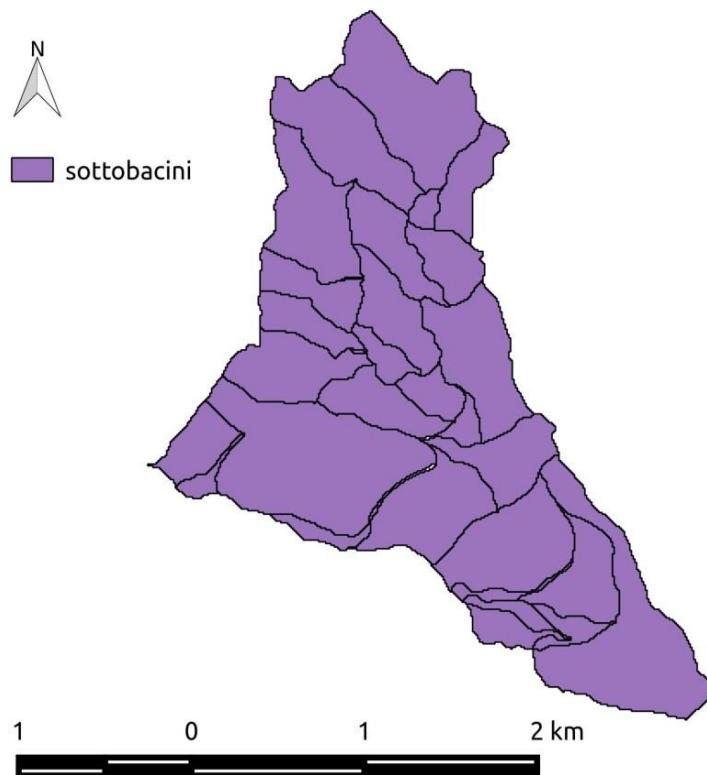


Figura 71: Mappa vettoriale contenente i sottobacini estratti, ottenuta tramite il comando *Vectorizer*

Il comando *VectorReshaper* permette inoltre di calcolare una mappa contenente i centroidi di ogni singolo bacino, derivanti dalle feature originali, ovvero le aree dei sottobacini.

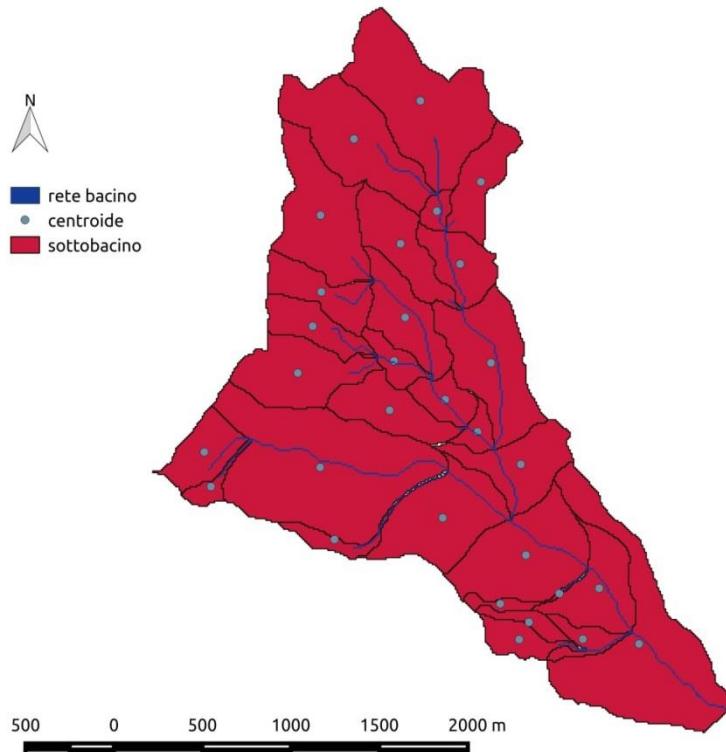


Figura 72: Mappa vettoriale dei centroidi ottenuta tramite il comando *VectorReshaper*

### 3.21 TopIndex

*TopIndex* permette di calcolare l'indice topografico di un bacino, definito come  $T_I = \log \frac{A}{b |\nabla z|}$ , dove A è l'area contribuente in un punto del bacino, b è la lunghezza della curva di livello passante per il punto a cui corrisponde A e  $\nabla z$  è il gradiente. Evidenzia la tendenza di un pixel a saturarsi: aree con valori elevati di indice topografico si saturano prima di aree a basso indice topografico. Tale indice dipende esclusivamente dalla morfologia ed è collocato all'interno della cartella *Basin* della *Horton Machine*.

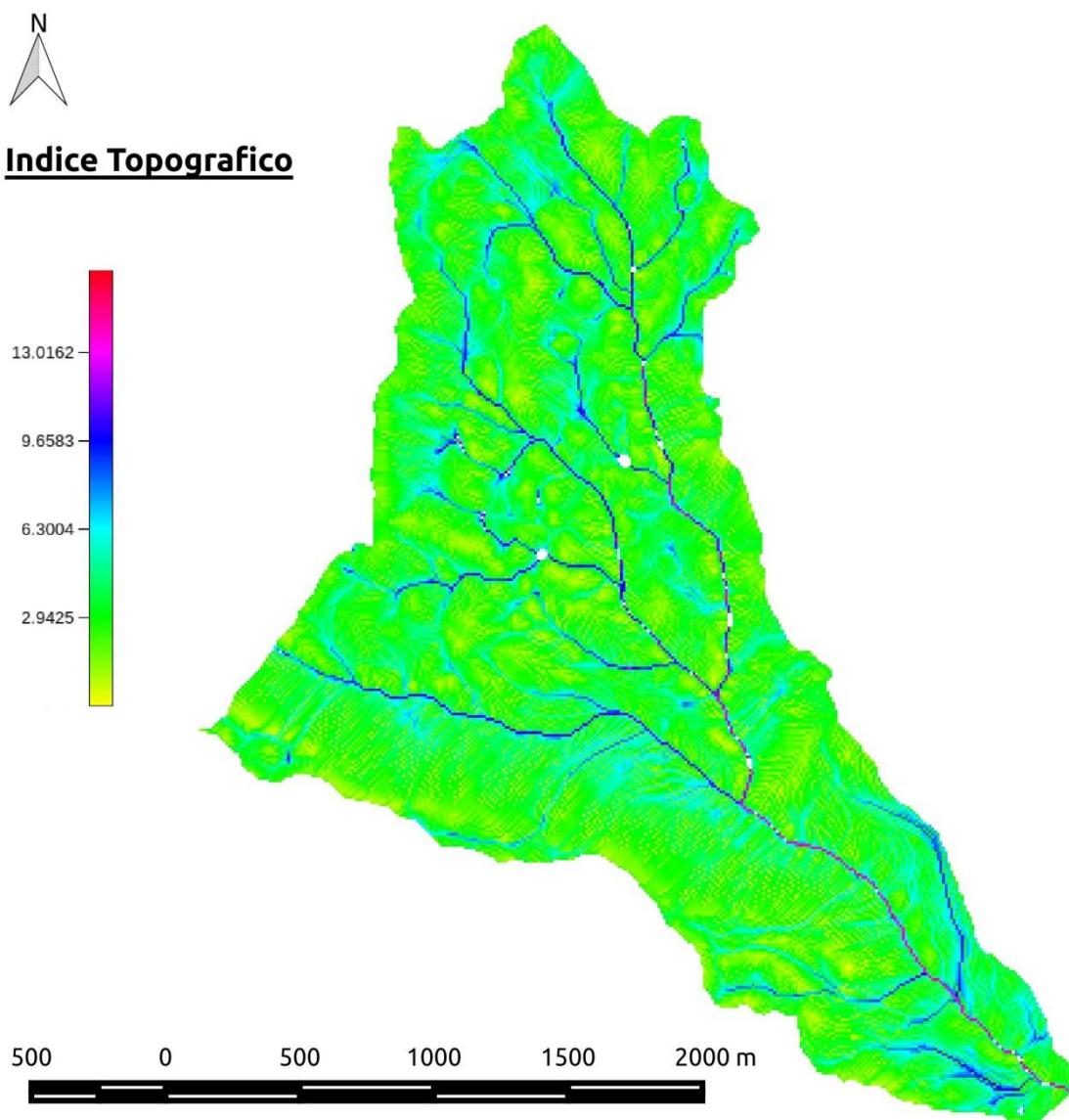


Figura 73: Mappa dell'indice topografico ottenuta tramite il comando *Topindex*

Ci sono zone all'interno del bacino in esame in cui non è definito l'indice topografico, ovvero quelle con pendenza pari a zero, tali per cui il rapporto tra area cumulata e pendenza tende ad infinito. Inserendo una sintassi opportuna all'interno del *Mapcalc* è stato assegnato ai pixel con valore nullo di indice topografico il valore massimo proprio della mappa.

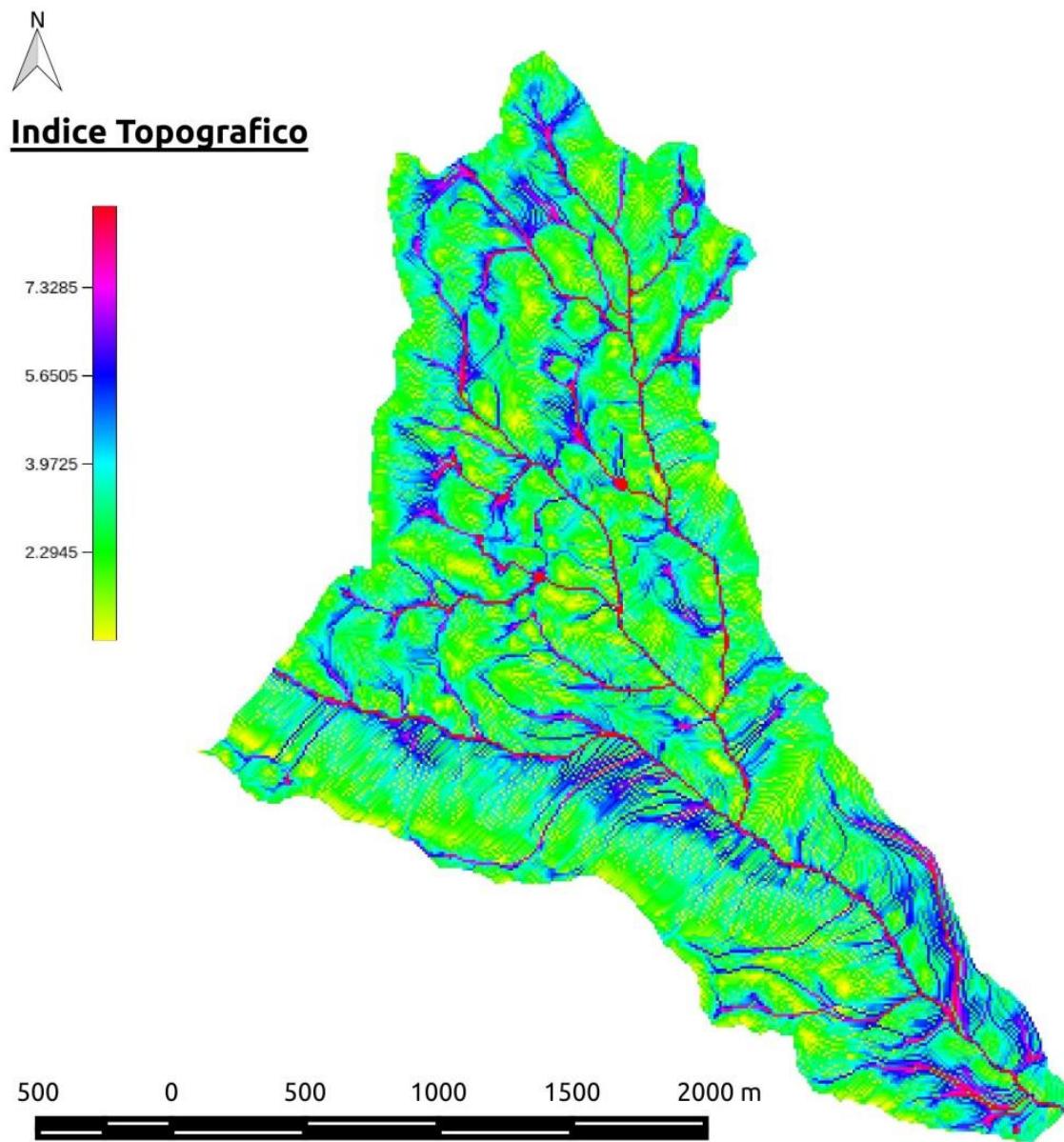


Figura 74: Mappa dell'indice topografico ottenuta tramite il comando *TopIndex*, rielaborata attraverso *Mapcalc*

### 3.22 RescaledDistance

Il comando *RescaledDistance* consente di calcolare le distanze dall'uscita del bacino, lungo le direzioni di drenaggio. Queste possono essere riscalate, vale a dire calcolate considerando velocità differenti nei versanti e all'interno della rete. Al fine del calcolo si introduce il parametro  $r$ , ovvero il rapporto tra la velocità dei canali ( $u_c$ ) e quella dei versanti ( $u_h$ ).

Per eseguirlo è necessario selezionare dalla cartella *Horton Machine* la sottocartella *Basin*, e quindi *RescaledDistance*.

Per le rappresentazioni grafiche si veda il paragrafo 4.2 alle pagine 62 e 63.

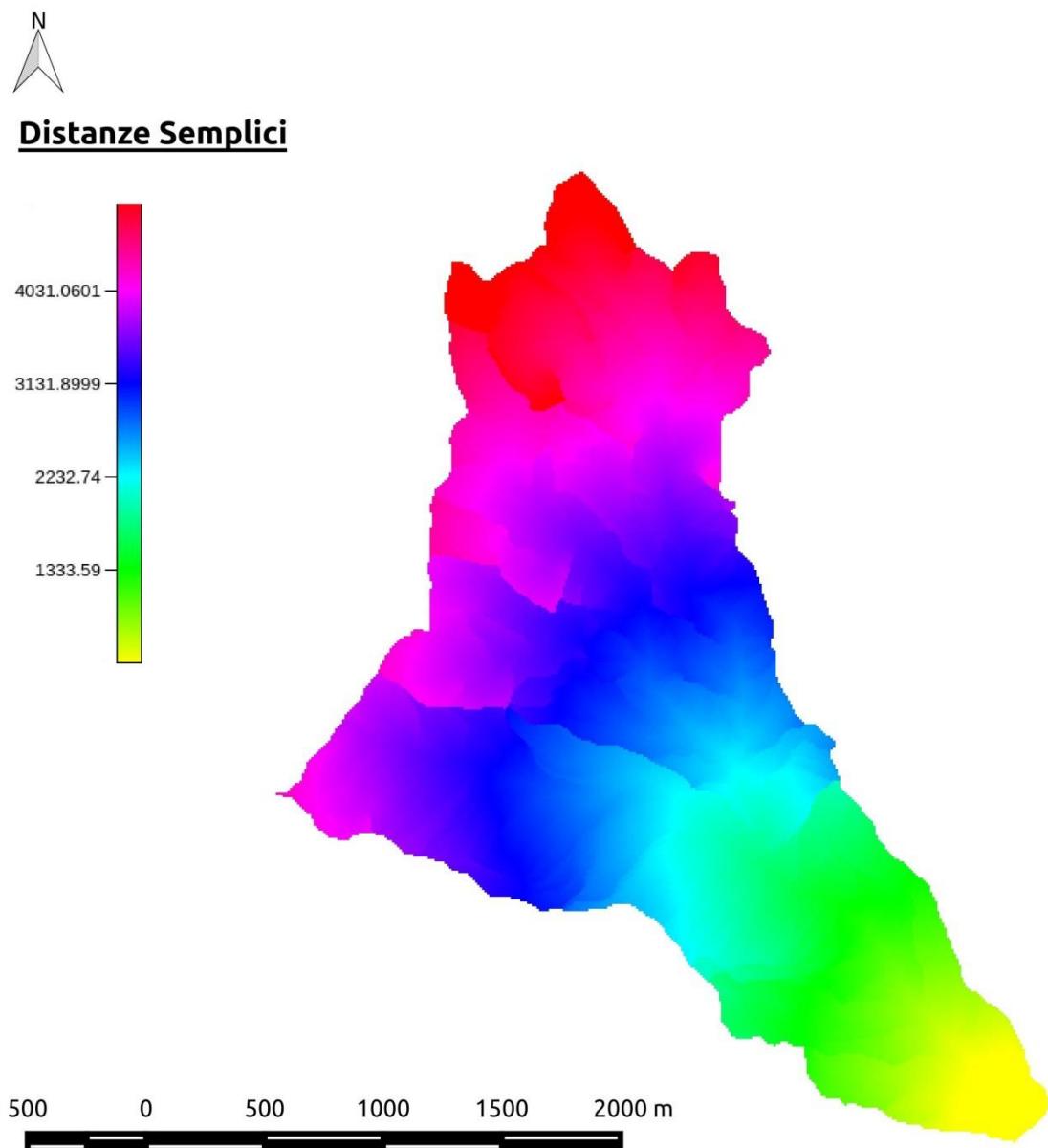


Figura 75: Mappa delle distanze semplici ottenuta tramite il comando *RescaledDistance* con  $r = 1$

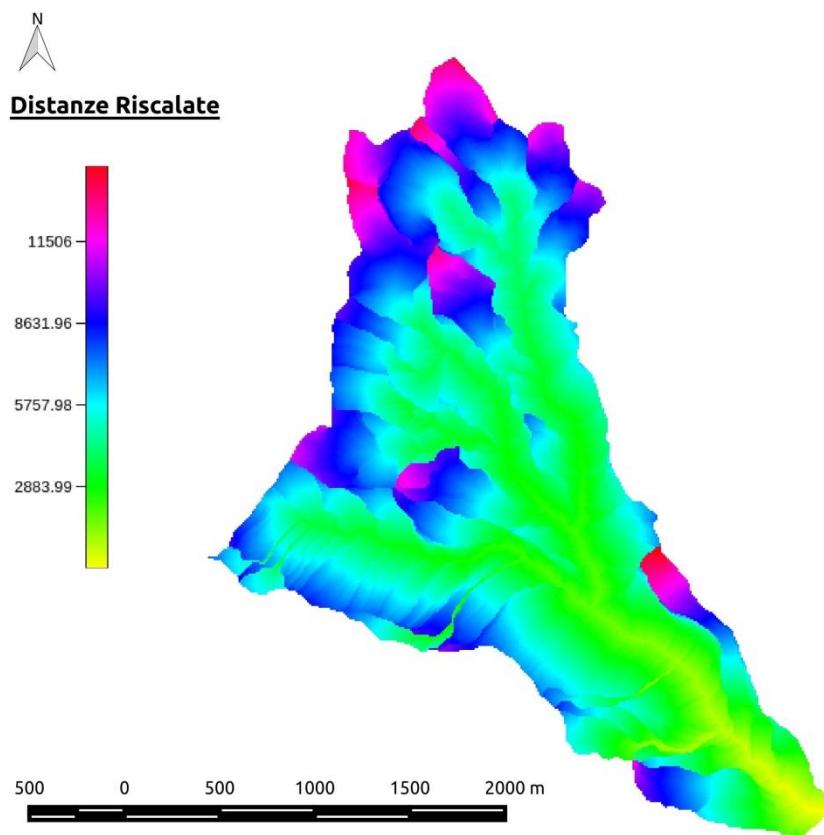


Figura 76: Mappa delle distanze riscalate ottenuta tramite il comando  
*RescaledDistance* con  $r = 10$

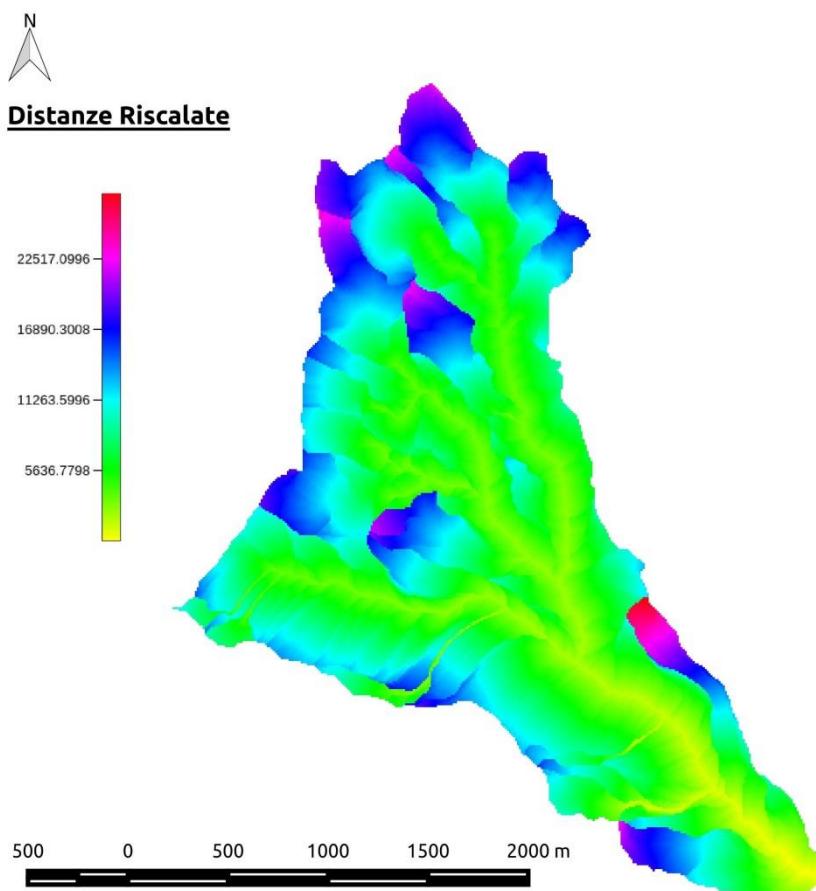


Figura 77: Mappa delle distanze rascalate ottenuta tramite il comando  
*RescaledDistance* con  $r = 20$

## 4. Statistiche

Lo strumento utilizzato per elaborare statistiche in questa analisi idro-geomorfologica è il software *RStudio*, che permette di elaborare dati, eseguire calcoli ed effettuare rappresentazioni grafiche.

### 4.1 RasterSummary

*RasterSummary* è un comando non appartenente alla *Horton Machine*, bensì ai moduli di *Raster Processing* per l'elaborazione di mappe raster, e permette di calcolarne alcune importanti statistiche riassuntive, quali valore minimo, valore massimo, media, deviazione standard, range e somma dei valori. In questo caso la mappa raster in esame è quella del DTM depittato. Salvando questi valori ottenuti come output all'interno di un file testo e leggendoli con *R*, si giunge alla visualizzazione grafica della distribuzione delle quote dei punti del DTM, sia in funzione del numero di pixel che della percentuale di pixel.



Figura 78: Grafico della distribuzione delle quote

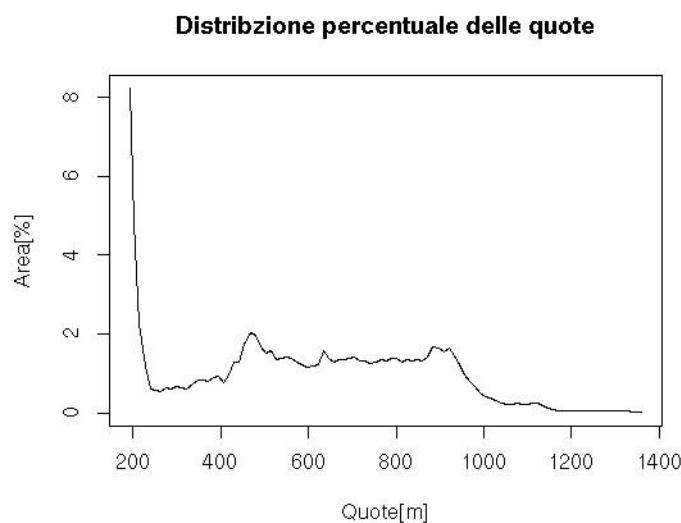


Figura 79: Grafico della distribuzione percentuale delle quote

#### 4.2 Cb

*Cb* è una versione più evoluta del comando *RasterSummary*, contenuta nella sottocartella *Statistics* e sfruttata per ottenere più complesse statistiche incrociate tra due mappe. È possibile inoltre fare molte interpolazioni. Molto interessante è calcolare la funzione di ampiezza standard che rappresenta il numero di pixel del bacino idrografico posti ad uguale distanza dalla sezione di chiusura. Tale quantità può essere calcolata utilizzando le distanze dall'uscita del bacino calcolate con *RescaledDistance* imponendo il rapporto velocità *r* pari ad 1. Tramite il programma *RStudio* è possibile plottare il grafico corrispondente.

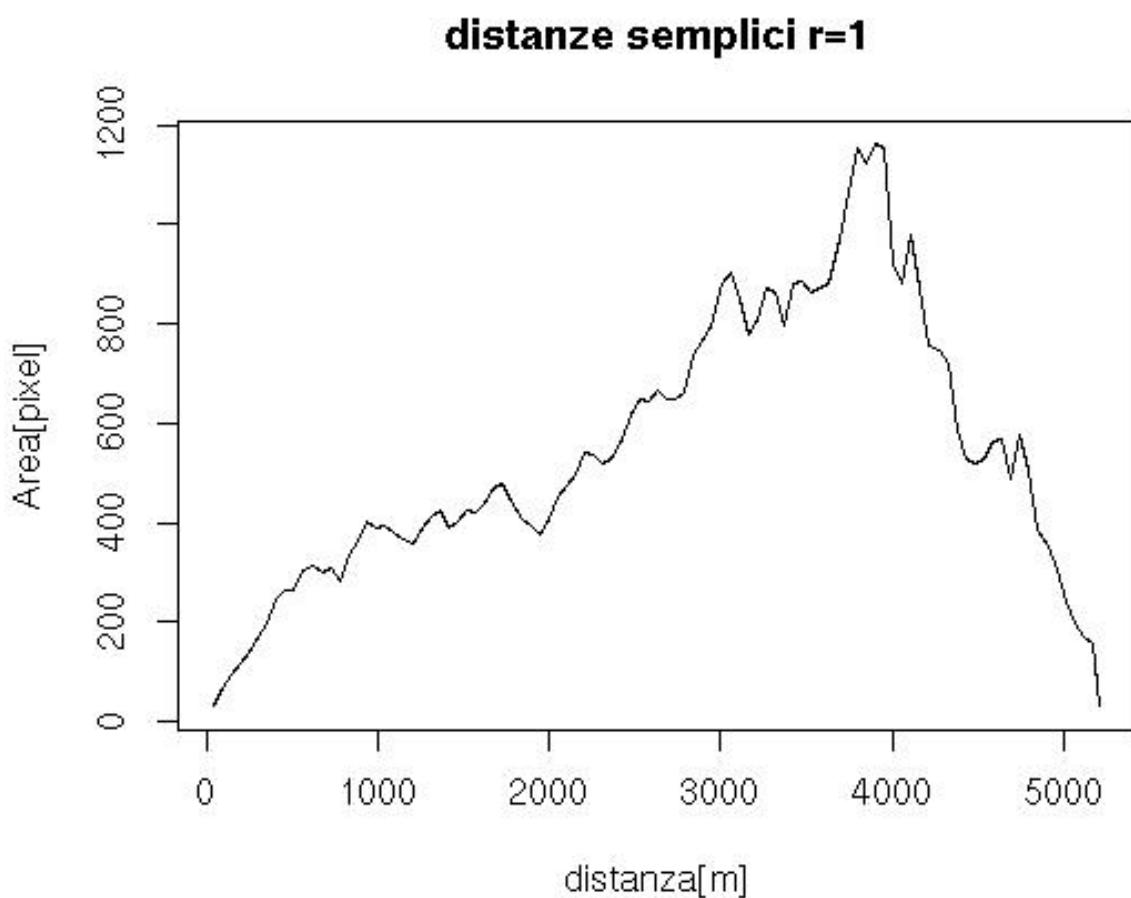
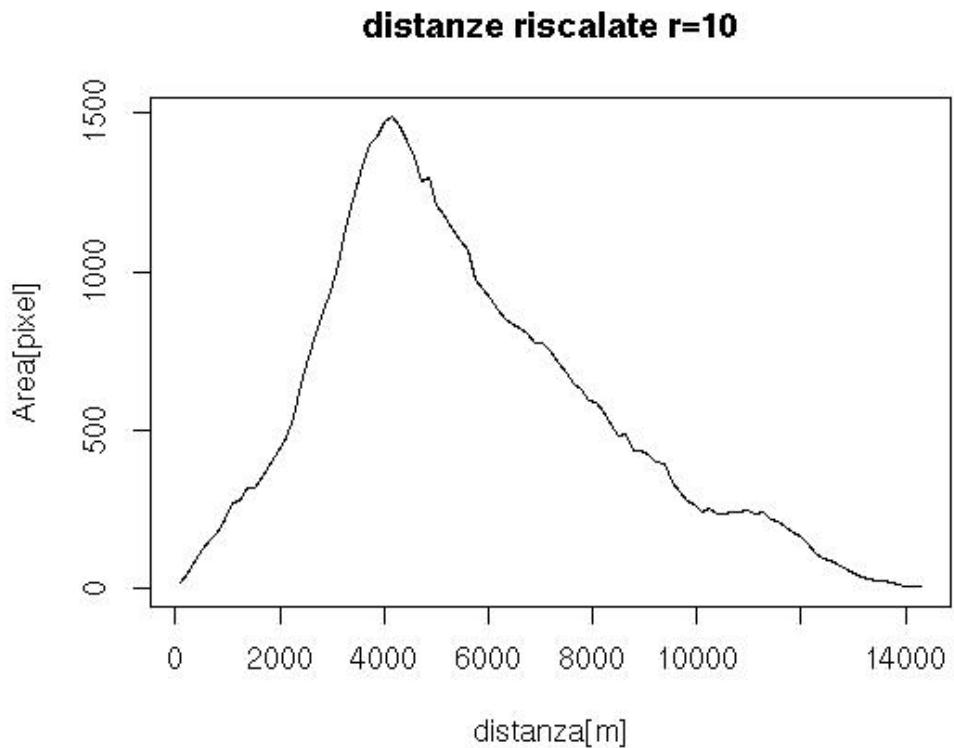
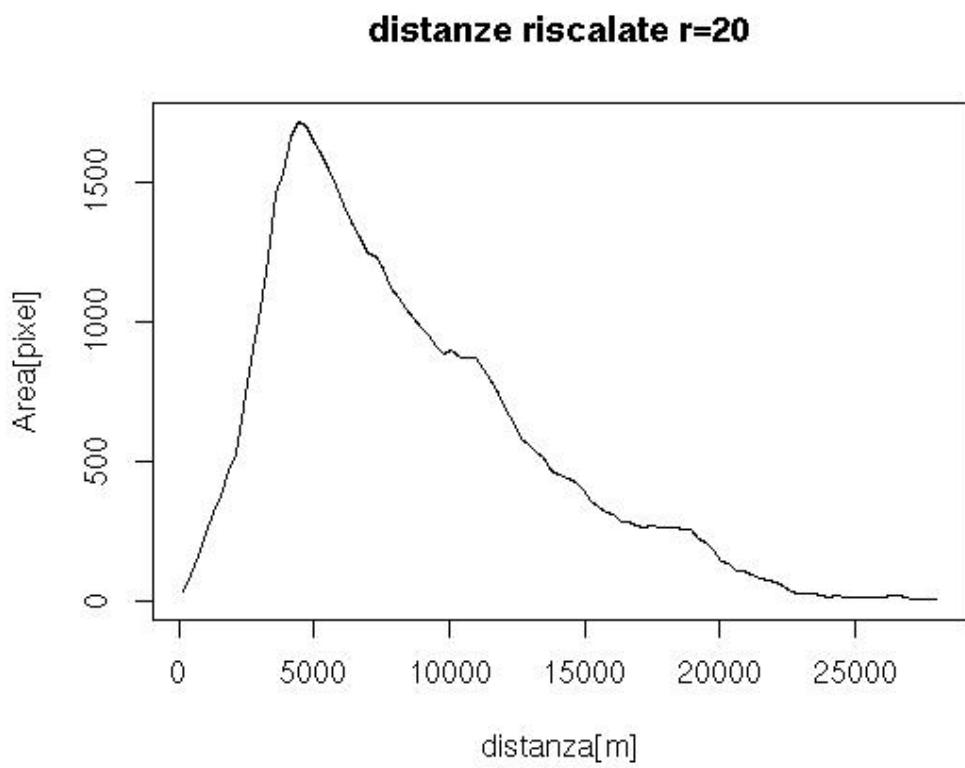


Figura 80: Grafico della funzione d'ampiezza calcolata con  $r=1$

Figura 81: Grafico della funzione d'ampiezza riscalata con  $r=10$ Figura 82: Grafico della funzione d'ampiezza rascalata con  $r=20$

## A. Programmi utilizzati

- *JGrasstools* con interfaccia grafica stand-alone *STAGE 0.7.0*: analisi al calcolatore del DTM  
<https://github.com/moovida/STAGE/releases>
- *QGIS 2.6.0*: visualizzazione delle mappe elaborate tramite *STAGE*  
<http://www.qgis.org/it/site/>
- *RStudio*: calcoli statistici e rappresentazioni grafiche  
<http://r-project.org>
- *Google Maps*: reperimento coordinate  
<http://www.googlemaps.it>
- *Paint* del pacchetto *Office* di *Microsoft*: ritaglio e correzione immagini

## B. Cartografia utilizzata

- *Mapserver* dell'Università di Trento: reperimento DTM e mappe vettoriali del Trentino, risoluzione 10 x 10 metri  
<mapserver.ing.unitn.it/webgis>
- *Google Maps*: reperimento immagini d'inquadramento del territorio  
<http://www.googlemaps.it>

## C. Riferimenti bibliografici

- S. Franceschi, L. Perathoner, M. Bancheri, M. Toro “Iniziare con i *JGrassTools*”: lucidi del corso di Idrologia, 4 marzo 2015  
<http://www.slideshare.net/SlidesAboutHydrology/presentations>
- S. Franceschi, L. Perathoner “Utilizzare I *JGrassTools* nello *Spatial Toolbox* di *STAGE*”: lucidi del corso di Idrologia, 30 marzo 2015  
<http://www.slideshare.net/SlidesAboutHydrology/presentations>
- S. Franceschi, L. Perathoner, M. Toro, G. Formetta “Analisi Idro-Geomorfologica con JGrassTools e le Horton Machine”: lucidi del corso di Idrologia, 30 marzo 2015  
<http://www.slideshare.net/SlidesAboutHydrology/presentations>
- R. Rigon, M. Dall'Amico “Una introduzione ad *R* – parte I”: lucidi del corso di Idrologia, 6 marzo 2012  
<http://www.slideshare.net/SlidesAboutHydrology/presentations>
- Manuale *Horton Machine*  
<https://dl.dropboxusercontent.com/u/4762277/Corsoldrologia/t-HortonMachine.pdf>

- Studio tecnico sul Rio Farinelli  
[http://www.appa.provincia.tn.it/.../Farinelli\\_relazione\\_mappe.1358175240.pdf](http://www.appa.provincia.tn.it/.../Farinelli_relazione_mappe.1358175240.pdf)
- Rio Farinella – Fiumi: presentazione zona di studio  
[http://www.fumi.com/acque/index.php?id\\_g=2230](http://www.fumi.com/acque/index.php?id_g=2230)
- E. Fontana “Tesi di Laurea Magistrale in Scienza dell’Antichità”, 2012/2013: descrizione del territorio  
<http://dspace.unive.it>
- Aspetti tecnici  
[http://Osservatorio.energia.provincia.tn.it/bilanci\\_idrici/aspettiquantitàAPRIE/07\\_Rela zione\\_tecnica\\_fersina.pdf](http://Osservatorio.energia.provincia.tn.it/bilanci_idrici/aspettiquantitàAPRIE/07_Rela zione_tecnica_fersina.pdf)
- ITG A. Pozzo “Dinamica dei corsi d’acqua – Opere di Sistemazione Fluviale con cenni di Ingegneria Naturalistica”: definizioni  
<http://www.ittpozzo.it/.../Schede%20dinamica%20dei%20corsi%20d'acqua.pdf>