



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

CORSO DI LAUREA IN TECNOLOGIE FORESTALI E AMBIENTALI

LA PIENA VAIA NEL BACINO DEL FIUME CELLINA: ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI E IDROMETRICI

Relatore:

Prof. Marco Borga

Correlatore:

Prof. Mattia Zaramella

Dott. Eleonora Dallan

Laureanda:

Laura Rosa Uliana

Matricola n.

1203893

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Indice

Riassunto.....	4
1. Introduzione.....	5
2. Caratterizzazione dell'area studio	7
2.1. Inquadramento del bacino del torrente Cellina.....	7
2.1.1. Inquadramento geografico.....	7
2.1.2. Inquadramento geomorfologico.....	8
2.1.3. Inquadramento geo-litologico.....	12
2.1.4. Struttura idrografica.....	13
2.1.5. Inquadramento vegetazionale.....	15
2.1.6. Climatologia.....	15
2.2. Tempesta Vaia.....	19
2.2.1. Descrizione, origine ed evoluzione.....	19
2.2.2. Impatto in Friuli Venezia-Giulia e nel bacino del Cellina.....	21
2.2.3. Danni.....	23
3. Materiali e metodi.....	24
3.1. Elaborazione dati pluviometrici.....	24
3.2. Elaborazione dati idrometrici.....	29
3.3. Rappresentazione grafica dello ietogramma e dell'idrogramma.....	32
3.4. Calcolo del bilancio idrologico.....	33
3.5. Schianti boschivi.....	35
3.6. Elaborazioni dati con software QGis.....	37
4. Risultati e discussione.....	39
4.1. Precipitazioni cumulate.....	39

4.2.Precipitazione media areale.....	43
4.3.Grafico combinato ietogramma e idrogramma.....	44
4.4.Bilancio idrologico.....	46
4.5.Mappatura della precipitazione e degli schianti boschivi.....	46
5. Conclusioni.....	52
6. Appendice.....	54
7. Ringraziamenti.....	64
8. Bibliografia.....	65
9. Sitografia.....	65

Riassunto

L'evento Vaia è stata una tempesta di origine ciclonica di straordinaria intensità, caratterizzata da precipitazioni molto intense e venti di eccezionale velocità, che ha colpito l'Italia dal 27 al 30 ottobre 2018. Attraverso questa tesi viene effettuata un'analisi della tempesta Vaia su una delle zone in cui ha raggiunto la massima intensità: il bacino idrografico del torrente Cellina.

Il bacino del Cellina è situato nella parte nord-occidentale del Friuli Venezia-Giulia, nella zona delle Prealpi Carniche e presenta una superficie di circa 380 km², considerata come sezione di chiusura la diga del lago artificiale di Barcis. Il torrente Cellina nasce ai piedi del Monte Gialina ad una quota di circa 650 m s.l.m., e durante il suo percorso viene alimentato da diversi affluenti, tra cui il torrente Cimoliana e il torrente Settimana.

L'obiettivo generale di questa tesi è quello di ricostruire la piena Vaia sul bacino del torrente Cellina effettuando un'analisi dei dati pluviometrici ed idrometrici relativi all'evento. I metodi di analisi utilizzati sono i seguenti: calcolo delle precipitazioni cumulate, stima della precipitazione media areale, rappresentazione grafica dello ietogramma e dell'idrogramma, calcolo del bilancio idrologico e costruzione delle mappe di interpolazione della precipitazione e relative agli schianti boschivi con il software QGis.

Dalle analisi effettuate il giorno più piovoso è risultato essere il 28 ottobre, mentre il 29 ottobre è il giorno in cui è stato raggiunto il valore più alto di intensità di precipitazione. Osservando i valori delle precipitazioni medie annue in Friuli, durante l'evento Vaia in soli quattro giorni sul bacino è caduta circa $\frac{1}{4}$ della precipitazione che in media sarebbe dovuta cadere in un anno.

1. Introduzione

L'evento Vaia è stata una tempesta di origine ciclonica di straordinaria intensità che ha colpito l'Italia, in particolar modo la parte settentrionale, dal 27 al 30 ottobre 2018. La tempesta è stata caratterizzata da precipitazioni molto intense, soprattutto il 28 e il 29 ottobre, e da venti di eccezionale velocità, che hanno raggiunto in alcuni punti anche 200 km/h. I danni causati da questo evento naturale sono molteplici, tra cui il più significativo è l'abbattimento di milioni di metri cubi di alberi, che ha messo in ginocchio la gestione nelle nostre foreste. Una delle regioni maggiormente colpite dalla tempesta Vaia, oltre il Veneto e il Trentino Alto-Adige è il Friuli Venezia-Giulia.

Attraverso questo elaborato si vuole effettuare un'analisi dei dati pluviometrici e idrometrici della piena Vaia sul bacino del torrente Cellina, situato nella parte nord-occidentale del Friuli Venezia-Giulia, che è una delle zone in cui la tempesta Vaia ha raggiunto la sua massima intensità.

L'obiettivo generale di questa tesi è quindi quello di ricostruire la piena Vaia sul bacino idrografico del Cellina analizzando i dati pluviometrici e idrometrici relativi all'evento. Attraverso l'analisi dei dati pluviometrici si vuole pesare l'intensità della tempesta sul bacino del Cellina, determinando qual è stato il giorno mediamente più piovoso e dove e quando la tempesta ha raggiunto la sua massima intensità, verificando se queste zone coincidono con quelle in cui si sono verificati i maggiori schianti boschivi. Inoltre, si vogliono ottenere delle mappe di distribuzione della precipitazione sul bacino del Cellina relative all'evento totale e ai due giorni in cui ha piovuto di più durante la tempesta (28 e 29 ottobre 2018). Dall'analisi dei dati idrometrici si vuole ottenere una rappresentazione dell'idrogramma di piena che descriva il variare della portata del torrente Cellina al variare dell'intensità di precipitazione, determinando quando e qual è stata la portata più elevata del Cellina durante la piena Vaia. Infine, si vuole effettuare un bilancio idrologico dell'evento stimando i m³ di afflussi e deflussi nel bacino del Cellina.

L'elaborato è strutturato nel seguente modo:

- 1) Nella *Caratterizzazione dell'area studio* viene fatta una descrizione del bacino idrografico a livello geomorfologico, idraulico, vegetazionale e litologico e una descrizione della climatologia della zona. Viene descritta l'evoluzione della tempesta Vaia, in generale e con una panoramica nel Friuli Venezia-Giulia.
- 2) Nei *Materiali e metodi* vengono presentati i dati in esame (pluviometrici, idrometrici e relativi agli schianti boschivi) e una trattazione delle analisi effettuate che prevedono:

- Calcolo delle precipitazioni cumulate relative all'evento totale, ai singoli giorni di durata dell'evento
 - Calcolo precipitazioni cumulate massime per 1, 3, 6 e 12 ore
 - Calcolo della precipitazione interpolata
 - Costruzione dello ietogramma e dell'idrogramma
 - Calcolo del bilancio idrologico
 - Creazione di mappe di interpolazione della precipitazione e degli schianti boschivi utilizzando il software QGis
- 3) Nei *Risultati e discussione* vengono riportati i risultati ottenuti durante le elaborazioni con eventuali commenti a riguardo

2. Caratterizzazione dell'area studio

2.1. Inquadramento del bacino del torrente Cellina

2.1.1. Inquadramento geografico

Il bacino del torrente Cellina si trova nella parte Nord-Occidentale del Friuli Venezia-Giulia, nella zona delle Prealpi Carniche e confina a nord-est con il bacino del fiume Tagliamento, a est con il bacino del torrente Meduna, a ovest con il bacino del fiume Piave e a sud-est con la pianura pordenonese (*Figura 1*).

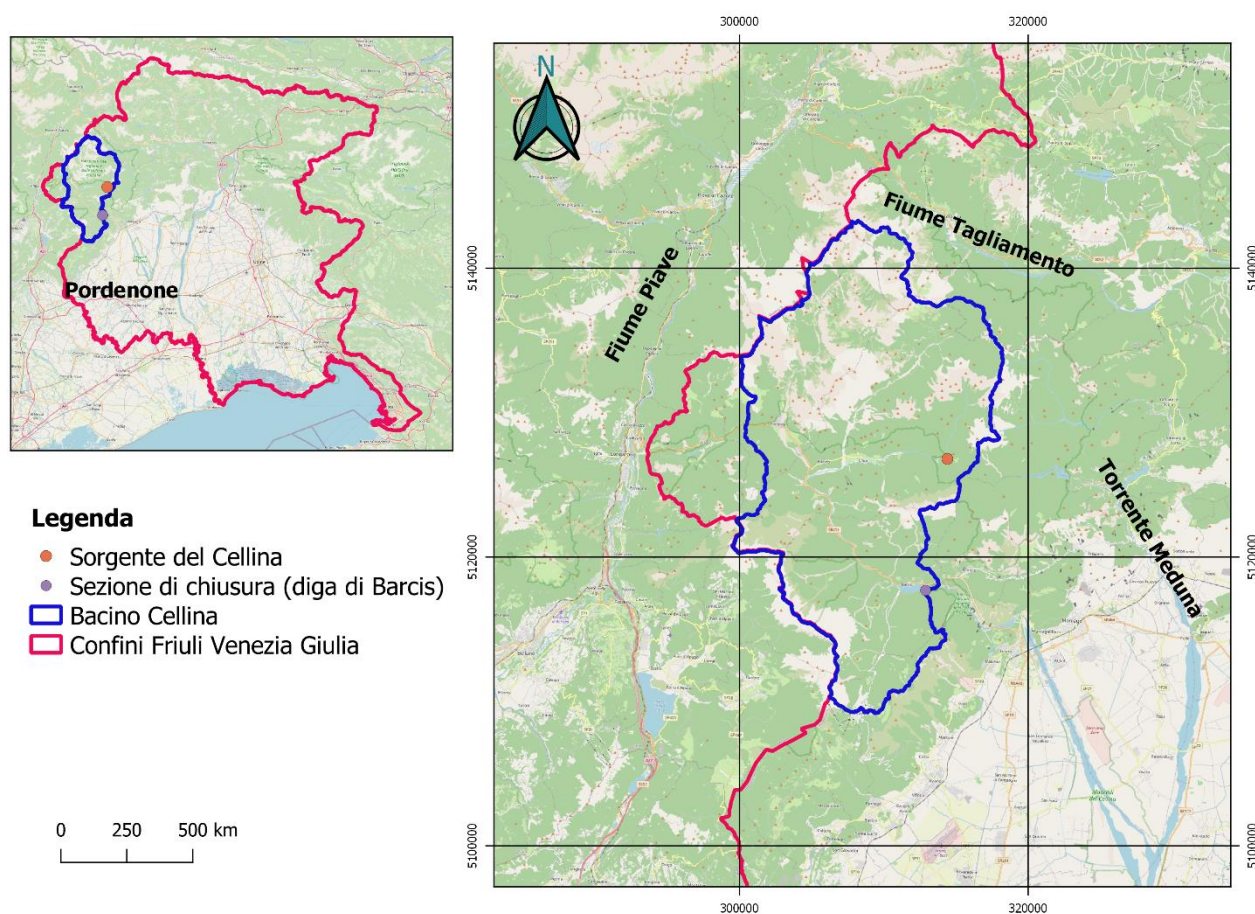


Figura 1-Localizzazione bacino del Cellina

La sorgente del Cellina si trova ai piedi del Monte Gialina (1634 m s.l.m.), in località Margons nel comune di Claut (PN), ad una quota di circa 650 m s.l.m. A partire dalla sorgente scorre in direzione occidentale nella valle Clautana, fino alla spianata di Pinedo, dove si congiunge con il torrente Settimana, primo principale affluente, e subito dopo con il torrente Cimoliana, secondo principale affluente. A questo punto il Cellina si apre un varco tra il monte Resettum (2067 m s.l.m.) e il Col Nudo (2471 m s.l.m.), creando una stretta valle che arriva fino alla conca di Barcis (402 m s.l.m.). Quest'ultima è stata sbarrata da una diga realizzata dalla SADE negli anni 50' (fine

costruzione anno 1954) con il fine di realizzare il bacino artificiale denominato lago di Barcis o lago Aprilis. Oltrepassata la diga, il Cellina percorre una lunga gola, denominata Forra del Cellina, in cui riceve da sinistra il torrente Molassa. A questo punto il suo percorso è nuovamente sbarrato da un'altra diga che porta alla formazione di un lungo bacino, denominato lago di Ravedis. I comuni bagnati dal Cellina, partendo dalla parte più settentrionale fino alla diga di Barcis, sono Cimolais, Claut, Barcis e Andreis.

2.1.2. Inquadramento geomorfologico

Il bacino del Cellina si estende per circa 379 km² nella sua parte montana, presa come sezione di chiusura la diga del lago artificiale di Barcis (**Figura 2**), di coordinate riportate nella **Tabella 1**.

	COORDINATE CARTESIANE	
	X	Y
Diga Barcis	775912	5121046

Tabella 1-Coordinate diga di Barcis (sezione di chiusura del bacino)



Figura 2-Diga di Barcis (fonte: dolomiti.it)

Nella **Tabella 2** sono riportate le caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino del torrente Cellina. Il tempo di corrivazione, tempo che impiega una generica goccia di pioggia ad andare dal punto idraulicamente più lontano alla sezione di chiusura del bacino in esame, è stato calcolato considerando una velocità di reticolo di 2,0 m/s e una velocità di versante di 0,05 m/s.

Bacino idrografico Cellina	
Superficie bacino (Km ²)	379
Altezza minima (m s.l.m.)	361
Altezza intermedia (m s.l.m.)	1289
Altezza massima (m s.l.m.)	2703
Tempo di corrvazione (ore)	9

Tabella 2-Caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino del torrente Cellina

Nella zona più alta, il bacino è costituito da tre valli a ventaglio, che convergono nel grande deposito alluvionale che è la conca di Pinedo (Claut). Partendo da nord-ovest le tre valli sono: la Val Cimoliana, la Val Settimana e la Val Cellina di Claut o Val Clautana. L'area più a valle, invece, è detta Val Cellina di Barcis e ha caratteristiche di canale scavato nella roccia. In quest'area il Cellina riceve importanti subaffluenti, per poi sfociare nel lago artificiale di Barcis. Subito a valle del lago la gola si approfondisce rapidamente fino a diventare una forra costituita da rocce subverticali che vanno a formare un vero e proprio canyon. L'alveo ritorna moderatamente ad allargarsi solo in corrispondenza dell'invaso nel lago artificiale di Ravedis, per poi proseguire fino all'uscita in pianura.

Nella Val Cellina di Claut le acque scorrono superficialmente (**Figura 3 e 4**), mentre, nella Val Settimana (**Figura 5**) e nella Val Cimoliana (**Figura 6**), l'alveo è per quasi tutto il suo percorso sempre asciutto; solo in corrispondenza di grandi piene l'acqua scorre superficialmente. La displuviale (o linea spartiacque) che delimita il bacino idrografico, è quasi sempre superiore ai 1500 m s.l.m. (**Figura 7**), e percorrendola si incontrano alcune tra le più importanti cime delle Prealpi Carniche: il Monte Raut (2020 m.s.l.m.), il Monte Caserine (2309 m.s.l.m.), il Col Nudo (2471 m.s.l.m.), Cima Monfalcon (2703 m s.l.m.) e il Monte Cavallo (2250 m.s.l.m.). Le quote dell'alveo si aggirano attorno a 330 m s.l.m., mentre i versanti precipitano con dislivelli che in alcuni casi possono superare i 500 m. Le pendenze medie dei versanti sono di 45°-50° con pareti verticali molto frequenti che possono raggiungere altezze di parecchie decine di metri.

Nella parte settentrionale del bacino sono presenti una serie di catene montuose che partono da nord-est e arrivano fino a sud-ovest in corrispondenza della conca di Pinedo, in cui sono presenti le vette più alte del bacino. Alcune tra le vette più alte sono: Monte Cornaget (2323 m s.l.m.), Cima dei Preti (2703 m s.l.m.), Monte Duranno (2668 m s.l.m.).



Figura 3 - Torrente Cellina in prossimità della sorgente



Figura 4-Torrente Cellina vicino a imbocco lago di Barcis



Figura 5-Torrente Settimana



Figura 6-Torrente Cimoliana dal ponte di Cimolais

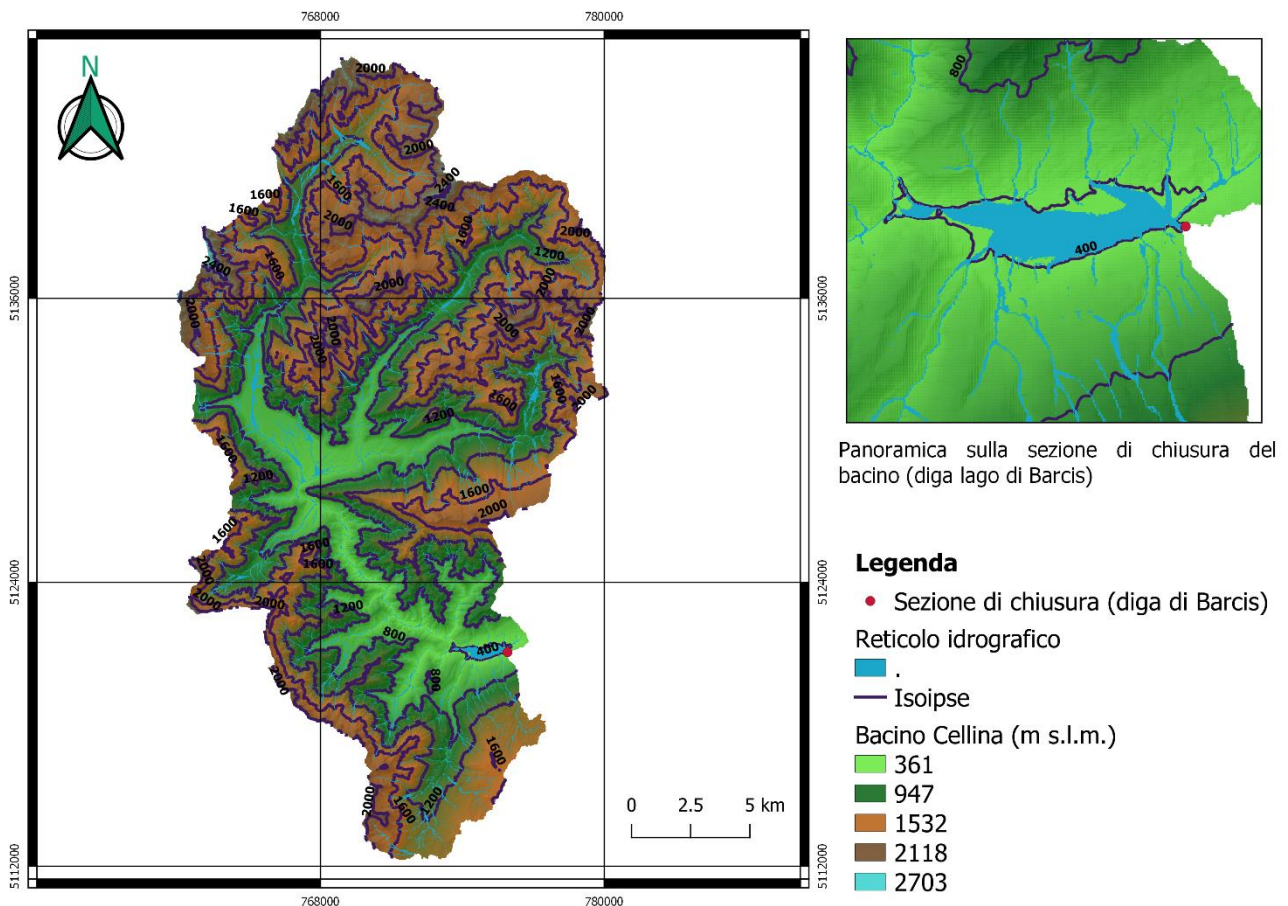


Figura 7- Bacino del torrente Cellina con isoipse (m s.l.m.)

2.1.3. Inquadramento geo-litologico

La geologia del bacino del Cellina è abbastanza varia, ma la composizione principale e distintiva è di carattere calcareo-dolomitico. Infatti, il bacino è costituito quasi totalmente da tipologie litologiche appartenenti all'Era Secondaria, come le dolomie e il calcare. Sono presenti in una piccola percentuale anche tipi litologici dell'Era terziaria, come la scaglia rossa, marne ed arenarie. Localmente questi terreni appartenenti all'Era Secondaria e Terziaria sono ricoperti da formazioni appartenenti all'Era Quaternaria, come materiali morenici, alluvionali e detriti di frana e di falda. Questa composizione litologica porta il bacino ad essere costituito da rocce poco permeabili. Solo il 20% dell'area totale è formato da rocce permeabili, che corrisponde complessivamente a una superficie di circa 89 km².

A causa di una scarsa copertura boschiva, che non supera il 40% della superficie totale (causa della pratica disordinata del pascolo effettuata in passato), il bacino è caratterizzato da un forte dissesto idrogeologico, con processi erosivi molto intensi che portano alla formazione di frane e inghiaimenti. Ad oggi sono segnalate due grandi frane: quella del Pian delle Crode in Val Clautana e quella del torrente Bettigia presso Barcis. Inoltre, sono segnalate come aree franose le scarpate dei torrenti Caulana e Caltea, due affluenti di destra del Cellina di Barcis.

La grande potenza erosiva dei tronchi superiori, che diventa molto intensa durante gli eventi di piena, trasporta e infine deposita parte di questi sedimenti nel lago di Barcis (circa 360000 m³/anno), con una conseguente diminuzione della sua capienza, che ad oggi è arrivata al 50 %.

2.1.4. Struttura idrografica

Il bacino del torrente Cellina è un sottobacino che fa parte del bacino idrografico del fiume Livenza, che si trova per una parte in Veneto e per una parte in Friuli Venezia-Giulia. Il Cellina è lungo circa 30 km fino alla diga di Barcis, per poi continuare per circa altri 28 km fino a sfociare nel Livenza. Ciascuna delle tre valli presenti nella parte settentrionale del bacino prende il nome dal torrente che la attraversa. Partendo da nord-ovest questi torrenti sono: Cimoliana, Settimana e Cellina (**Figura 8 e 9**). Dato che i torrenti Cimoliana e Settimana presentano l'alveo per quasi tutto l'anno completamente asciutto, è stata considerata la Val Cellina la naturale continuazione della valle principale del bacino, in cui il torrente Settimana e Cimoliana sono i principali affluenti. Proseguendo lungo il percorso dell'alveo, lasciando la Val Cellina di Claut per entrare nella Val Cellina di Barcis, si incontrano molti altri affluenti minori. Tra i più importanti affluenti di destra sono presenti il Prescudin, il torrente Pentina e il torrente Caltea; mentre tra i più importanti affluenti di sinistra troviamo il torrente Varma e il torrente Molassa. In corrispondenza di Barcis (PN) il Cellina si immette nel lago artificiale, per poi continuare il suo percorso in una stretta gola fino al lago artificiale di Ravedis. Oltrepassata questa seconda diga, sbocca infine nei magredi di Montebelluna dove le sue acque scompaiono in un immenso ghiaione e scorrono nel sottosuolo finché non incontrano il torrente Meduna, di cui è affluente di destra. Unitosi al Meduna, continua a scorrere nel sottosuolo per poi risalire in superficie in corrispondenza della zona delle risorgive tra Vivaro e Cordenons per andare a confluire infine nel fiume Livenza.

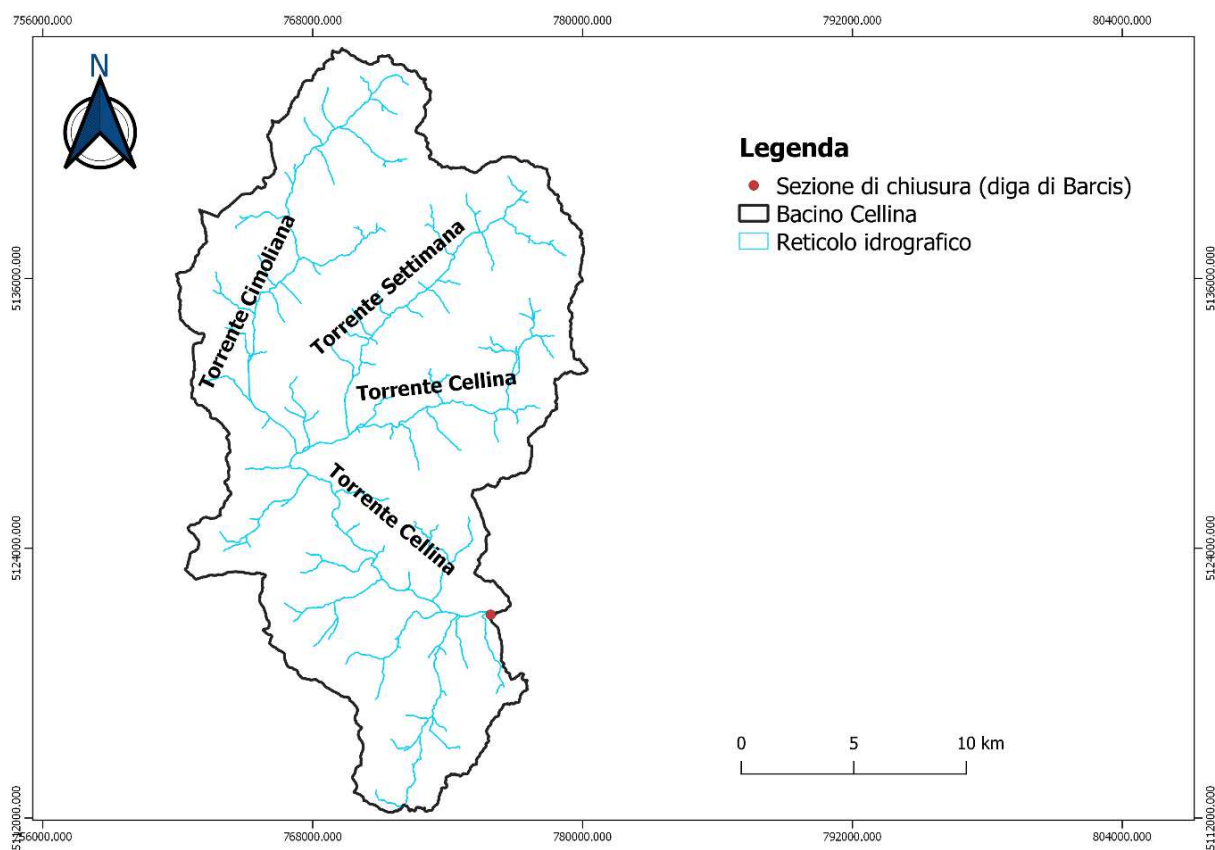


Figura 8- Sistema idrografico bacino del Cellina



Figura 9-Foto satellitare del bacino del Cellina

2.1.5. Inquadramento vegetazionale

I versanti del bacino montano sono coperti per circa un terzo della superficie da vegetazione boschiva per lo più di faggi, abeti e larici fino all'altitudine di 1600 m. Più in alto invece troviamo delle macchie di pini all'interno di pascoli. A causa dell'uso disordinato del pascolo c'è stato un depauperamento del terreno che ha impedito al bosco di estendersi maggiormente. Infatti, l'area boscata rappresenta solo il 40% dell'area totale. La scarsa presenza di copertura boschiva nel bacino, unita alla difficile natura geo-litologica del territorio e alle precipitazioni intense che caratterizzano il bacino, hanno portato alla formazione di una notevole quantità di aree soggette a smottamenti, frane, e forti inghiaamenti, come già descritto al *paragrafo 2.1.3*.

2.1.6. Climatologia

Il Bacino del Cellina rientra all'intero della fascia climatologica che va dalla pedemontana alle Prealpi carniche e presenta caratteristiche via via diverse man mano che si procede all'interno delle valli. Il clima di quest'area presenta tratti alpini mitigati dalla vicinanza della pianura e del mare Adriatico, che lo rendono complessivamente più mite.

Regime pluviometrico

Il Friuli Venezia-Giulia si caratterizza per la sua alta piovosità annua, tanto che le precipitazioni medie annue hanno raggiunto il primato europeo, con valori che si aggirano attorno a 2700 e 3200 mm. Le ragioni di una così elevata piovosità media annua sono principalmente due:

- 1) La regione è geograficamente situata a medie latitudini, in cui c'è un elevato contrasto tra la massa d'aria polare e tropicale, che porta alla formazione di frequenti perturbazioni.
- 2) La complessità orografica della regione influenza notevolmente la formazione e l'evoluzione dei fenomeni metereologici

La fascia delle Prealpi carniche, in cui rientra il bacino del Cellina, è la seconda area nella regione per abbondanza di precipitazioni. In questa fascia le piogge risultano più elevate in corrispondenza dei primi rilievi posti a nord della pianura pordenonese, in cui le precipitazioni medie annue si aggirano attorno ai 2000-2300 mm, ma localmente nel comune di Barcis possono raggiungere anche i 2600 mm (**Figura 10**). Infatti, Barcis è considerata una tra le località più piovose della regione con picchi in primavera e in autunno. Spostandosi verso la parte settentrionale e occidentale della regione, questi valori diminuiscono fino a raggiungere i 1500-1600 mm nei comuni di Erto e Casso e Cimolais. Il mese meno piovoso, osservando la **Figura 11**, risulta essere febbraio, con piogge medie mensili che variano da 90 a 130 mm; invece, il mese in cui le precipitazioni risultano più

elevate è novembre, con picchi di oltre 300 mm. Il numero di giorni piovosi è abbastanza costante e si aggira in media attorno a 115-120 giorni all'anno (**Figura 12**). L'intensità massima delle precipitazioni giornaliere è molto elevata e varia notevolmente a livello territoriale: si va dai 130 mm, nelle zone meno piovose, ai 220 mm nelle zone più piovose (Barcis).

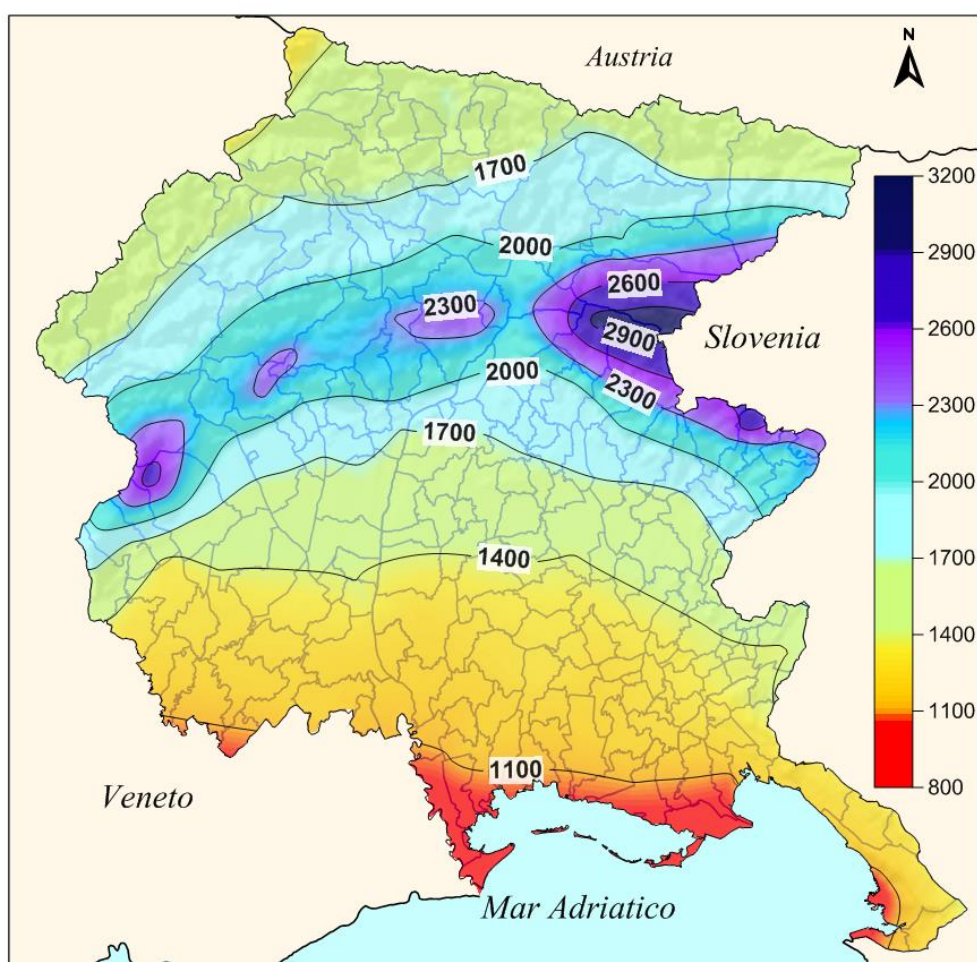


Figura 10-Precipitazioni medie annue Friuli Venezia-Giulia, dati rete metereologica regionale 1961-2010 (Arpa FVG-Osmer (2015) Scheda climatica n. 04 del Friuli Venezia-Giulia-Precipitazioni Prealpi carniche)

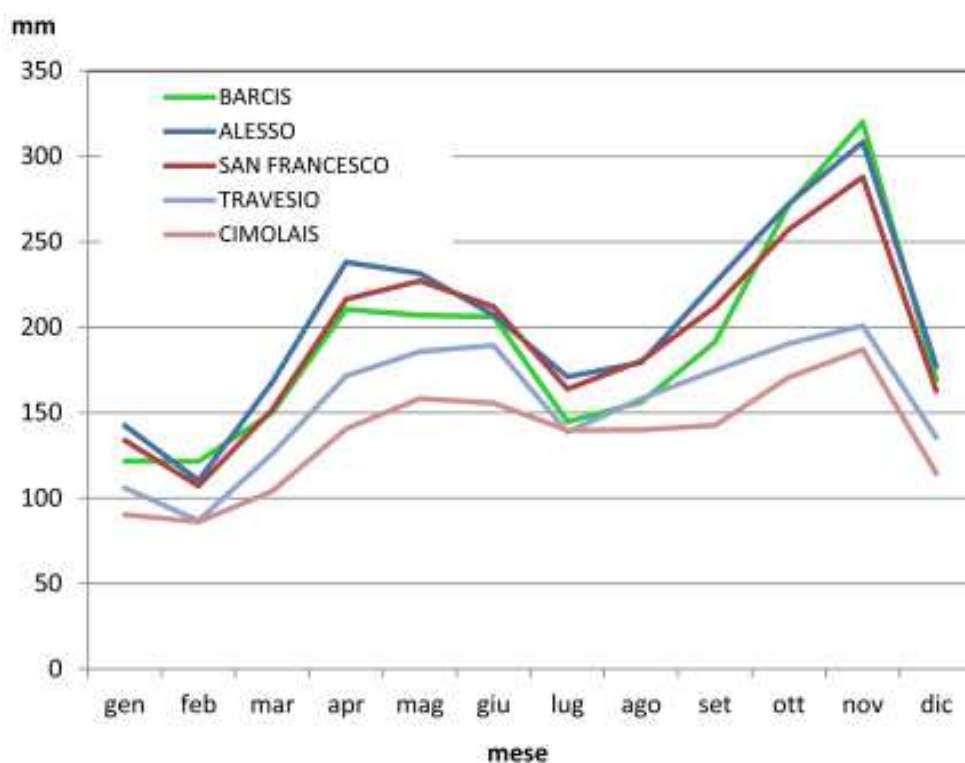


Figura 11 - Andamento delle precipitazioni medie mensili nella località delle Prealpi Carniche, dati rete meteorologica regionale 1961-2010
(Arpa FVG-Osmer (2015) Scheda climatica n. 04 del Friuli Venezia-Giulia-Precipitazioni Prealpi carniche)

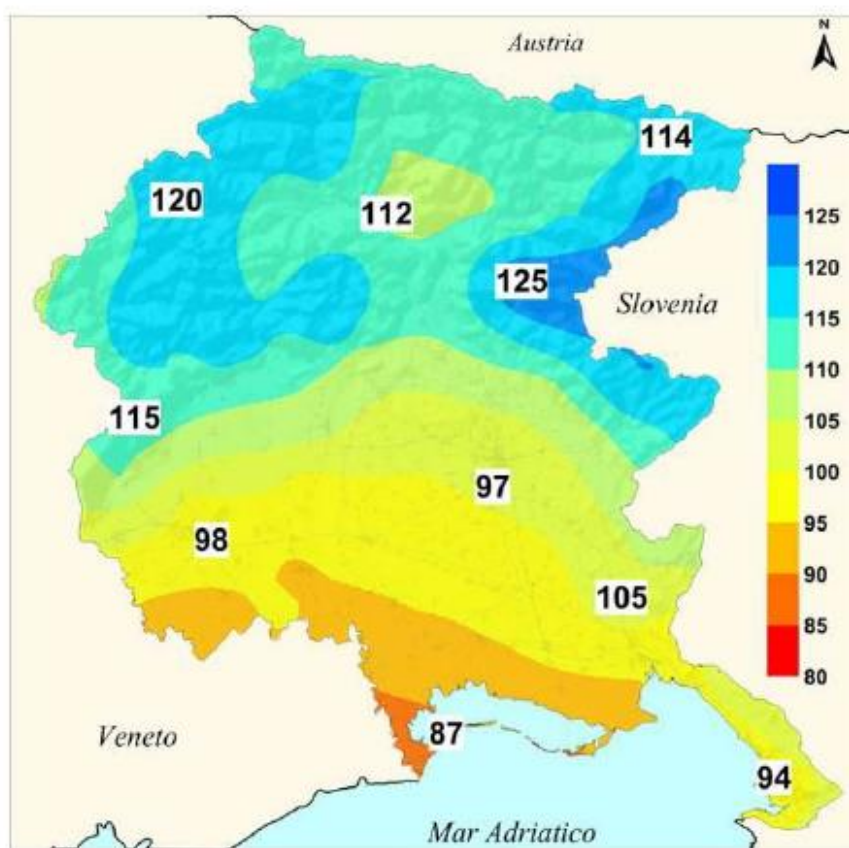


Figura 12-Numero medio di giorni piovosi regione Friuli Venezia-Giulia, dati rete meteorologica regionale 1961-2000 (Arpa FVG (2014) Il clima del Friuli Venezia-Giulia

Regime anemometrico

Il Friuli Venezia-Giulia è una regione nel complesso abbastanza riparata dai venti. La zona più ventosa è la fascia orientale, in cui si trova il capoluogo di regione (Trieste), dove soffia il vento denominato Bora da est-nord-est (**Figura 13**).

Nella zona montana, in cui rientra il bacino del Cellina, i venti predominanti dipendono da caratteristiche locali del territorio, specialmente dall'orientamento delle valli, dalla loro profondità e dalla loro larghezza (in corrispondenza di un restringimento il vento tende ad accelerare). Ogni sito montano possiede le proprie caratteristiche di circolazione dell'aria, che possono essere molto diverse da quelle presenti nelle aree geografiche vicine. Nei fondi valle la velocità del vento è mediamente più bassa rispetto a quella misurata nelle stazioni in vetta, ed è molto variabile. Nel bacino del Cellina la velocità del vento in vetta è in media di circa 2,5 m/s; in valle in media va da 1,0 a 2,0 m/s.

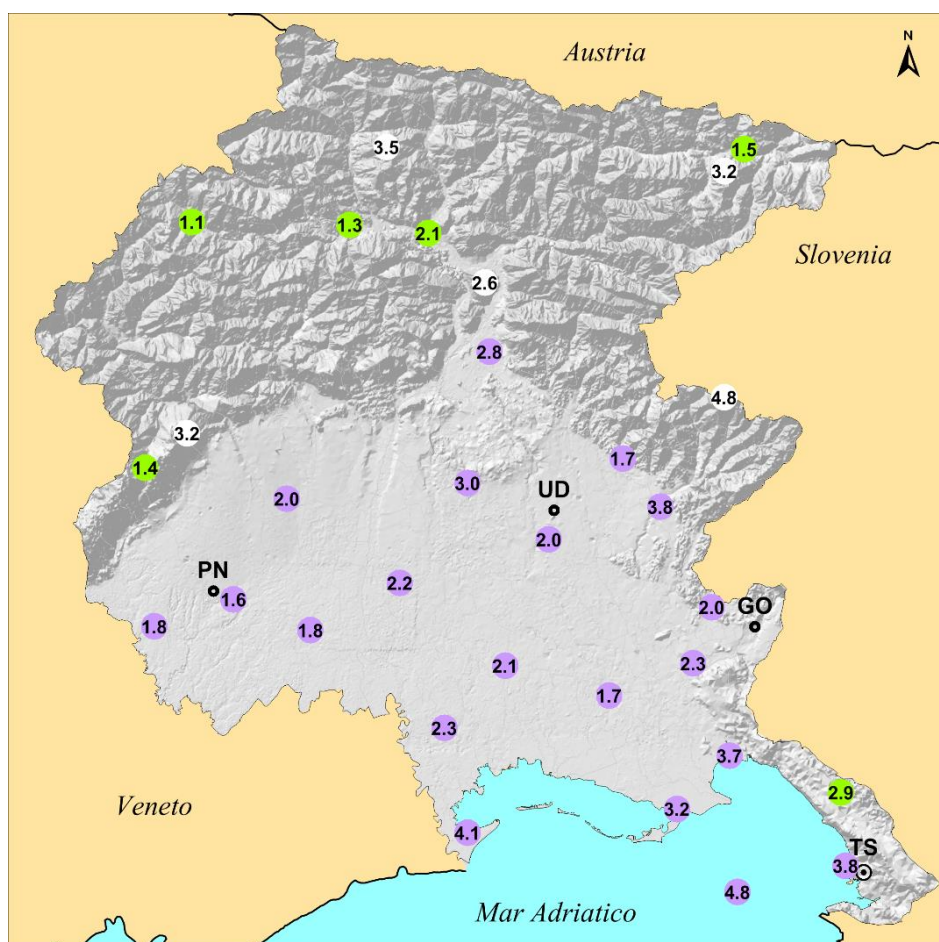


Figura 13-Velocità media del vento a 10 metri d'altezza (m/s). Il colore del punto della stazione indica se si tratta di stazione di pianura o costa (viola), di vetta (bianco) o di valle (verde), dati rete meteorologica regionale 1999-2014 (Arpa FVG (2014) *Il clima del Friuli Venezia-Giulia*)

2.2. Tempesta Vaia

Vaia è stata una tempesta di origine ciclonica di estrema violenza che si è abbattuta sull'Italia, in particolare sulla fascia settentrionale, tra sabato 27 e martedì 30 ottobre 2018. Questa tempesta ha generato precipitazioni molto intense e venti di straordinaria velocità che hanno causato gravi danni su tutto il territorio, tra cui: l'abbattimento di milioni di metri cubi di legname, straripamenti di fiumi con conseguente allagamento di centri abitati, crollo di ponti, frane e danni alle linee elettriche. A tre anni dall'evento, il territorio risente ancora dei danni subiti, soprattutto per quanto riguarda gli schianti boschivi.

2.2.1. Descrizione, origine ed evoluzione

La tempesta Vaia ha avuto inizio venerdì 26 ottobre, quando una profonda saccatura atlantica (configurazione barica caratterizzata da una bassa pressione che si estende da una depressione fino ad incunearsi tra due aree di alta pressione adiacenti) scende dalla Gran Bretagna e si dirige verso la Spagna. Nel mentre, sul nord Italia iniziano ad affluire correnti sud-occidentali umide, e al suolo tende a prevalere il vento caldo proveniente da sud-est, lo Scirocco.

A questo punto la saccatura si sposta verso sud-est scendendo fino a toccare l'Africa, in cui convoglia aria mediterranea molto umida, che va ad interessare l'Italia tra il 27 e 28 ottobre. In questi giorni si verificano piogge molto intense sui monti, con un forte vento da sud-ovest in quota e scirocco al suolo. Successivamente la saccatura tende a staccarsi come goccia fredda sul Mediterraneo occidentale, spingendo un fronte che dal nord-Africa attraversa il Mediterraneo e arriva alle Alpi, dove si sono generate correnti molto forti la sera di lunedì 29 ottobre. Questo evento sommato a quello precedente genera una dinamica metereologica con caratteristiche di eccezionalità, con piogge e venti di scirocco molto intensi il 29. Il 30 ottobre affluiscono correnti fresche e umide vicino al centro depressionario e il vortice ciclonico progressivamente abbandona l'Italia, permettendo un'attenuazione dei venti e delle piogge.

La tempesta Vaia può essere suddivisa in due fasi principali: una prima fase dominata dalle piogge e una seconda fase più intensa in cui la tempesta è andata a rafforzarsi portando alla formazione di forti raffiche di vento.

- *Prima fase:* La prima fase è quella compresa tra sabato 27 e domenica 28 ottobre, ed è caratterizzata da correnti umide di libeccio in direzione Sud e Sud-Ovest e da piogge intense che si sono abbattute sull'Appennino settentrionale e sulle zone montane, dall'alto Piemonte fino alla Carnia. Nella mezzanotte del 28 ottobre, quindi in soli due giorni, si erano già

raggiunti i 300 mm di pioggia in molte zone, a partire dalle Prealpi bresciane fino all'alto Friuli.

Questa prima fase è seguita da una pausa di poche ore che è stata fondamentale per far defluire a valle l'enorme quantità di acqua accumulata nei bacini montani.

- *Seconda fase:* La seconda fase ha inizio la mattina di lunedì 29 ottobre, in cui si verifica un aumento della forza del ciclone causato da un rapido approfondimento del vortice, classificabile quasi come una “ciclogenesi esplosiva”, termine con cui si indica una struttura ciclonica che, al suo interno, riceve una caduta di pressione atmosferica di 24hPa in 24 ore. Questa rapida caduta di pressione è stata causata da una massiccia irruzione di aria fredda a Ovest delle Alpi. L'aumento di depressione ha portato ad un intenso rinforzo dei venti e alla formazione di celle temporalesche autorigeneranti tra la Sardegna, il Mar Tirreno e il Mar Ligure. Nel pomeriggio-sera, come si può osservare dalla **Figura 14**, questa tempesta di vento proveniente da sud-est si è estesa anche sul bacino dell'Adriatico, andando ad abbattersi sui suoli delle Alpi e Prealpi già saturi d'acqua dalle intense piogge del giorno precedente. In queste zone la forza delle raffiche di vento ha subito un'ulteriore intensificazione dovuta alla morfologia delle Alpi e Prealpi, creando il cosiddetto “effetto ad imbuto”, in cui la velocità del vento ha subito una forte accelerazione, raggiungendo un picco di 200 km/h sul Monte Rest nelle Prealpi Carniche.

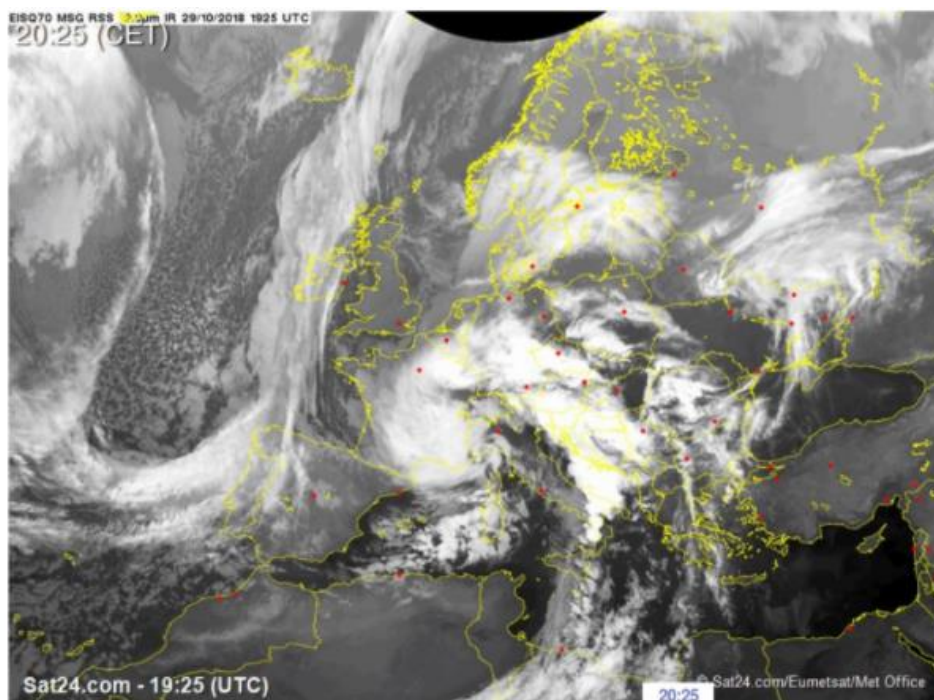


Figura 14-Immagine scattata dal satellite Meteosat-11 alle ore 20:25 di lunedì 29 ottobre 2018; si può osservare la nuvolosità a spirale attorno alla profonda depressione Vaia (Nimbus web (2018) 27-30 ottobre 2018: Scirocco eccezionale, mareggiate e alluvioni in Italia con la tempesta Vaia)

La **Figura 15** riporta le più grandi tempeste che hanno colpito l'Italia dal 1950 ad oggi. Una tempesta molto simile a Vaia per intensità si era già abbattuta sul nord-est dell'Italia nel 1966. Facendo un confronto tra le due si può osservare che hanno avuto un'intensità molto simile, solo che quella del '66 è durata un solo giorno e si è abbattuta principalmente sul Trentino Alto-Adige, mentre la tempesta Vaia è durata quattro giorni e si è abbattuta principalmente in Veneto, Friuli Venezia-Giulia e Trentino Alto-Adige creando dei danni molto più estesi.

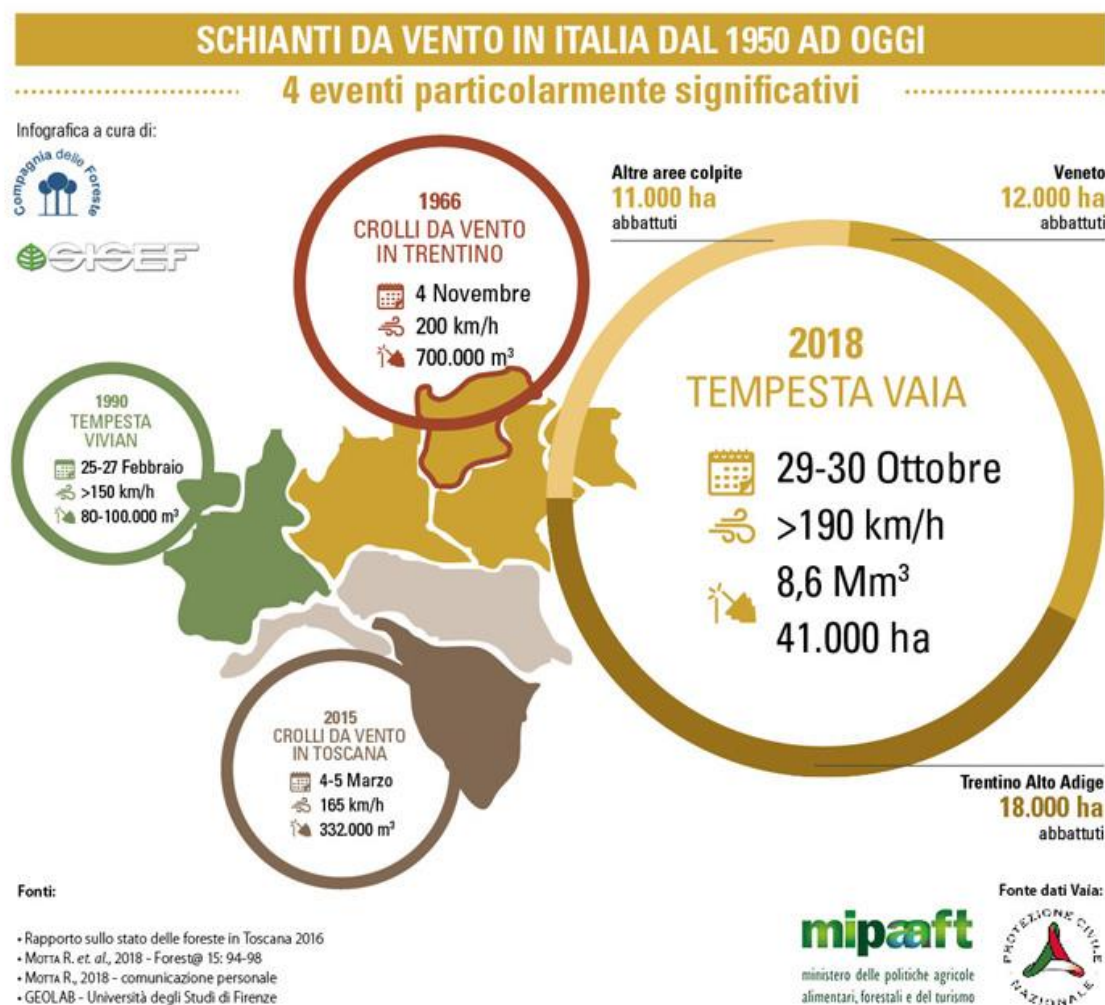


Figura 15- Rappresentazione delle tempeste che dal 1950 ad oggi si sono abbattute sull'Italia Vaia (Nimbus web (2018) 27-30 ottobre 2018: Scirocco eccezionale, mareggiate e alluvioni in Italia con la tempesta Vaia)

2.2.2. Impatto sul Friuli Venezia-Giulia e sul bacino del Cellina

Dalla **Figura 16** si può osservare che una delle zone maggiormente colpite dalle piogge della tempesta Vaia è la fascia nord-occidentale del Friuli Venezia-Giulia. In particolare, la tempesta Vaia ha raggiunto la sua massima intensità proprio sul bacino idrografico del torrente Cellina, dove in alcuni punti, in soli 4 giorni, sono caduti quasi 900 mm di pioggia.

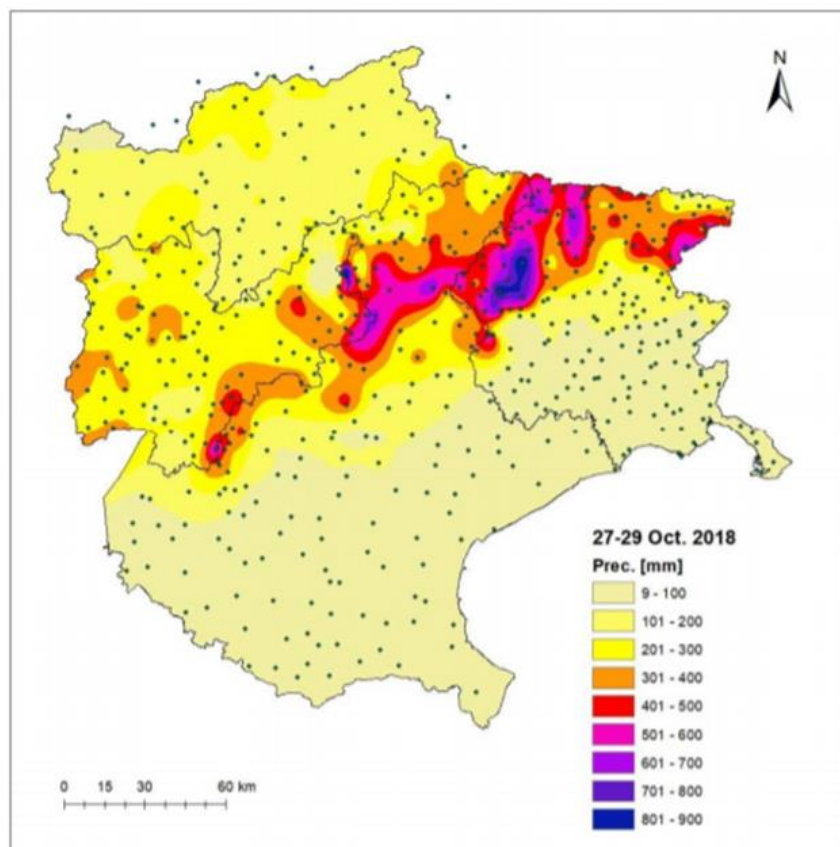


Figura 16-L'immagine riporta la distribuzione dei mm di pioggia caduti tra il 27 e il 29 ottobre 2018 nell'area che comprende il triveneto (Borga M., a.a. 2020-21, *Appunti di lezione*, Laurea triennale in tecnologie forestali e ambientali, Università degli studi di Padova)

Durante la giornata del 27 ottobre, la saccatura ha indirizzato verso il Friuli Venezia-Giulia un flusso di correnti sud-occidentali in quota, e venti di Scirocco al suolo, portando alla formazione di piogge che hanno interessato principalmente le Prealpi Giulie, superando in alcune località i 100 mm (valori ancora nella media per la stagione autunnale). La sera del 28 ottobre, invece, le precipitazioni si sono intensificate sull'area montana, in particolare in Carnia e nelle Prealpi Carniche, arrivando a superare i 300 mm in 24 ore. Dopo questa prima fase è seguita una pausa che va dalla tarda sera del 28 fino alla mattina del 29, in cui le piogge e i venti hanno subito un'attenuazione. Queste poche ore sono state di fondamentale importanza perché hanno permesso ai bacini montani saturi di acqua di farla defluire a valle, alleggerendo il terreno e preparandolo alla fase successiva.

Il 29 mattina la massa d'aria fredda della saccatura si è intensificata, e si è abbattuta sulla regione dal pomeriggio alla sera del 29, provocando precipitazioni di intensità eccezionale tra le Prealpi Carniche e la Carnia, in cui sono stati sfiorati i 300 mm in sole 12 ore. Queste eccezionali piogge sono state accompagnate da un vento molto intenso, con raffiche oltre i 130-150 km/h, con un picco di 200 km/h raggiunto sul Monte Rest (1052 m s.l.m.).

2.2.3. Danni

I danni più ingenti durante la tempesta Vaia sono stati causati dalle intense piogge e dalle violentissime raffiche di vento, manifestatesi soprattutto il 29 ottobre, e che hanno portato all'abbattimento di circa 8,6 milioni di m³ di alberi, per un totale di 41.000 ha, tra Veneto, Friuli Venezia-Giulia e Trentino Alto-Adige.

Oltre all'abbattimento di ettari di superfici boscate si sono verificati danni ai tralicci elettrici, straripamenti di corsi d'acqua con allagamento di strade e centri abitati, frane, crollo di ponti e strade e numerosi danni a edifici.

Per quanto riguarda il bacino del Cellina, nella zona antropizzata il vento ha scoperchiato molti tetti e il torrente Cimoliana ha spezzato una conduttura secondaria che porta il gas a San Floriano, paese vicino a Claut (PN). In alcune strade si sono create delle frane e delle buche nel terreno, con gravi danni alla viabilità secondaria soprattutto in Val Montanaia, Claut. Un'affluente secondario del Cellina, il Varma, è esondato allagando la strada che congiunge Barcis a Claut, situazione ricorrente quando si verificano piogge intense. In tutto il bacino le raffiche di vento hanno portato all'abbattimento di circa 70 mila m³ di alberi (*Figura 17*), con la conseguenza che migliaia di tonnellate di legname sono state spinte a valle dalla corrente e depositate nel lago di Barcis, assieme a un'enorme quantità di sedimenti.



Figura 17-Schianti boschivi nella zona sopra Malga Caolana nel comune di Barcis (PN)

3. Materiali e metodi

Per effettuare un'analisi della piena Vaia nel bacino del fiume Cellina sono stati utilizzati i dati pluviometrici e idrometrici relativi all'evento e i dati relativi agli schianti boschivi.

3.1. Elaborazioni dati pluviometrici

I dati pluviometrici utilizzati nelle elaborazioni sono stati registrati da 26 pluviografi distribuiti nel bacino del torrente Cellina e nelle zone limitrofe. I pluviografi sono degli strumenti puntuali che permettono di misurare l'andamento nel tempo dell'intensità di precipitazione attraverso un grafico, denominato ietogramma. L'intensità di precipitazione o di pioggia è un'unità che indica l'altezza di pioggia caduta in un determinato intervallo di tempo.

Nella **Tabella 3**, per ciascun pluviografo, viene riportata: la posizione (x e y), la quota, la latitudine e la longitudine; informazioni che servono per effettuare l'interpolazione della precipitazione nel bacino.

CODICE	DESCRIZIONE	X	Y	QUOTE (m s.l.m.)	LATITUDINE	LONGITUDINE
F029	Forni di Sopra (Siap/MICROS)	776197	5145860	922	464.098	125.937
F093	Piancavallo (Siap/MICROS)	772329	5112860	1275	461.149	125.244
F095	Barcis (Siap/MICROS)	775542	5121710	468	461.932	12.571
F103300	Piancavallo (CAE)	772132	5112680	1280	461.134	125.217
F103400	Barcis (CAE)	774970	5121650	410	461.928	125.636
F103500	Prescudin (CAE)	769215	5121390	640	461.928	12.489
F103600	Andreis (CAE)	778661	5122490	455	461.989	126.118
F231300	Forni di Sopra (CAE)	775758	5145280	845	464.048	125.876
F232300	Cimolais (CAE)	765051	5131540	650	462.856	124.408
F232400	Lesis (CAE)	773125	5130390	620	462.721	125.448
F487600	Malga Chiampiz (CAE)	783056	5139650	1710	463.512	12.679
F499300	Varmost M.te Simone (CAE)	773396	5150740	1870	464.548	125.602
F499500	Candaglia (CAE)	766277	5106940	1285	460.641	124.429
F502800	Aviano (CAE)	778641	5107510	150	460.644	126.028
F503200	Cellino (CAE)	767592	5127300	508	462.465	124.714
F503400	Claut Tre Pini (CAE)	769731	5129290	563	462.636	125.002
F503900	Baldass (CAE)	775449	5127170	1817	462.423	12.573
F504000	Forcella Savalons (CAE)	768218	5138750	1935	463.492	12.486
F504100	Casera Podestine (CAE)	777392	5133390	1015	462.973	126.018
F504200	Casera Pradut (CAE)	774690	5128650	1425	462.558	12.564
F504300	Erto e Casso (CAE)	759681	5130430	851	462.777	123.706
F504600	Rifugio Pordenone (CAE)	768328	5142040	1173	463.787	124.893
F504700	Rifugio Maniago (CAE)	761251	5135280	1717	463.207	123.937
F504800	Rifugio Pussa (CAE)	776314	5138670	925	463.452	12.591
F504900	Val dei Sass (CAE)	769830	5112710	1808	461.146	12.492
F505000	Val Sughet (CAE)	770879	5113140	1704	461.181	125.058

Tabella 3-Pluviografi presenti nel bacino del Cellina e in prossimità di esso

Nella **Figura 18** viene riportata una mappa del bacino idrografico del Cellina con la distribuzione spaziale dei pluviografi da cui sono stati ricavati i dati pluviometrici.

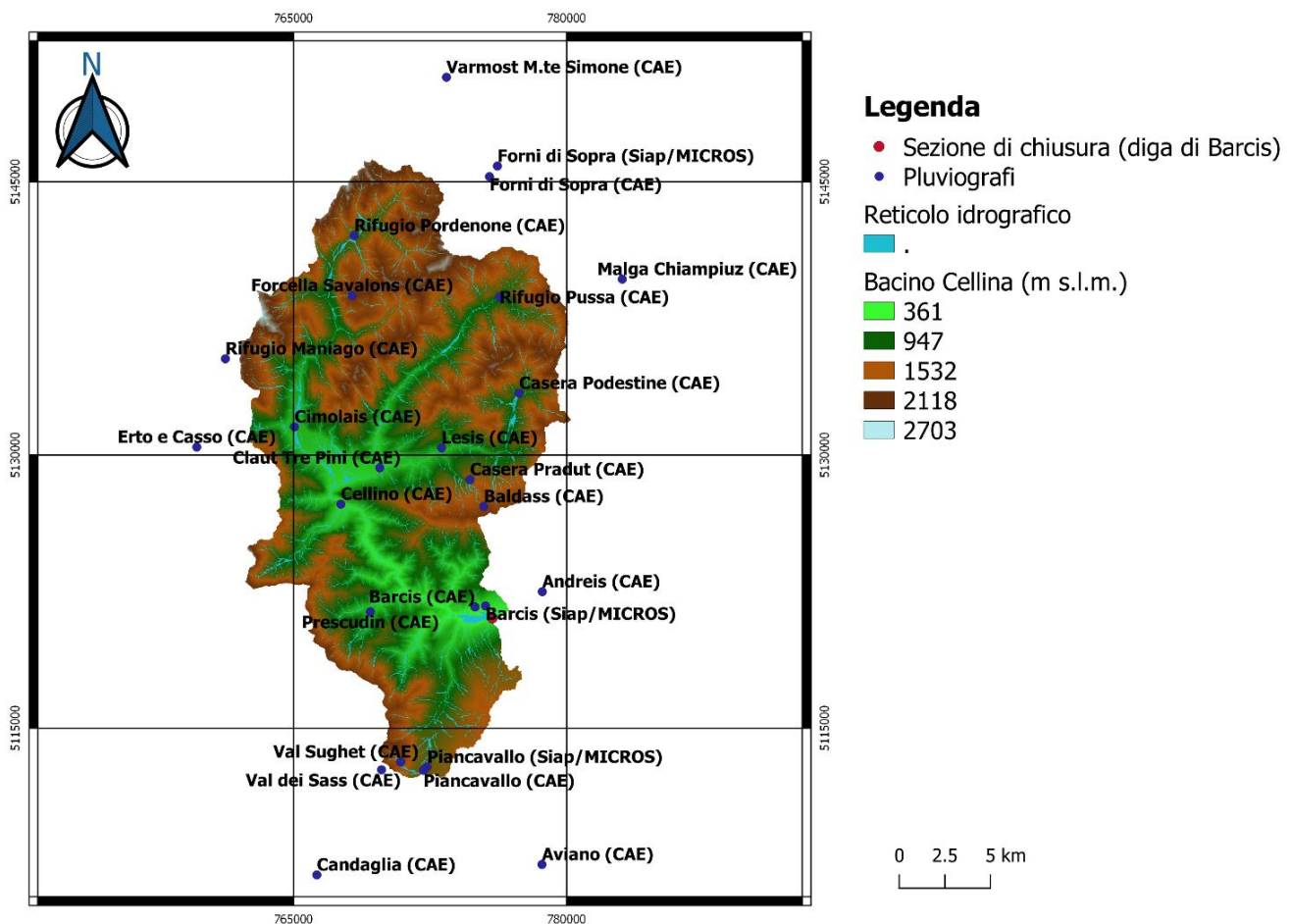


Figura 18-Cartografia bacino del Cellina con distribuzione pluviografi

Le altezze di precipitazione (mm) misurate di ora in ora da ciascun pluviografo, dall'1:00 del 27 ottobre alle 24:00 del 30 ottobre 2018, sono riportate nell'**Appendice A e B**.

Per alcuni pluviografi non sono presenti i valori di altezza di precipitazione per alcune ore, questo potrebbe essere dovuto ad un malfunzionamento dei pluviografi durante l'evento. Ad esempio, il pluviografo F232300 (Cimolais CAE) non ha registrato nessun valore di altezza di precipitazione per la giornata del 30 ottobre. Questa mancanza rende le elaborazioni dei dati meno precise, sia per quanto riguarda i valori puntuali che per quanto riguarda i valori ottenuti attraverso le interpolazioni della precipitazione.

Il valore puntuale più alto dell'altezza di precipitazione registrato in un ora è di 55 mm ed è stato misurato dal pluviografo F504200 (Casera Pradut CAE), in prossimità di Claut (PN), il 29 ottobre alle ore 18.00, che è proprio il momento in cui la tempesta Vaia ha raggiunto la sua massima intensità sul bacino.

Le altezze di precipitazione sono state utilizzate per effettuare i seguenti calcoli:

- 1- Calcolo della precipitazione cumulata relativa a diversi intervalli di tempo:
 - Per l'evento totale
 - Per i singoli giorni di durata dell'evento
- 2- Calcolo della precipitazione cumulata massima relativa a intervalli di tempo di 1, 3, 6 e 12 ore
- 3- Stima della precipitazione media areale

1) Calcolo delle precipitazioni cumulate

La precipitazione cumulata rappresenta la quantità di precipitazione misurata da un pluviometro o pluviografo in un determinato intervallo di tempo, e permette di ottenere informazioni riguardanti la severità dell'evento. È stata calcolata la precipitazione cumulata relativa all'evento totale e ai singoli giorni di durata dell'evento e la cumulata massima relativa agli intervalli di tempo di 1, 3, 6 e 12 ore. Per svolgere i calcoli è stato utilizzato il programma Excel, in cui sono state utilizzate le formule riportate di seguito:

➤ Calcolo precipitazione cumulata totale

La precipitazione cumulata totale corrisponde alla quantità totale di pioggia caduta durante l'evento piovoso (4 giorni per un totale di 96 ore). Per ottenere questo valore, per ciascun pluviografo è stata fatta la somma di tutte le altezze di precipitazione registrate di ora in ora, ottenendo così la precipitazione cumulata totale relativa a ogni pluviografo (***Equazione 1***).

$$H_c = \sum_{i=1}^n h_i \quad [\text{mm}] \quad \textbf{Equazione 1}$$

In cui:

H_c =precipitazione cumulata (mm)

h_i =altezza di precipitazione (mm)

n =numero di valori considerati nell'intervallo di tempo

➤ *Calcolo precipitazione cumulata per i singoli giorni*

Il calcolo per determinare la precipitazione cumulata relativa ai singoli giorni di durata dell'evento è uguale a quello eseguito per il calcolo della precipitazione cumulata totale (*Equazione 1*), solo che sono state sommate le altezze di precipitazione registrate di ora in ora relative a ciascun giorno. In questo modo si è ottenuta la quantità di pioggia puntuale caduta in ognuno dei quattro giorni di durata dell'evento.

2) *Calcolo della precipitazione cumulata massima relativa ad intervalli di tempo di 1, 3, 6, e 12 ore*

Per ottenere la precipitazione cumulata massima per la durata di un'ora, per ogni pluviografo è stato preso il valore massimo di altezza di precipitazione registrato in un'ora. In questo modo si sono ottenuti i valori di precipitazione massima puntuale caduti in un ora durante l'evento.

Per calcolare la precipitazione cumulata per la durata di tre ore sono stati eseguiti due passaggi:

1. Per ogni pluviografo è stata aggregata la quantità di pioggia caduta nell'intervallo di tempo di tre ore scalando di volta in volta di un ora
2. Successivamente è stato scelto il valore più alto tra quelli calcolati. In questo modo si è ottenuta puntualmente la precipitazione cumulata massima caduta nell'arco di tempo di tre ore

Per calcolare la precipitazione cumulata massima per la durata di sei e di dodici ore è stato applicato lo stesso procedimento descritto per il calcolo della precipitazione cumulata massima relativa alle tre ore, solo che in questo caso le altezze di precipitazione vengono sommate di sei in sei, per le sei ore, e di dodici in dodici, per le dodici ore. Infine, tra i valori ottenuti si sceglie quello massimo ottenendo così la quantità massima di precipitazione cumulata caduta in sei e in dodici ore nei punti del bacino in cui si trovano i pluviografi.

3) *Stima della precipitazione media areale*

La precipitazione media areale sul bacino durante l'evento Vaia è stata stimata a partire dai valori puntuali di precipitazione p_i misurati su n stazioni distribuite sul bacino applicando l'*Equazione 2* ora per ora:

$$P_{m,bacino} = \sum_{i=1}^n \lambda_i p_i \quad [\text{mm}] \quad \text{Equazione 2}$$

In cui:

$P_{m,bacino}$ = precipitazione media del bacino

λ_i = ponderatore riferito alla stazione i -esima

p_i = dato di precipitazione riferito alla stazione i -esima

n = numero di pluviografi

Il dato p_i è l'altezza di precipitazione registrata ora per ora dai pluviografi presenti nell'area studio. Il ponderatore (λ_i) è quel coefficiente che permette di assegnare un peso ai valori conosciuti. Maggiore è il coefficiente e minore è il peso del valore. Per determinare i ponderatori λ_i si può utilizzare un metodo denominato “Metodo dei poligoni di Thiessen (o dei tropoietti)”. Attraverso questo metodo la superficie S su cui si vuole determinare la precipitazione media areale viene suddivisa in n zone di influenza S_i , una per ogni stazione pluviometrica. In queste zone sono presenti i punti più vicini alla stazione i , e quindi soggetti a una maggior influenza da parte di essa rispetto alle altre stazioni. Per determinare il valore di ciascun ponderatore si effettuano i seguenti passaggi:

1. Si disegnano le linee che uniscono stazioni adiacenti
2. Si tracciano le mediane perpendicolari alle linee di giunzione che uniscono stazioni adiacenti
3. Si estendono le linee create nel passaggio precedente in entrambe le direzioni in modo da creare le aree di influenza (S_i) di ciascuna stazione
4. Si calcola il valore dell'area di influenza per ogni stazione
5. Infine, si ottiene il ponderatore facendo il rapporto tra l'area di influenza di ciascuna stazione i -esima (S_i) e l'area totale del bacino oggetto di studio (S), come rappresentato dalla formula riportata di seguito (*Equazione 3*)

$$\lambda_i = \frac{S_i}{S} \quad \text{Equazione 3}$$

Applicando l'**Equazione 2** per intervalli di tempo di un ora si ottiene una precipitazione media areale oraria, da cui si ottiene infine, uno ietogramma medio areale sul bacino.

Sommando i valori orari della precipitazione media areale è stata calcolata la precipitazione totale mediamente caduta nel bacino del Cellina durante l'evento Vaia (**Equazione 4**).

$$P_{tot} = \sum_{i=1}^n P_{m,bacino} \quad [\text{mm}] \quad \text{Equazione 4}$$

In cui:

P_{tot} = precipitazione totale mediamente caduta nel bacino durante tempesta Vaia

n = valori orari precipitazione media areale dell'evento totale

$P_{m,bacino}$ = precipitazione oraria interpolata

3.2. Elaborazione dati idrometrici

I dati idrometrici sono stati forniti dalla società (Edison) che gestisce la centrale idroelettrica del lago artificiale di Barcis (o lago Aprilis), attualmente ancora in funzione. Le portate del fiume Cellina non sono state misurate direttamente attraverso degli strumenti idrometrici, ma sono state stimate osservando la variazione di invaso del lago di Barcis (m s.l.m.), le portate delle turbine e le portate scaricate dalla diga. Relazionando questi valori ora per ora si è ottenuta la portata affluente. I dati in questione sono stati registrati dalle ore 0:00 del 28 alle ore 23:00 del 30 ottobre. Mancano i dati relativi al 27 ottobre, giorno di inizio della tempesta Vaia, per questo motivo nel bilancio idrologico non è stato possibile calcolare il volume di deflusso a partire dal 27 ottobre ma è stato calcolato a partire dal 28. La **Figura 19** riporta un grafico in cui si può osservare il cambiamento di invaso del lago di Barcis (m s.l.m.) al variare della portata (m³/s) del fiume Cellina. I valori misurati ora per ora relativi all'invaso, alla portata affluente, alla portata della turbina e alla portata scaricata sono riportati nella **Tabella 4**.

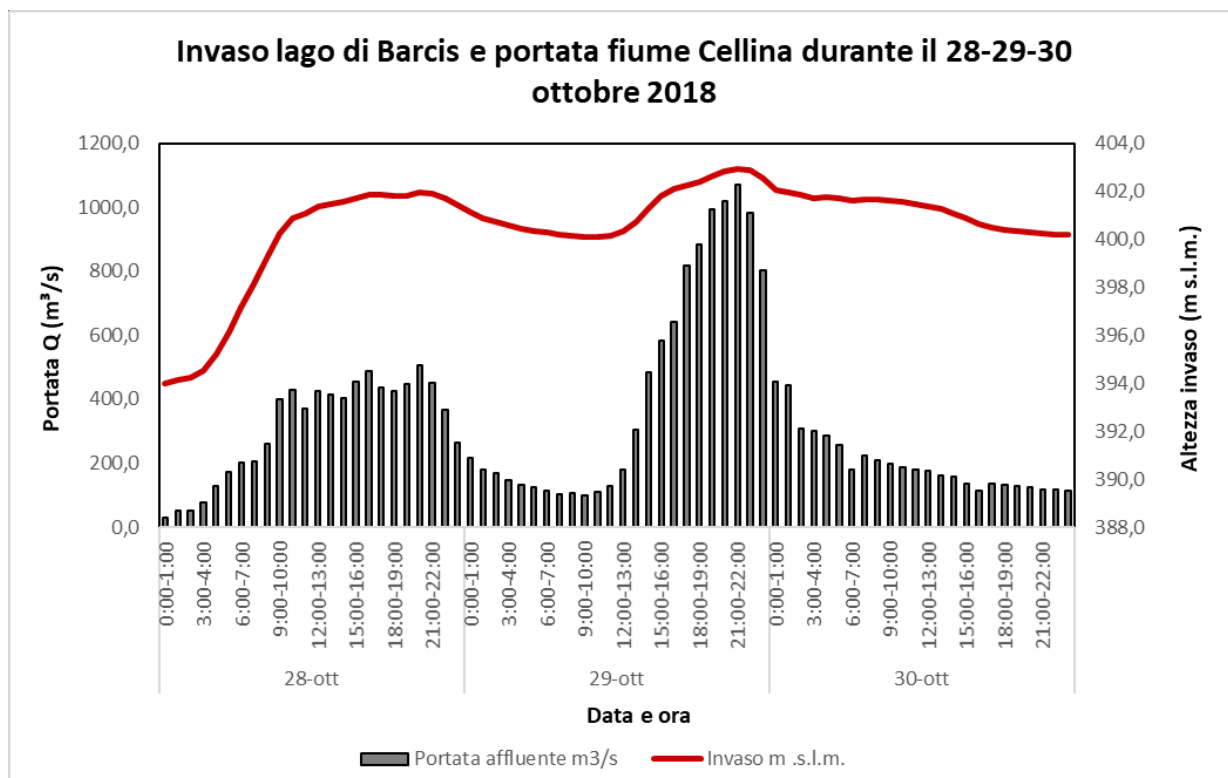


Figura 19-Grafico che riporta la portata affluente nel lago di Barcis e il relativo cambiamento di invaso durante l'evento Vaia dal 28 al 30 ottobre

Data	Ora	Invaso	Portata affluente	Portata turbinata	Portata scaricata
		m .s.l.m.	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
28/10/2018	0:00	393,99	30,5	30,5	0,0
28/10/2106	1:00	394,11	51,2	30,7	0,0
28/10/2106	2:00	394,24	52,9	30,4	0,0
28/10/2106	3:00	394,51	78,1	30,6	0,0
28/10/2106	4:00	395,23	130,0	0,0	0,0
28/10/2106	5:00	396,15	173,9	0,0	0,0
28/10/2106	6:00	397,15	200,3	0,0	0,0
28/10/2106	7:00	398,12	204,4	0,0	0,0
28/10/2106	8:00	399,24	258,9	0,0	10,9
28/10/2106	9:00	400,24	400,8	37,9	128,7
28/10/2106	10:00	400,87	429,9	37,8	238,2
28/10/2106	11:00	401,08	369,0	37,7	279,3
28/10/2106	12:00	401,35	424,0	21,6	334,9
28/10/2106	13:00	401,47	413,7	22,8	360,6
28/10/2106	14:00	401,56	403,1	0,0	380,3
28/10/2106	15:00	401,72	456,2	0,0	416,0
28/10/2106	16:00	401,87	488,6	0,0	450,3
28/10/2106	17:00	401,84	435,6	0,0	443,4
28/10/2106	18:00	401,80	424,2	0,0	434,2

28/10/2106	19:00	401,83	448,6	0,0	441,1
28/10/2106	20:00	401,96	504,6	0,0	471,2
28/10/2106	21:00	401,92	451,6	0,0	461,9
28/10/2106	22:00	401,72	364,9	0,0	416,0
28/10/2106	23:00	401,40	264,7	0,0	345,6
29/10/2018	0:00	401,12	217,3	0,0	287,3
29/10/2018	1:00	400,88	180,4	0,0	240,2
29/10/2018	2:00	400,71	166,8	0,0	208,4
29/10/2018	3:00	400,56	145,0	0,0	181,7
29/10/2018	4:00	400,44	131,7	0,0	161,1
29/10/2018	5:00	400,35	124,6	0,0	146,3
29/10/2018	6:00	400,27	114,0	0,0	133,4
29/10/2018	7:00	400,19	101,9	0,0	121,0
29/10/2018	8:00	400,15	105,3	0,0	115,0
29/10/2018	9:00	400,11	99,3	0,0	109,0
29/10/2018	10:00	400,11	109,0	0,0	109,0
29/10/2018	11:00	400,16	128,7	0,0	116,5
29/10/2018	12:00	400,32	180,0	0,0	141,4
29/10/2018	13:00	400,72	305,2	0,0	210,2
29/10/2018	14:00	401,28	482,8	21,1	320,2
29/10/2018	15:00	401,79	581,4	20,9	431,9
29/10/2018	16:00	402,08	641,5	20,9	546,4
29/10/2018	17:00	402,27	819,0	22,0	748,1
29/10/2018	18:00	402,39	882,4	22,2	829,4
29/10/2018	19:00	402,66	993,4	0,0	923,7
29/10/2018	20:00	402,81	1018,4	0,0	979,5
29/10/2018	21:00	402,95	1070,0	0,0	1033,6
29/10/2018	22:00	402,87	981,6	0,0	1002,5
29/10/2018	23:00	402,55	801,5	0,0	884,3
30/10/2018	0:00	402,05	454,4	0,0	583,0
30/10/2018	1:00	401,95	443,1	0,0	468,9
30/10/2018	2:00	401,87	307,2	0,0	327,5
30/10/2018	3:00	401,72	299,5	0,0	337,9
30/10/2018	4:00	401,77	287,5	0,0	274,7
30/10/2018	5:00	401,71	255,9	0,0	271,2
30/10/2018	6:00	401,60	178,3	0,0	206,1
30/10/2018	7:00	401,66	223,7	0,0	208,4
30/10/2018	8:00	401,66	208,4	0,0	208,4
30/10/2018	9:00	401,62	196,3	0,0	206,6
30/10/2018	10:00	401,55	186,3	0,0	203,8
30/10/2018	11:00	401,47	180,3	0,0	200,6
30/10/2018	12:00	401,38	174,1	0,0	196,8
30/10/2018	13:00	401,26	162,0	0,0	192,0
30/10/2018	14:00	401,09	159,3	0,0	201,8
30/10/2018	15:00	400,87	135,9	0,0	190,4
30/10/2018	16:00	400,62	114,8	0,0	176,5
30/10/2018	17:00	400,48	133,7	0,0	167,9

30/10/2018	18:00	400,39	131,1	0,0	152,8
30/10/2018	19:00	400,33	128,3	0,0	143,0
30/10/2018	20:00	400,28	123,1	0,0	135,0
30/10/2018	21:00	400,24	119,0	0,0	128,7
30/10/2018	22:00	400,21	116,9	0,0	124,1
30/10/2018	23:00	400,18	112,3	0,0	119,5

Tabella 4-Dati idrometrici relativi al lago di Barcis registrati ora per ora durante l'evento Vaia dal 28 al 30 ottobre

3.3. Rappresentazione grafica dello ietogramma e dell'idrogramma

La rappresentazione grafica dello ietogramma e dell'idrogramma permette di osservare come varia nel tempo la portata di un corso d'acqua al variare della precipitazione durante un evento piovoso. Il grafico dell'idrogramma è formato dal deflusso di base e dal deflusso di piena. Il deflusso di base corrisponde alla portata che il corso d'acqua presenta normalmente, non in corrispondenza di eventi piovosi, ed è alimentato dall'acqua presente nelle falde sotterranee che, molto lentamente, scorre e si riversa nei corsi d'acqua. Il deflusso di piena, invece, è quel deflusso che si forma in corrispondenza di un evento piovoso, e che porta all'aumento della portata di un corso d'acqua per un certo intervallo di tempo. Il deflusso di piena è il risultato dalla somma dell'afflusso diretto, generato dalla precipitazione che cade direttamente nei corsi d'acqua, dal deflusso superficiale, generato dall'acqua che scorre in superficie quando l'intensità di pioggia supera l'infiltrazione potenziale, e, in parte, dal deflusso ipodermico, generato dall'acqua che scorre nei primi strati sotto la superficie del suolo.

I dati utilizzati per costruire il grafico dello ietogramma e dell'idrogramma sono:

- 1- La portata del corso d'acqua ora per ora
- 2- La precipitazione media areale ora per ora

Per creare il grafico è stato utilizzato il software Excel in cui sono stati effettuati i seguenti passaggi:

- 1) Sono stati inseriti i valori relativi alla portata affluente e i valori della precipitazione interpolata in un foglio Excel
- 2) È stata scelta la tipologia di grafico adatto alla rappresentazione dell'idrogramma unito allo ietogramma e sono stati inseriti entrambe le tipologie di dati nell'asse delle y, uno a destra e uno a sinistra
- 3) Nell'asse delle x è stato riportato l'intervallo di tempo dell'evento di piena, che in questo caso è di quattro giorni che a loro volta sono stati suddivisi in ore

- 4) Per la rappresentazione dell'andamento della precipitazione sono state utilizzate delle colonne, mentre per la rappresentazione dell'andamento della portata è stata scelta una linea continua

Il grafico è costruito in modo tale che i valori di precipitazione aumentano andando dall'alto verso il basso, mentre i valori idrometrici aumentano andando dal basso verso l'alto.

3.4. Calcolo bilancio idrologico

Il bilancio idrologico di un evento di piena consiste nel calcolare i volumi di afflussi (acqua in entrata) e deflussi (acqua in uscita) nel bacino in esame.

L'afflusso idrico corrisponde alla quantità di acqua che entra nel bacino, solitamente attraverso la precipitazione. Il deflusso idrico corrisponde alla quantità di acqua che esce dal bacino attraverso i corsi d'acqua (torrenti, fiumi ecc.).

Per effettuare il bilancio idrologico dell'evento Vaia sul bacino del Cellina è stato calcolato:

- 1- Il volume totale della pioggia caduta durante l'evento Vaia (volume afflusso)
- 2- Il volume di deflusso totale del Cellina durante l'evento Vaia
- 3- Il coefficiente di deflusso

1) *Calcolo del volume di pioggia*

Il volume di afflusso corrisponde al volume totale della precipitazione caduta durante l'evento Vaia nel bacino del Cellina.

Per calcolare il volume totale della precipitazione (V_p) è stata utilizzata la seguente formula (*Equazione 5*):

$$V_p = S(m^2) \times P_{tot}(m) \quad [m^3] \quad \text{Equazione 5}$$

In cui:

V_p = volume di precipitazione

S = superficie del bacino (m^2)

P_{tot} = precipitazione totale mediamente caduta sul bacino durante l'evento Vaia (m)

La precipitazione totale mediamente caduta nel bacino del Cellina è stata calcolata utilizzando la **Equazione 4**.

Sono stati calcolati due volumi di precipitazione, uno relativo all'evento totale (dal 27 al 30 ottobre) e uno relativo agli ultimi tre giorni di durata dell'evento (dal 28 al 30 ottobre). Il secondo volume serve per poter calcolare il coefficiente di deflusso visto che i dati idrometrici sono stati registrati a partire dal 28 ottobre. Per ottenere il volume di precipitazione relativo agli ultimi tre giorni è stata sommata la precipitazione interpolata nel bacino dal 28 al 30 ottobre.

2) *Calcolo del volume di deflusso*

Il volume di deflusso totale (Q) del Cellina è stato calcolato utilizzando la seguente formula:

$$Q = Q_m \left(\frac{m^3}{s} \right) \times \Delta t \text{ (s)} \quad [m^3] \quad \text{Equazione 6}$$

In cui:

Q_m = portata media del Cellina durante l'evento Vaia

Δt = durata dell'evento dal 28 al 30 ottobre

La portata media del Cellina (Q_m) durante l'evento Vaia è stata calcolata facendo la media dei valori di portata forniti ora per ora.

Essendo sconosciuti i dati idrometrici relativi al 27 ottobre, l'intervallo di tempo (Δt) utilizzato per calcolare il volume di deflusso è relativo agli ultimi tre giorni dell'evento Vaia, dal 28 al 30 ottobre, per un totale di 259200 s.

3) *Calcolo coefficiente di deflusso*

Il coefficiente di deflusso è il rapporto tra il volume (o altezza) di deflusso diretto (pioggia efficace), defluito dal bacino durante la piena attraverso i corpi idrici, e il relativo volume (o altezza) di afflusso, che corrisponde alla precipitazione totale (*Equazione 7*).

$$CD = \frac{Q}{V_p} \qquad \text{Equazione 7}$$

In cui:

Q = volume di deflusso

V_p = volume di precipitazione

Il coefficiente di deflusso è un importante valore che permette di avere una proporzione di quanta dell'acqua che è entrata nel bacino attraverso la precipitazione è uscita dal bacino attraverso i corpi idrici, che corrisponde alla capacità del bacino di far defluire l'acqua. Solitamente il valore del coefficiente di deflusso è compreso tra 0 e 1.

3.5. Schianti boschivi

Gli schianti boschivi da vento sono stati uno dei danni più rilevanti causato dalla tempesta Vaia, e di cui tutt'oggi risentiamo ancora delle conseguenze. I dati relativi agli schianti boschivi da vento sul bacino del Cellina, riportati nella *Appendice C*, sono stati forniti dalla Stazione Forestale di Claut. Questi dati sono stati utilizzati per creare una mappa con il software QGis del bacino del Cellina in cui sono stati combinati i dati relativi agli schianti boschivi da vento e alla precipitazione interpolata relativa alla durata totale dell'evento. Il procedimento effettuato per creare la mappa è descritto nel capitolo successivo (*3.6. Elaborazioni dati con software QGis*).

La *Figura 20 e 21* rappresentano le macroaree di due delle zone maggiormente colpite dagli schianti boschivi da vento nel bacino del Cellina fornite dal Servizio forestale di Claut.

Macro-Aree oggetto di schianti in Valcellina

Interpretazione cartografica rappresentativa che raggruppa le aree rilevate e le le aree che presentano situazioni più puntuali e diffuse di schianti non direttamente rilevati.

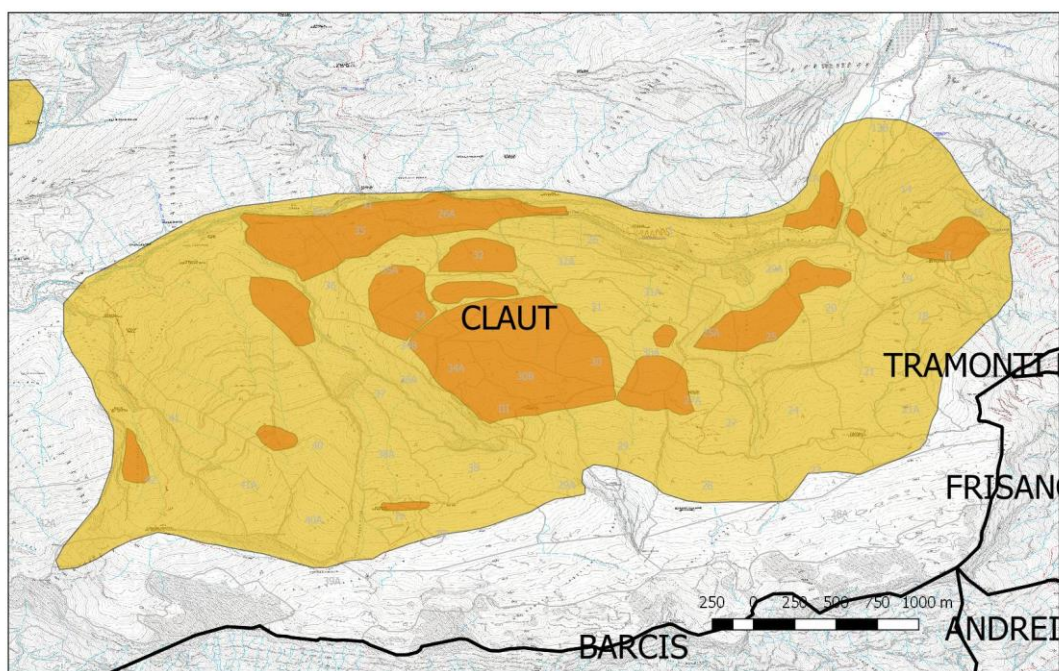


Figura 20-Cartina rappresentante aree e macroaree relative agli schianti boschivi nella zona di Claut, Servizio forestale Claut

Macro-Aree oggetto di schianti in Valcellina

Interpretazione cartografica rappresentativa che raggruppa le aree rilevate e le le aree che presentano situazioni più puntuali e diffuse di schianti non direttamente rilevati.

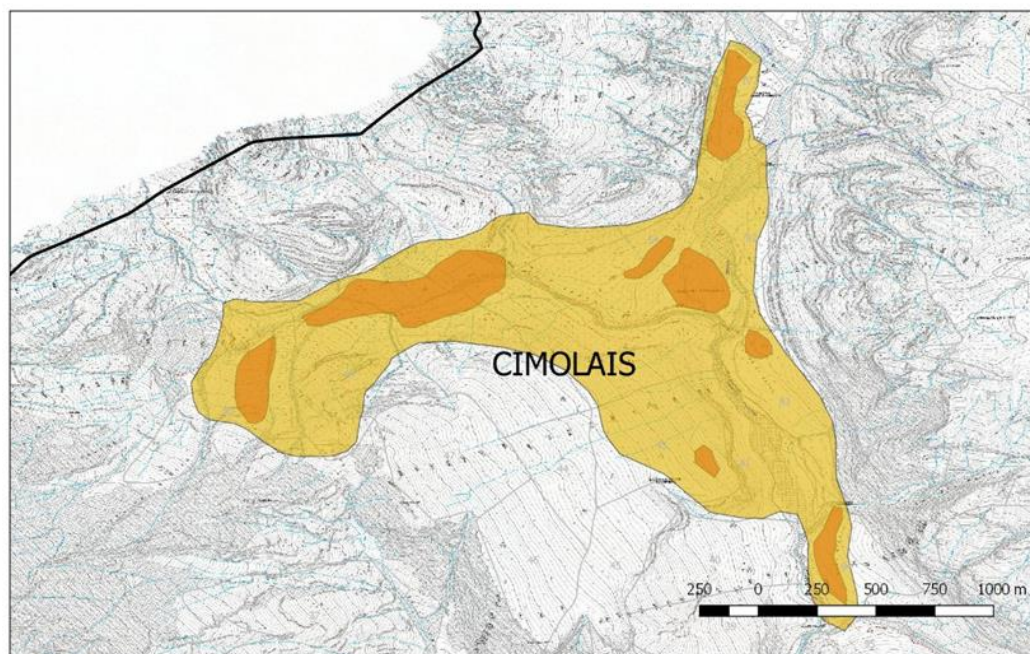


Figura 21 - Cartina rappresentante aree e macroaree relative agli schianti boschivi nella zona di Cimolais, Servizio forestale Claut

3.6. Elaborazioni dati con software QGis

Il software QGis è un sistema di informazione geografica che permette di creare delle mappe e fare delle elaborazioni a partire da database geolocalizzati nello spazio (con coordinate spaziali).

Nell'ambito di questa analisi, il software QGis è stato utilizzato per:

- Creare delle mappe di interpolazione della precipitazione sul bacino del Cellina relative all'evento totale e ai due giorni più intensi della tempesta Vaia (28 e 29 ottobre)
- Creare una mappa che metta in relazione l'intensità dell'evento con le zone in cui sono avvenuti gli schianti boschivi

Le mappe di interpolazione della precipitazione sono state create inserendo nel software:

- 1) I database contenenti le precipitazioni cumulate associate ai rispettivi pluviografi, relative all'evento totale e ai due giorni in cui l'evento è stato più intenso (28 e 29 ottobre)
- 2) Il DEM (Digital Elevation Model) dell'area geografica in cui è presente il bacino del Cellina

Il sistema di riferimento utilizzato è WGS 84/UTM zone 32N (EPSG:32632).

Il procedimento eseguito per creare le mappe di interpolazione della precipitazione sul bacino del Cellina è il seguente:

1. Si procede all'estrazione dal DEM del bacino del Cellina e della rispettiva rete idrografica. Come prima cosa si esegue il depittaggio utilizzando lo strumento di processing *r.fill.dir*, che permette di eliminare eventuali depressioni locali consentendo al deflusso di propagarsi fino alla sezione di chiusura. Si procede al calcolo della direzioni di deflusso e dell'area drenata attraverso lo strumento *r.watershed*. Si individua la sezione di chiusura (diga di Barcis) e si procede all'estrazione del bacino inserendo nello strumento di processing *r.water.outlet* il raster dell'area drenata. Si esegue la vettorializzazione della linea spartiacque, quindi la si converte da raster a vettore utilizzando lo strumento di processing *r.to.vect.*, e utilizzando lo strumento *v.generalize* si crea una linea continua priva di spigoli. Si procede all'estrazione del reticolo idrografico del bacino utilizzando lo strumento di processing *r.mapcac.simple*.
2. Si importa il file Excel contenente le precipitazioni cumulate, totali e relative al 28 e 29 ottobre, associate alle coordinate dei rispettivi pluviografi
3. Si procede all'interpolazione della precipitazione utilizzando lo strumento *v.surf.idw* inserendo il file delle precipitazioni e l'estensione dell'area su cui si vuole eseguire l'interpolazione

4. Si estraggono le isoiete utilizzando lo strumento *curve di livello*
5. Infine, si assembla la mappa con la precipitazione interpolata, con la linea spartiacque del bacino vettorializzata, con i punti in cui si trovano i pluviografi e con le isoiete

In tutto sono state create tre mappe:

- Una con la precipitazione interpolata relativa all'evento totale (**Figura 26**)
- Una con la precipitazione interpolata relativa al 28 ottobre (**Figura 28**)
- Una con la precipitazione interpolata relativa al 29 ottobre (**Figura 29**)

Per creare la mappa che metta in relazione l'intensità dell'evento di pioggia con le zone in cui sono avvenuti gli schianti boschivi sono stati effettuati i seguenti passaggi:

1. È stato inserito in QGis il file vettoriale delle aree e macroaree in cui si sono verificati gli schianti boschivi nel bacino del Cellina
2. È stato inserito il file vettoriale della linea spartiacque del bacino del Cellina realizzata nella creazione delle mappe di interpolazione della precipitazione sul bacino
3. È stato inserito il file raster della precipitazione interpolata relativa alla durata totale dell'evento

Il sistema di riferimento utilizzato è sempre WGS 84/UTM zone 32N (EPSG:32632).

La finalità della creazione di questa mappa è quella di verificare se effettivamente sussiste una relazione tra l'intensità dell'evento e le aree in cui si sono verificati gli schianti boschivi.

4. Risultati e discussione

4.1. Precipitazioni cumulate

Nella **Tabella 5** sono riportate le precipitazioni cumulate, associate a ciascun pluviografo, relative all'evento totale e ai singoli giorni di durata dell'evento. In giallo si evidenzia il valore massimo tra i diversi pluviografi.

Pluviografi	Descrizione	Precipitazione cumulata (mm)				
		Evento totale (dal 27 al 30)	27/10/2018	28/10/2018	29/10/2018	30/10/2018
F029	Forni di Sopra (Siap/MICROS)	451,9	64,2	157,4	215,5	14,8
F093	Piancavallo (Siap/MICROS)	393,6	51,2	179,8	136	26,6
F095	Barcis (Siap/MICROS)	485,0	89,4	216,6	167,8	11,2
F103300	Piancavallo (CAE)	444,8	58,4	200,4	158	28
F103400	Barcis (CAE)	589,6	111,4	251,6	212,8	13,8
F103500	Prescudin (CAE)	585,2	73	221,4	263	27,8
F103600	Andreis (CAE)	469,6	84,6	216,8	150	18,2
F231300	Forni di Sopra (CAE)	544,4	81,4	199,6	243	20,4
F232300	Cimolais (CAE)	385,2	108	121,4	155,8	0
F232400	Lesis (CAE)	785,6	77,2	397,4	285,8	25,2
F487600	Malga Chiampiz (CAE)	887,8	162,6	427,2	278,4	19,6
F499300	Varmost M.te Simone (CAE)	334,8	59,2	103,8	170,8	1
F499500	Candaglia (CAE)	391,2	34,2	157,2	165,6	34,2
F502800	Aviano (CAE)	154,4	10,8	62,2	64,8	16,6
F503200	Cellino (CAE)	577,0	127,8	159,6	259,4	30,2
F503400	Claut Tre Pini (CAE)	553,2	95,4	175,6	261,6	20,6
F503900	Baldass (CAE)	770,0	125,2	372,4	269,6	2,8
F504000	Forcella Savalons (CAE)	470,2	82,4	136,8	250	1
F504100	Casera Podestine (CAE)	738,4	127,8	331,8	254,4	24,4
F504200	Casera Pradut (CAE)	885,8	106,4	422,2	325,6	31,6
F504300	Erto e Casso (CAE)	602,6	84,8	227,8	238,8	51,2
F504600	Rifugio Pordenone (CAE)	469,6	91,8	128,2	223	26,6
F504700	Rifugio Maniago (CAE)	530,6	87,4	184,6	251	7,6
F504800	Rifugio Pussa (CAE)	637,8	85,8	311,4	222,8	17,8
F504900	Val dei Sass (CAE)	479,6	79,8	200,6	187,2	12
F505000	Val Sughet (CAE)	458,4	82,6	192,4	160,6	22,8

Tabella 5-Precipitazioni cumulate dell'evento totale e relative alle singole giornate 27, 28, 29 e 30 ottobre (le caselle evidenziate rappresentano i valori massimi rilevati tra tutti i pluviografi)

Guardando i valori delle precipitazioni cumulate puntuali relative all'evento totale si può osservare che il valore massimo di altezza di precipitazione è stato registrato dal pluviografo situato in Malga Chiampiu, in cui in soli quattro giorni sono caduti circa 888 mm di pioggia, quasi 1/3 della precipitazione media annua.

Per quanto riguarda i singoli giorni, il giorno in cui è stato raggiunto il più alto valore di precipitazione cumulata puntuale è stato il 28 ottobre, con 427 mm di pioggia registrati sempre dal pluviografo situato in Malga Chiampiu, in cui in un solo giorno è caduta circa la metà della precipitazione cumulata totale.

Il 29 ottobre, invece, è stato raggiunto un valore puntuale di precipitazione massima cumulata di 326 mm di pioggia, registrati dal pluviografo situato in Casera Pradut (CAE), circa 100 mm più bassa rispetto a quella del giorno precedente.

Il giorno meno piovoso, invece, è stato il 30 ottobre, momento in cui la tempesta si stava allontanando dalla regione per spostarsi verso latitudini più elevate. Nella **Figura 22** è rappresentato un grafico che riporta la precipitazione cumulata di ciascun pluviografo distribuita nei quattro giorni di durata dell'evento.

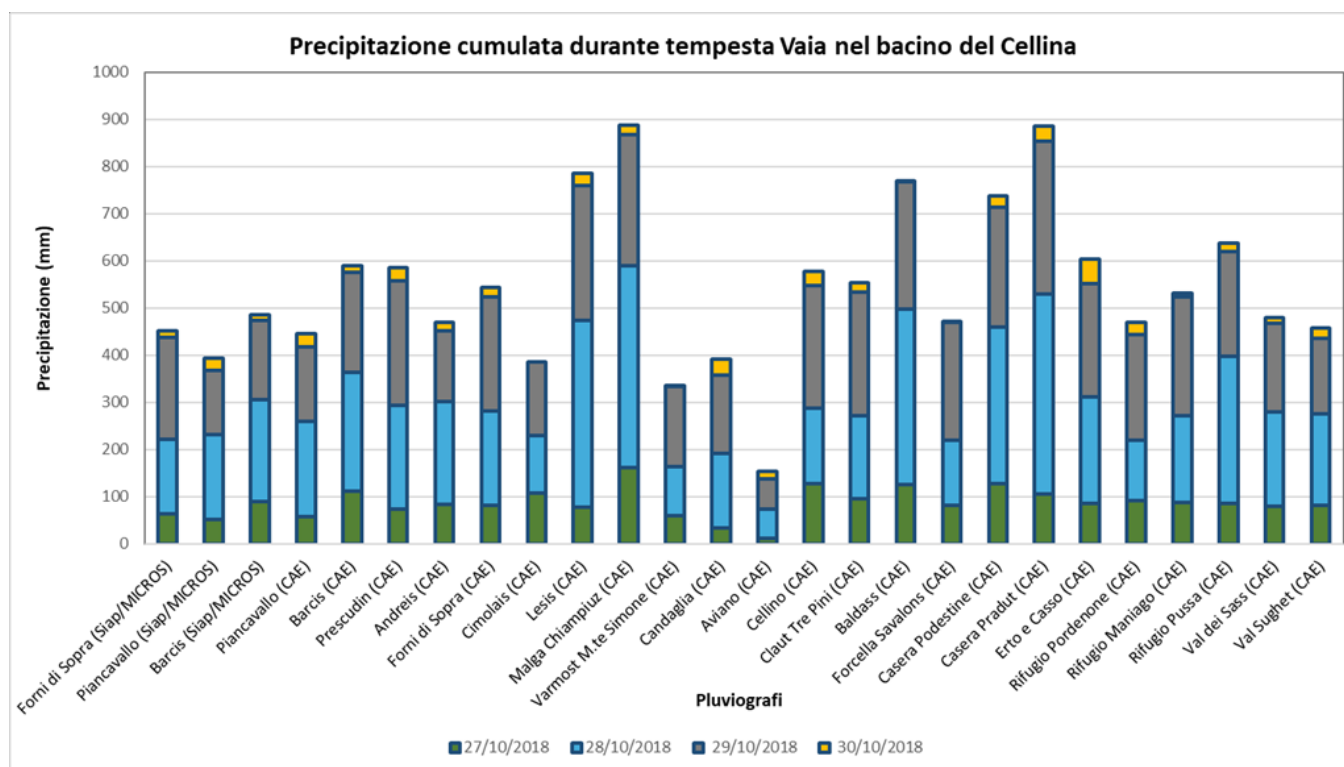


Figura 22-Grafico relativo alla precipitazione cumulata divisa in giorni dell'evento Vaia nel bacino del Cellina

La **Tabella 6** riporta per ogni pluviografo la precipitazione cumulata massima (mm) relativa alla durata di 1, 3, 6, e 12 ore. In giallo sono evidenziati i valori massimi tra i diversi pluviografi.

Pluviografi	Descrizione	Precipitazione (mm)			
		1 ora	3 ore	6 ore	12 ore
F029	Forni di Sopra (Siap/MICROS)	27,1	51,8	137,7	200,3
F093	Piancavallo (Siap/MICROS)	25,8	50,0	87,8	142,0
F095	Barcis (Siap/MICROS)	25,8	53,8	102,8	160,8
F103300	Piancavallo (CAE)	29,8	58,8	99,4	159,6
F103400	Barcis (CAE)	37,0	74,2	120,0	188,0
F103500	Prescudin (CAE)	43,0	82,4	143,4	235,6
F103600	Andreis (CAE)	32,2	53,4	86,6	152,4
F231300	Forni di Sopra (CAE)	32,8	87,8	156,4	222,8
F232300	Cimolais (CAE)	26,8	67,8	102,6	155,4
F232400	Lesis (CAE)	43,4	91,8	148,4	276,4
F487600	Malga Chiampiu (CAE)	43,6	99,2	177,8	326,4
F499300	Varmost M.te Simone (CAE)	28,2	65,0	105,2	154,8
F499500	Candaglia (CAE)	27,0	47,0	78,0	133,2
F502800	Aviano (CAE)	15,0	26,6	34,8	63,2
F503200	Cellino (CAE)	37,0	91,8	149,6	239,4
F503400	Claut Tre Pini (CAE)	40,6	93,0	151,4	240,8
F503900	Baldass (CAE)	37,8	82,8	154,6	256,0
F504000	Forcella Savalons (CAE)	30,0	77,2	141,6	222,8
F504100	Casera Podestine (CAE)	39,2	77,2	142,6	235,2
F504200	Casera Pradut (CAE)	55,0	113,4	183,8	298,2
F504300	Erto e Casso (CAE)	30,2	84,4	136,6	219,8
F504600	Rifugio Pordenone (CAE)	25,0	67,0	128,8	201,0
F504700	Rifugio Maniago (CAE)	31,6	78,6	148,8	232,2
F504800	Rifugio Pussa (CAE)	29,6	70,8	117,0	206,4
F504900	Val dei Sass (CAE)	24,8	56,2	93,0	154,2
F505000	Val Sughet (CAE)	25,8	53,2	90,4	149,0

Tabella 6-Altezza di precipitazione per la durata di 1, 3, 6 e 12 ore relativa alla tempesta Vaia

Come si può osservare dalla **Tabella 6**, il valore più alto di precipitazione cumulata massima per quanto riguarda l'intervallo di 1 ora è di 55 mm, valore registrato in Casera Pradut (CAE) il 29 ottobre alle ore 18:00. Per quanto riguarda gli altri intervalli di tempo considerati, il valore massimo di precipitazione cumulata relativo alla durata di 3 ore è di circa 113 mm, ottenuto a partire dalla somma della precipitazione caduta tra le ore 16:00 e le ore 18:00 del 29 ottobre in Casera Pradut. Il valore massimo di precipitazione cumulata relativo alla durata di 6 ore è di circa 184 mm, ottenuto a partire dalla somma della precipitazione caduta tra le ore 13:00 e le ore 18:00 in Casera Pradut. Infine, il valore massimo di precipitazione cumulata relativo alla durata di 12 ore è di circa 326 mm, ottenuto a partire dalla somma della precipitazione caduta tra le 9:00 e le 20:00 del 29 ottobre in Malga Chiampiz. Quasi tutti i valori massimi sono riferiti alla Casera Pradut, questo significa che quella è la zona del bacino in cui ha piovuto di più e con maggior intensità per quanto riguarda gli intervalli di tempo considerati.

La **Figura 23** riporta una rappresentazione grafica dei dati riportati nella **Tabella 6**. Qui si può osservare molto bene che le zone nel bacino in cui ha piovuto con una maggiore intensità sono in corrispondenza della Casera Pradut e della Malga Chiampiz.

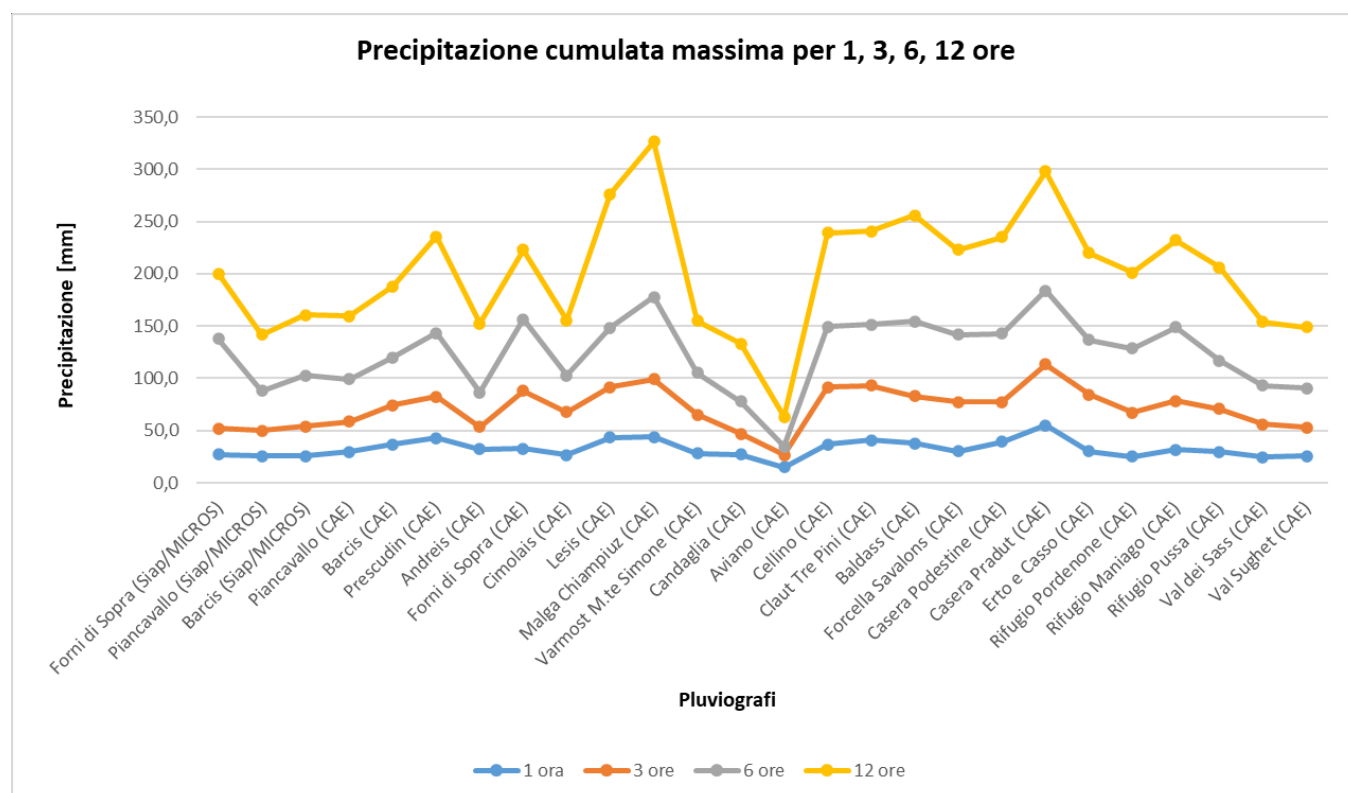


Figura 23- Grafico che raggruppa le precipitazioni cumulate massime relative a 1, 3, 6, e 12 ore per ciascun pluviografo

4.2. Precipitazione media areale

La **Figura 24** rappresenta un grafico che descrive l'andamento della precipitazione media areale nel bacino del Cellina durante l'evento Vaia. Nell'asse delle y è riportata la precipitazione in mm, mentre l'asse delle x riporta i giorni di durata dell'evento suddivisi in intervalli di tempo di un'ora. Da questo grafico si può osservare molto bene che la tempesta Vaia si è sviluppata principalmente in due fasi di elevata intensità. La prima fase si è verificata dal 27 al 28 ottobre, mentre la seconda fase ha avuto inizio la mattina del 29 ottobre, dopo poche ore dalla prima, ed è terminata la mattina del 30 ottobre. Analizzando il grafico si può osservare che durante la prima fase le precipitazioni sono state moderatamente intense e si sono distribuite in un intervallo di tempo più ampio. Invece, nella seconda fase le precipitazioni sono state più intense rispetto alla prima fase e si sono verificate in un intervallo di tempo inferiore.

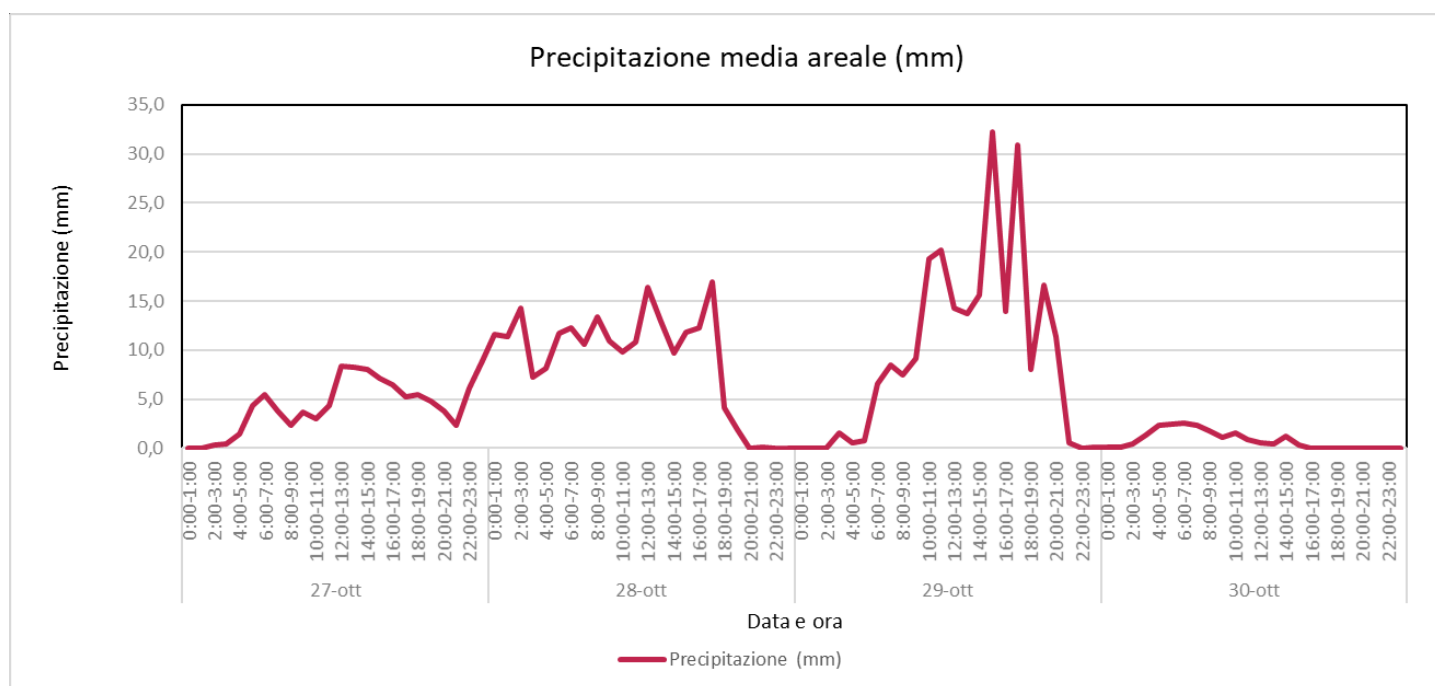


Figura 24-Grafico sull'andamento della precipitazione durante l'evento Vaia (27-28-29-30 ottobre)

I valori della precipitazione media areale utilizzati per costruire il grafico sono riportati nell'**Appendice D**. Questi rappresentano una media areale delle altezze di precipitazione registrate di ora in ora dai pluviografi situati nel bacino.

Il valore orario più alto dell'altezza di pioggia interpolata è di circa 32 mm, picco raggiunto alle ore 16:00 del 29 ottobre 2018. La quantità totale di pioggia caduta mediamente nel bacino del Cellina è di circa 574 mm di pioggia. Questo rappresenta un valore medio, ci sono dei punti nel bacino in cui la quantità di pioggia caduta è stata più elevata ed altri in cui è stata più bassa.

La **Tabella 7** riporta i valori della precipitazione mediamente cumulata sul bacino suddivisa nei singoli giorni di durata dell'evento. Si può osservare che il giorno mediamente più piovoso è stato il 29 ottobre, con 232 mm di pioggia caduti in sole 24 ore. Il giorno mediamente meno piovoso invece è stato il 30 ottobre, in cui sono caduti 20 mm di pioggia.

	GIORNO DELL'EVENTO			
	27-ott	28-ott	29-ott	30-ott
Quantità precipitazione (mm)	104	218	232	20

Tabella 7-Tabella relativa alla precipitazione mediamente cumulata nei singoli giorni di durata dell'evento sul bacino del Cellina

Considerando che le precipitazioni medie annue nella zona in cui si trova il bacino del Cellina sono di circa 2000-2300 mm, con aree in cui si arrivano a toccare anche 2600 mm, in soli quattro giorni durante l'evento Vaia è caduta circa $\frac{1}{4}$ della precipitazione che, in media, sarebbe dovuta cadere in un anno.

4.3. Grafico combinato ietogramma e idrogramma

Nella **Figura 25** viene rappresentato l'idrogramma di piena del fiume Cellina durante l'evento Vaia. Nell'asse delle y è riportata a sinistra la portata (m^3/s) e a destra la precipitazione (mm/ora); nell'asse delle x è riportata la durata dell'evento Vaia suddivisa in giorni, suddivisi a loro volta in ore.

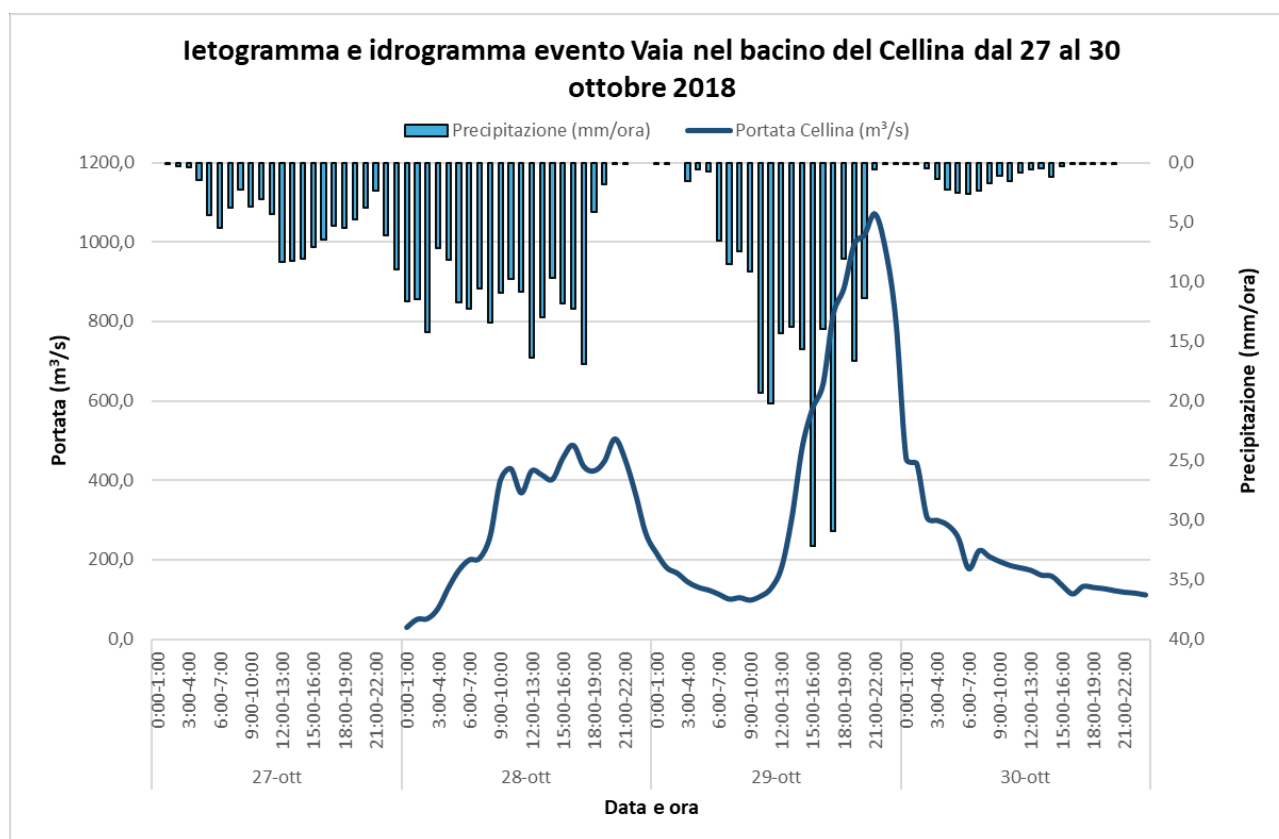


Figura 25-*Ietogramma e Idrogramma relativi all'intero evento Vaia nel bacino del Cellina*

Dal grafico si può osservare che, durante l'evento, nel Cellina si sono verificate due piene principali: la prima è avvenuta il 28 ottobre, dalle 6:00 alle 0:00, in corrispondenza del primo aumento di intensità di precipitazione; la seconda è avvenuta il 29 ottobre, dalle 13:00 alle 0:00, in corrispondenza del secondo aumento di intensità della precipitazione. Il picco della prima piena si è verificato dalle 20:00 alle 21:00 del 28 ottobre, con una portata di circa 500 m³/s. Il picco della seconda piena si è verificato dalle 21:00 alle 22:00 del 29 ottobre, con una portata di circa 1000 m³/s, quasi il doppio di quella registrata durante la prima piena. Tra le due piene c'è stata un'importante pausa di circa 8 ore, in cui la precipitazione si è azzerata ed ha permesso al Cellina di far defluire a valle l'acqua accumulata nel bacino. Senza questa pausa la portata della seconda piena sarebbe stata molto più elevata, comportando probabilmente più danni.

Nell'**Appendice E** sono riportati i valori utilizzati per la costruzione dello ietogramma (precipitazione) e dell'idrogramma (portata). Non avendo i dati idrometrici relativi al 27 ottobre, non è stato possibile creare un idrogramma per quel giorno.

4.4. Bilancio idrologico

Nella **Tabella 8** sono riportati i risultati ottenuti dai calcoli del bilancio idrologico. Come già detto in precedenza, non sono stati registrati i dati idrometrici relativi al 27 ottobre, perciò, il volume della precipitazione caduta durante l'evento è stato calcolato sia a partire dal 27 ottobre, per avere il volume totale della precipitazione cumulata, sia a partire dal 28 ottobre, per poter fare il rapporto tra i deflussi e gli afflussi nel bacino durante l'evento.

BILANCIO IDROLOGICO			
Dal 27 al 30 ottobre			
Volume precipitazione	P	2,18E+08	m ³
Dal 28 al 30 ottobre			
Volume precipitazione	P	1,78E+08	m ³
Volume deflusso Cellina	Q	8,16E+07	m ³
Coefficiente di deflusso	CD	0,46	

Tabella 8-Bilancio idrologico evento Vaia nel bacino del Cellina

Il coefficiente di deflusso risulta essere di 0,46, ciò significa che circa la metà dell'acqua caduta nel bacino durante l'evento piovoso è uscita da esso attraverso il fiume Cellina e i suoi affluenti.

L'acqua che non è uscita attraverso il deflusso diretto è andata a formare in parte deflusso ipodermico, che si riversa in tempi più o meno brevi nel corso d'acqua, e in parte si è infiltrata nel terreno profondo andando ad accumularsi nelle falde sotterranee, dove lo scorrimento e la fuoriuscita nel corso d'acqua avverranno molto lentamente (deflusso profondo o di base).

4.5. Mappatura della precipitazione e degli schianti boschivi

➤ *Mappa di interpolazione della precipitazione relativa all'evento totale*

La **Figura 26** rappresenta la mappa di interpolazione della precipitazione nel bacino relativa alla durata totale dell'evento. Le aree colorate in rosso scuro sono le zone nel bacino in cui ha piovuto con maggiore intensità, mentre le aree di colore giallo pallido sono quelle in cui ha piovuto con minor intensità. Dalla mappa si può osservare che la distribuzione della precipitazione nel bacino è stata più o meno uniforme, tranne per due picchi di precipitazione che si sono verificati nella zona di Claut e in un'area fuori dalla linea spartiacque del bacino. Nella **Figura 27** sono evidenziate le zone in cui ha piovuto di più durante l'evento Vaia.

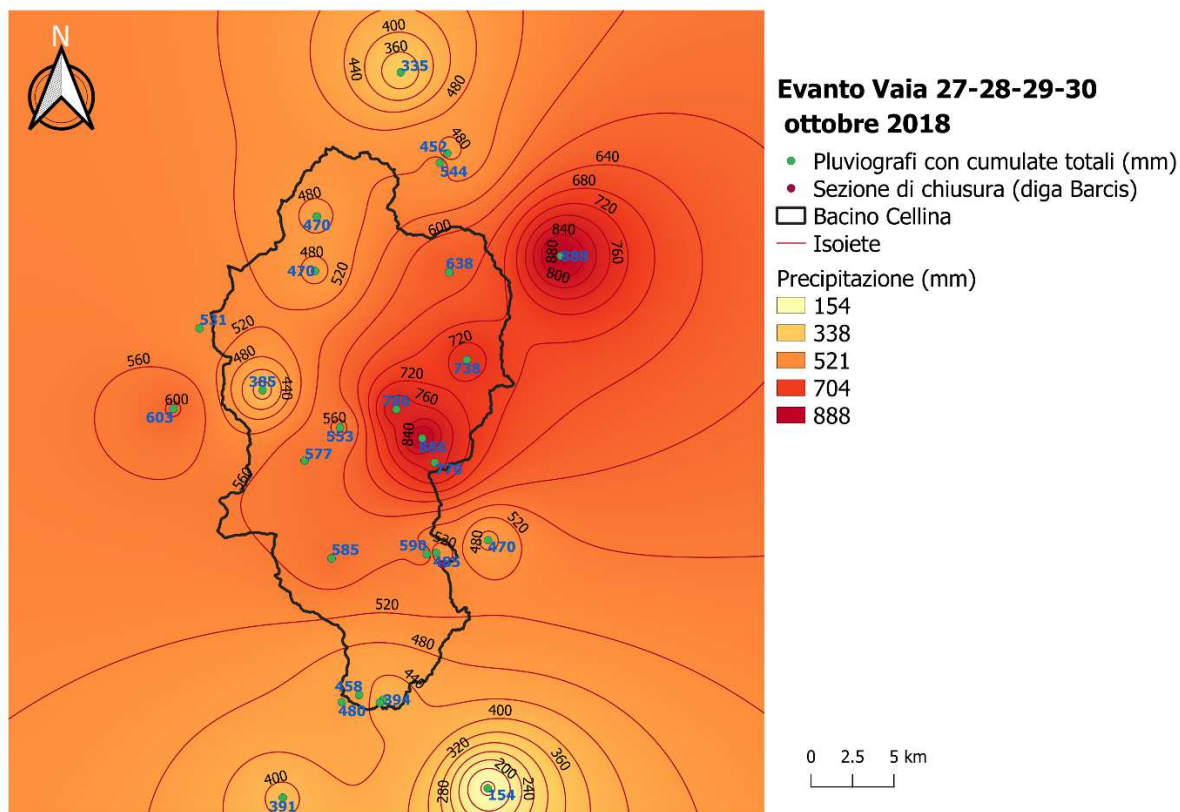


Figura 26- Mappa di interpolazione della precipitazione con isoiete relativa all'intero all'evento Vaia (27-28-29-30 ottobre)

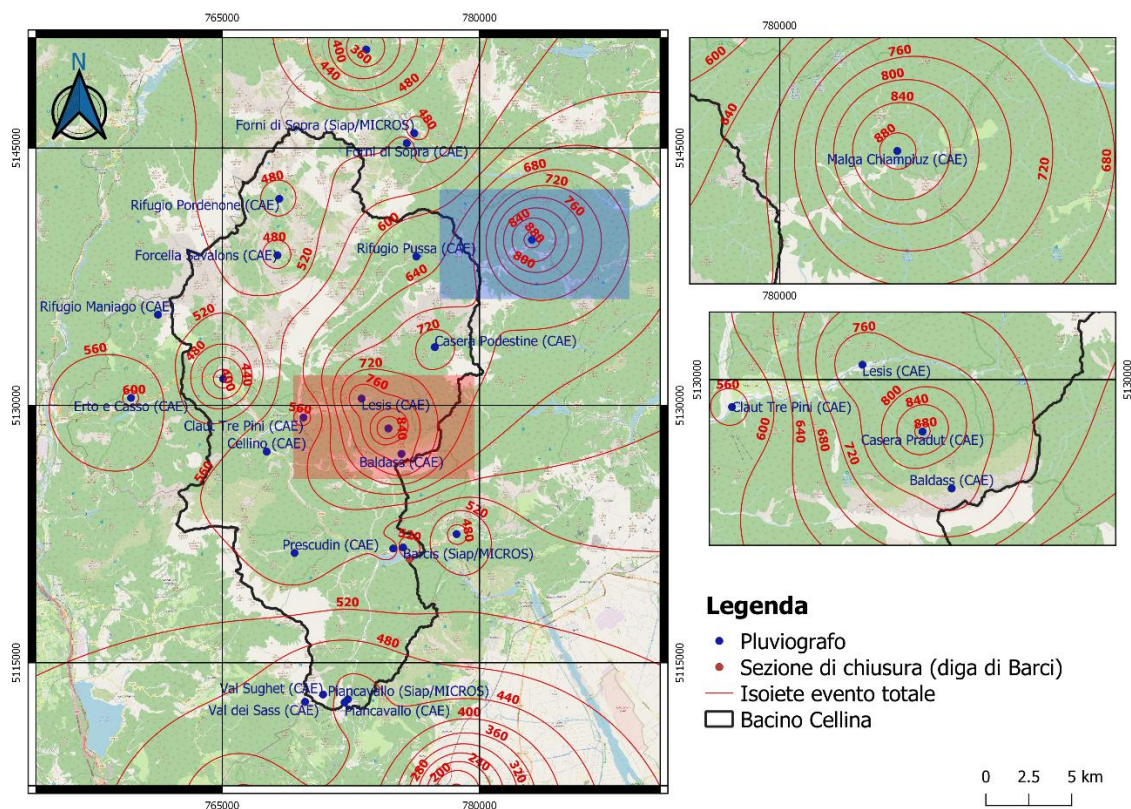


Figura 27- Mappa di interpolazione della precipitazione relativa all'evento totale con panoramiche sulle zone di maggior intensità

➤ *Mappa di interpolazione della precipitazione relativa al 28 ottobre*

La **Figura 28** rappresenta la mappa di distribuzione della precipitazione relativa al 28 ottobre, giorno più piovoso della prima fase dell'evento, in cui la precipitazione si è intensificata. In corrispondenza di ciascun pluviografo sono riportate anche le precipitazioni cumulate puntuali relative al 28 ottobre. Come si può osservare dalla mappa, nella parte nord-occidentale del bacino la precipitazione è stata mediamente meno intensa rispetto alla parte nord-orientale. In alcuni punti del bacino in un solo giorno sono stati raggiunti più di 400 mm di pioggia.

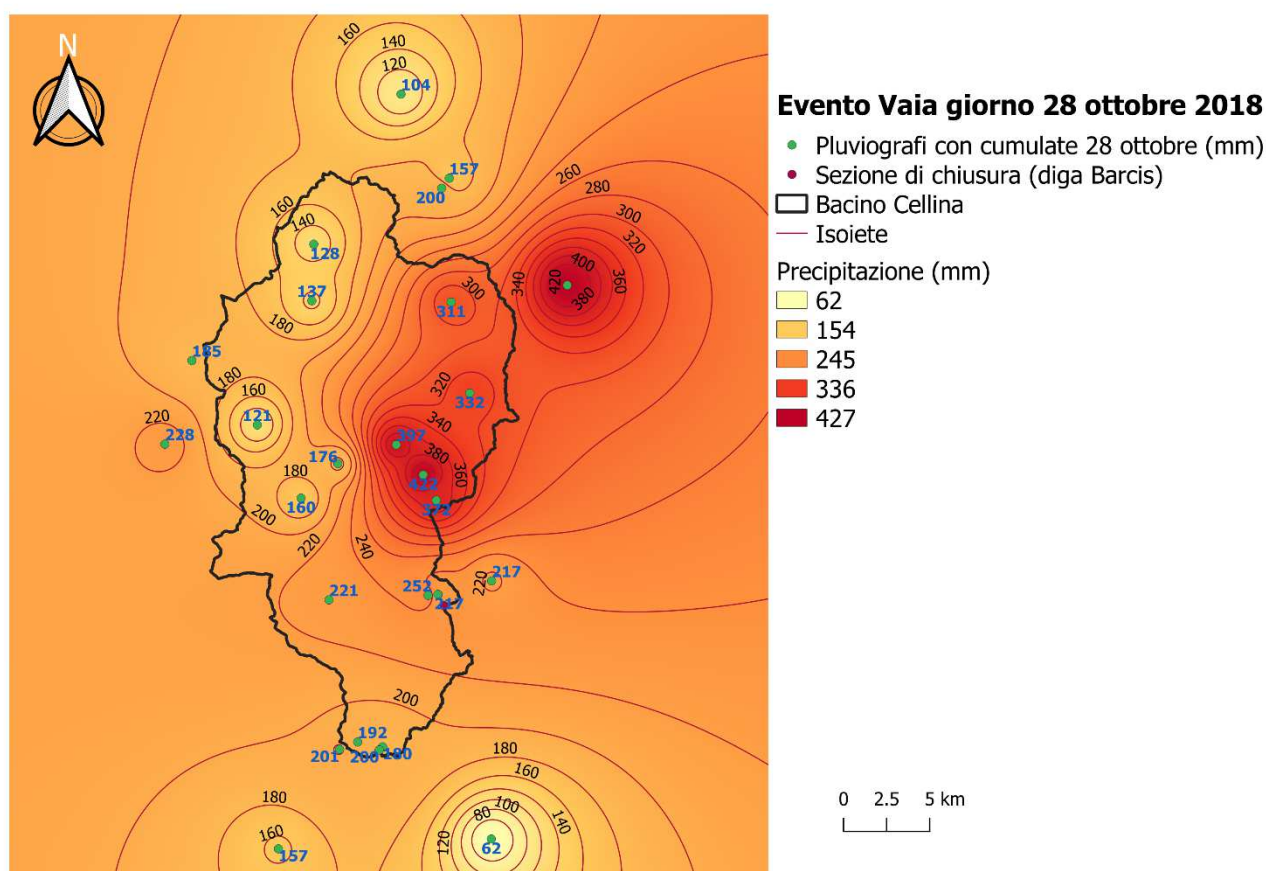


Figura 28-*Mappa di distribuzione della precipitazione relativa al 28 ottobre*

➤ *Mappa di interpolazione della precipitazione relativa al 29 ottobre*

La **Figura 29** rappresenta la mappa di distribuzione della precipitazione relativa al 29 ottobre, giorno più piovoso della seconda fase dell'evento, dove c'è stato il picco di intensità della precipitazione oraria. Dalla mappa si può osservare che la distribuzione della precipitazione è abbastanza uniforme tranne per la zona centrale del bacino in cui ha piovuto di più. Il 29 ottobre sono stati raggiunti dei valori massimi puntuali di precipitazione cumulata più bassi rispetto a quelli

raggiunti il 28 ottobre. Questo significa che puntualmente i valori massimi di precipitazione giornaliera sono stati raggiunti il 28 ottobre, ma il giorno mediamente più piovoso e più intenso a livello orario è stato il 29 ottobre (*Figura 24*).

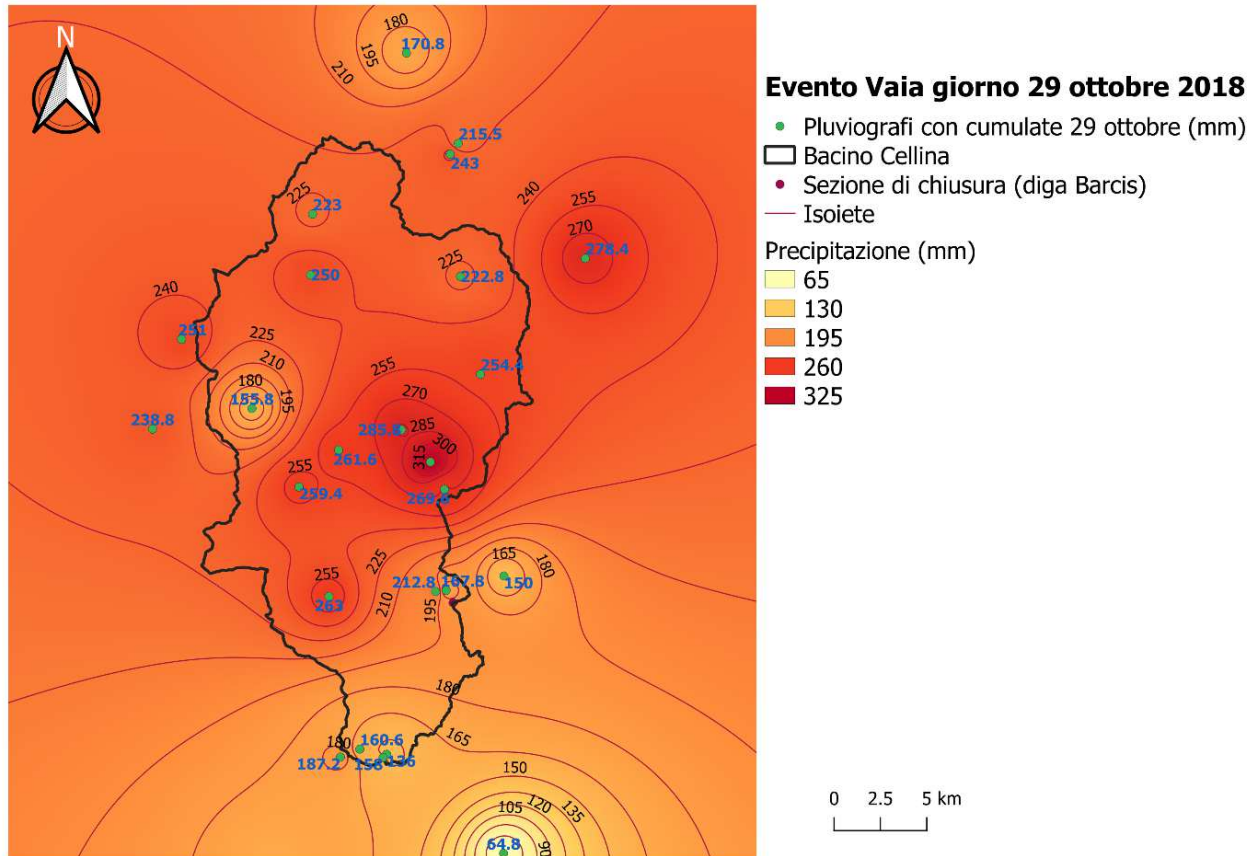


Figura 29-Mappa di distribuzione della precipitazione relativa al 29 ottobre

➤ *Mappe sugli schianti boschivi*

Nella **Figura 30** è rappresentato il bacino del Cellina con la distribuzione delle aree e macroaree in cui si sono verificati gli schianti boschivi.

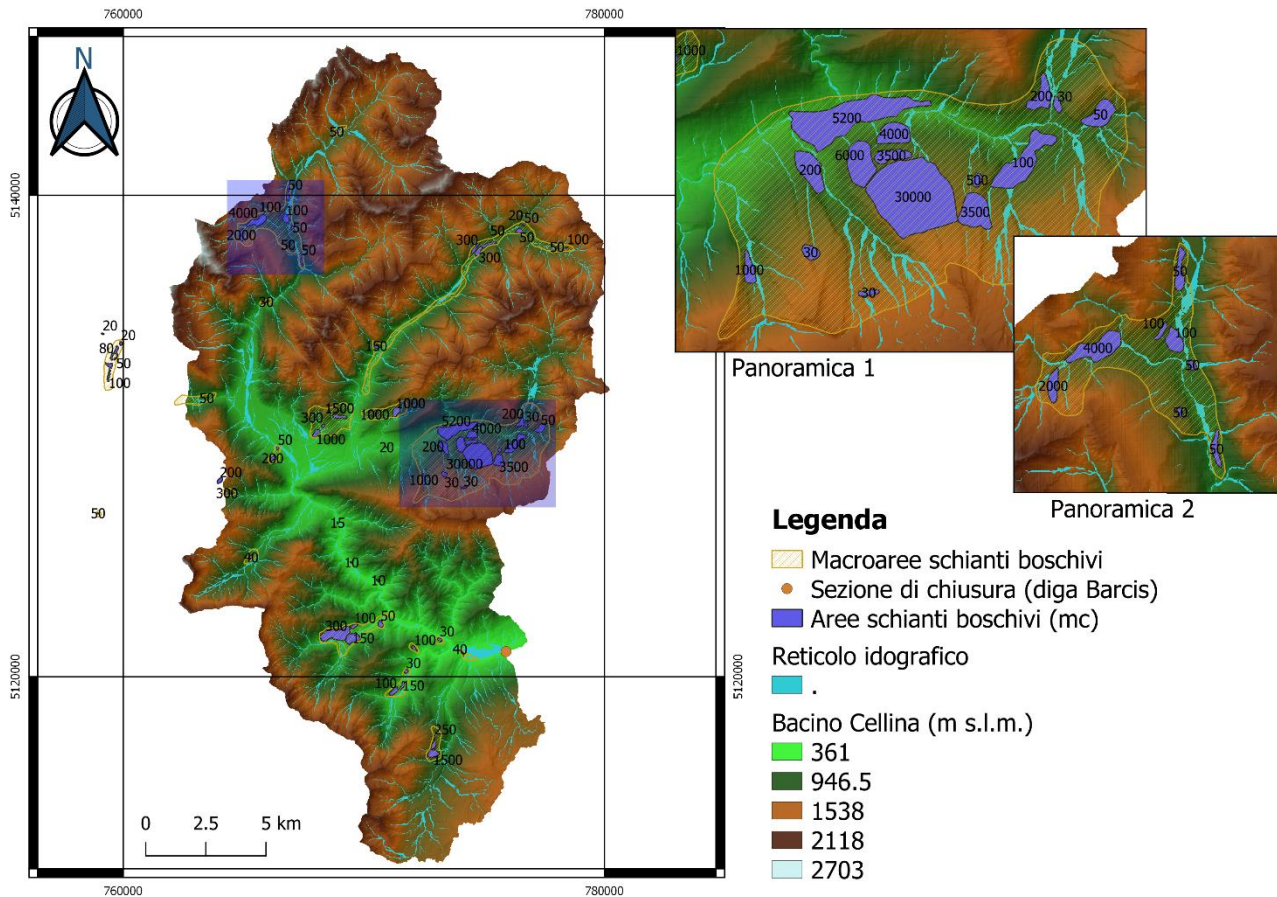


Figura 30 Aree del bacino in cui si sono verificati schianti boschivi da vento

In totale la quantità di alberi schiantati ammonta a circa 71305 m³. La distribuzione degli schianti nel bacino non è omogenea, ma ci sono alcune aree in cui la concentrazione degli schianti è maggiore. Nella *Panoramica 1* è riportata la macroarea del bacino in cui si sono verificati i più rilevanti schianti boschivi. Solo in questa area sono stati abbattuti 54340 m³ di materiale legnoso, più di $\frac{3}{4}$ dei m³ totali schiantati. Nella *Panoramica 2* è evidenziata un'altra macroarea in cui si sono verificati importanti schianti boschivi, per un totale di circa 6400 m³, valore molto più basso rispetto a quello rappresentato dalla *Panoramica 1*. Le specie di piante abbattute sono per la maggior parte faggio, abete rosso, abete bianco, larice, pino nero e pino silvestre e in una piccola percentuale sono presenti anche frassino, acero e tasso.

La **Figura 31** è una mappa che mette in relazione l'intensità della precipitazione con le zone in cui si sono verificati schianti boschivi durante l'evento Vaia.

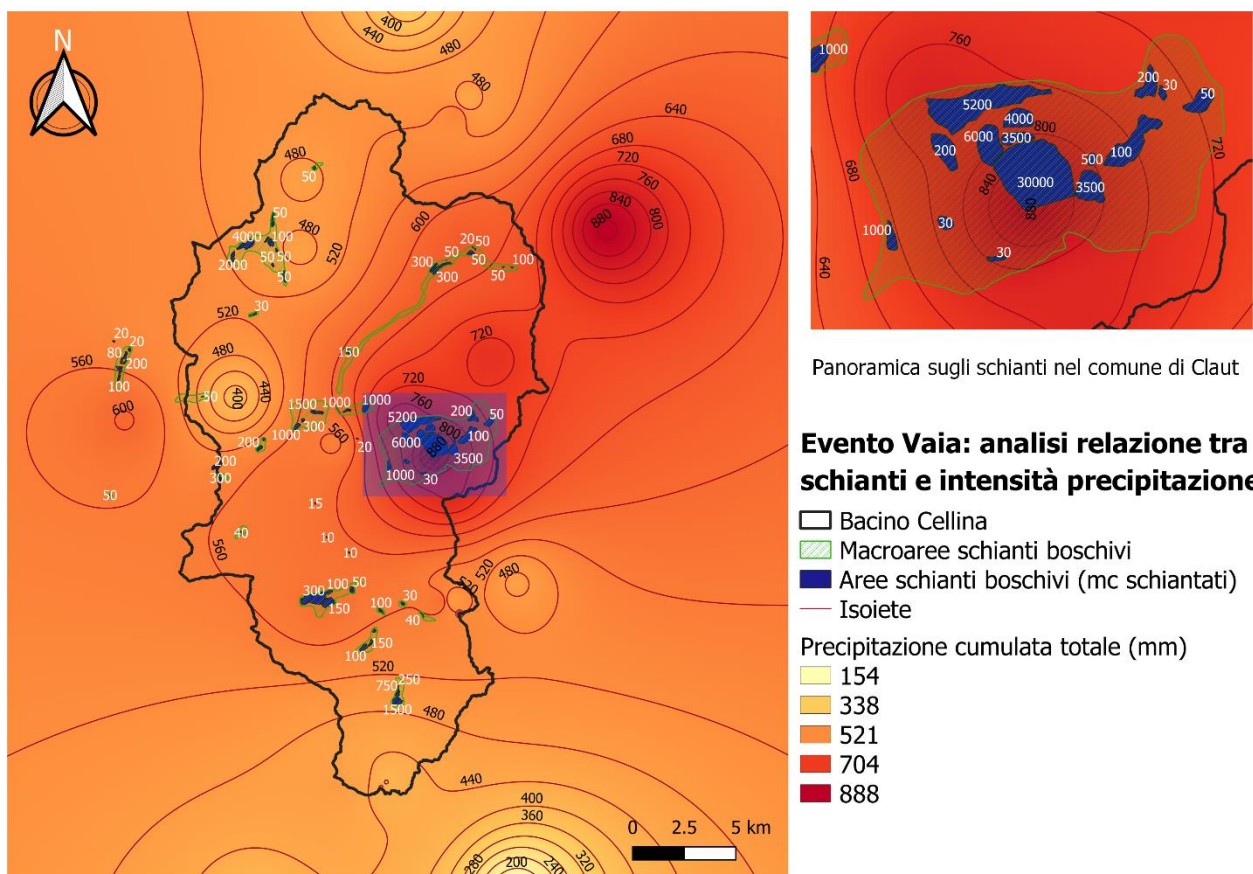


Figura 31-Mappa della relazione tra l'intensità precipitazione e schianti boschivi

Come già descritto in precedenza, lo scopo di questa mappa è quello di verificare se sussiste una relazione tra l'intensità dell'evento e le zone in cui si sono verificati gli schianti boschivi. Dalla mappa si può osservare che effettivamente tra i due gruppi di valori c'è una relazione diretta, infatti, il maggior numero di schianti si è verificato proprio nella zona in cui la precipitazione è stata più elevata. L'area che ha subito il maggior numero di schianti è stato il Comune di Claut, una delle aree del bacino in cui la precipitazione è stata più intensa.

5. Conclusioni

In questa tesi è stata fatta un'analisi della tempesta Vaia avvenuta tra il 27 e il 30 ottobre 2018 su uno dei bacini in cui ha raggiunto la sua massima intensità: il bacino del torrente Cellina.

L'obiettivo era quello di valutare l'impatto che l'evento Vaia ha avuto sul bacino analizzando i dati pluviometrici e idrometrici relativi all'evento, determinando i giorni più piovosi e le zone in cui la tempesta ha raggiunto la sua massima intensità, verificando se queste coincidono con quelle in cui è avvenuta la maggior quantità di schianti boschivi.

La tempesta Vaia, è stato un evento meteorologico di grande eccezionalità che ha causato gravi danni, civili e ambientali, in tutta Italia, ma in particolar modo nella parte settentrionale, in cui la tempesta ha raggiunto il culmine della potenza. Il bacino del fiume Cellina, situato nella parte nord-occidentale del Friuli Venezia-Giulia è stata una delle zone in cui il ciclone ha raggiunto la sua massima intensità, ma i danni causati sono relativamente inferiori rispetto a quelli avvenuti in altre zone a pari intensità dell'evento. L'evoluzione della tempesta Vaia ha visto succedersi due fasi principali, in corrispondenza delle quali la precipitazione si è fortemente intensificata. La prima fase è avvenuta dal 27 al 28 ottobre, e dopo poche ore di pausa dalla prima ha inizio la seconda fase che è durata dal 29 al 30 ottobre. Nella seconda fase la precipitazione è stata mediamente più intensa rispetto alla prima, ma si è concentrata in un intervallo di tempo inferiore. In soli quattro giorni, nel bacino del Cellina, sono caduti mediamente 547 mm di pioggia, con dei valori massimi puntuali che hanno raggiunto 888 mm in Malga Chiampiu (pluviografo fuori dal bacino del Cellina) e 886 mm in Casera Pradut. A livello puntuale il valore massimo di precipitazione cumulata giornaliera è stato raggiunto il 28 ottobre, con 427 mm di pioggia registrati dal pluviografo situato in Malga Chiampiu, mentre, il valore più alto di intensità di precipitazione oraria è stato raggiunto il 29 ottobre con 55 mm di pioggia (Casera Pradut). Per quanto riguarda la precipitazione interpolata nell'intero bacino, il giorno mediamente più piovoso è stato il 29 ottobre, in cui sono caduti circa 232 mm di pioggia, con un picco di intensità di precipitazione oraria di 32 mm. Quindi il giorno mediamente più piovoso è stato il 29 ottobre, ma puntualmente il picco di precipitazione cumulata giornaliera si è verificato il 28 ottobre. Dal 27 ottobre al 30 ottobre nel bacino sono caduti circa $2,18 \times 10^8 \text{ m}^3$ di pioggia.

Il Cellina durante l'evento Vaia ha avuto due eventi di piena, uno in corrispondenza della prima fase dell'evento e uno in corrispondenza della seconda. La portata massima è stata raggiunta durante il secondo evento con un valore di $1070 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre, la portata di picco raggiunta durante il primo evento di piena è di $505 \text{ m}^3/\text{s}$. La portata media del Cellina durante la tempesta Vaia è stata

di $314 \text{ m}^3/\text{s}$, per un volume di deflusso totale di circa $8,16 \times 10^7 \text{ m}^3$, e un coefficiente di deflusso di 0,46. La zona del bacino in cui ha piovuto di più e con maggior intensità è stata la fascia centrale, dove si trova l'abitato di Claut (PN), che corrisponde alla zona in cui si sono verificati la maggior quantità di schianti boschivi con 54340 m^3 di materiale legnoso abbattuto.

Appendice

		PLUVIOGRAFI													
Data	Ora (h)	F029	F093	F095	F103300	F103400	F103500	F103600	F231300	F232300	F232400	F487600	F499300	F499500	F502800
27/10/2018	01:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	02:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	03:00:00	0	0,6	1,8	0,4	1,6	1,2	0,6	0	0	0	0	0	0,8	0
	04:00:00	0,5	0,2	0,4	0,2	0,6	0,4	1	0,4	0,4	0	0,8	1,2	0	0
	05:00:00	0,5	1,6	1,6	2,2	1,8	2,6	2	0,8	0,4	1,2	2,4	1,4	2,8	0
	06:00:00	2,5	1	2,4	1	2,8	6,8	3,2	3,2	3,2	3,2	2,8	0,4	0,4	0
	07:00:00	3,6	1	1,6	1	2	4,4	1	4,8	7,6	5	5,4	4	0,8	0,8
	08:00:00	3	0,4	2,2	0,4	2,2	2,8	0,6	4	4,6	4,2	3,6	3,2	0,2	0
	09:00:00	2,9	0	0,6	0	0,6	0	0	3,8	4,6	3,4	3,4	1,6	0	0,2
	10:00:00	2,7	0	1	0	1,4	3,6	0	3,4	3,8	3,6	3,4	3,2	0,2	0
	11:00:00	3,4	0,2	0,4	0,2	0,4	1,8	1,2	4,4	2,8	3,8	5,2	2,6	0	0
	12:00:00	1,9	3,6	2,6	4,6	4	4	6,2	3	4,8	2,6	8,4	2,4	2,6	1
	13:00:00	4,9	8,6	8,6	9,6	11	8	16,8	6,8	8,8	6,2	8	5	6,6	1,4
	14:00:00	4,3	9	21,4	11,2	27,4	6,4	22,2	5	5,6	3	11,4	3,2	5,6	2,4
	15:00:00	3,2	7,6	16,2	8,4	23,8	7,6	12,4	4	4,4	4	8,2	3,4	6,2	2,4
	16:00:00	5,9	5	8,6	4,8	9,8	2,8	2,8	7,2	8,6	4,8	12,4	3,8	1,2	1,2
	17:00:00	3,6	2,2	3,8	2,4	3	2,4	4	5	16	5,4	15,4	4,6	0,6	0,6
	18:00:00	3,1	5,2	4,8	6,2	5,4	2	4,4	4,4	12,2	1,6	10,6	5,2	3,4	0,6
	19:00:00	5	2,6	4,4	3,4	5	4	2	6	8,6	2,8	15,6	2,6	1,4	0
	20:00:00	3,5	1,6	3,6	1,8	5,4	4,4	2,6	3,8	5,2	4,2	10,8	2,4	1	0,2
	21:00:00	2,5	0	0,6	0	0,4	2,4	0,2	2,6	2,4	6,4	4,4	3,2	0	0
	22:00:00	2,8	0,4	1,2	0,2	1,2	0,6	1,2	2,8	0,8	1,2	2,6	2	0	0
	23:00:00	4,4	0,4	1,6	0,4	1,6	4,8	0,2	6	3,2	10,6	27,8	3,8	0,4	0
28/10/2018	00:00:00	6,3	1,2	0,4	1,6	0,4	6,6	0	8,8	4,4	17,4	27,8	7,4	2,4	0
	01:00:00	4,7	4,2	8,8	4,8	11	16,6	4,8	7,4	6	13,8	43,6	5,4	5	0,6
	02:00:00	9,5	10,4	14	10,8	17,6	12,8	9,6	11,4	5	14,2	18	5,6	7,6	3,2
	03:00:00	8,7	11,2	16,8	12,4	17,6	13,8	20,4	11,6	15,6	16	34,8	6,6	12,2	15
	04:00:00	6,1	3,4	4,2	3,8	5,8	1,6	11,4	7,4	8	13,4	25,8	4,8	2	7,4
	05:00:00	15,3	0	1,4	0,2	1,8	3	1,4	19,8	1	32,8	24,4	5,4	0,4	0,2
	06:00:00	8,7	3	7,8	2,6	10,2	9	7	11,4	2,2	28,4	20,8	3,6	1,4	0
	07:00:00	14,9	3,4	7,8	3,6	7	12,8	8,4	18	1,2	30,6	28,2	3	2,6	0,6
	08:00:00	5,5	15,2	13	15,8	14,4	12,6	21,2	6,6	6,4	9,6	26,2	5,6	15,8	6
	09:00:00	6,1	20,2	16	22,6	19,4	15,8	23,8	7,6	10,4	10,8	33,6	7,6	20,8	7,8
	10:00:00	8,9	0,6	5,4	1,4	5,6	6,6	6,4	10,2	10,6	27,2	15,4	4,8	0,8	0,2
	11:00:00	6,1	1,4	7,2	1,4	7,8	7,6	9,2	7	8,6	25,4	13,2	1,4	0,2	1,2
	12:00:00	6,9	11,8	8,6	12,6	10,2	11	10,2	8,4	3,4	26	17,2	1,6	8,2	1,6
	13:00:00	8,9	14,2	20,6	15	21,2	19,8	10,2	11,8	3,8	30,8	20,4	5,4	9,4	0,6
	14:00:00	6,6	11,8	18,6	13,2	24,8	16,2	11	9	2,8	21,6	18,8	6	10	0,8
	15:00:00	5,8	16,4	12,4	19,8	14	10	14,2	7	4,6	14,2	11,8	4,8	14,8	1,6
	16:00:00	5	21,8	19	25,8	18,8	9,2	15,4	6,4	7	19	17	5,6	18,6	2,4
	17:00:00	10,4	7	14,8	7	14,6	10,6	7	13,2	5	21,8	10,4	6,4	4,2	0,4
	18:00:00	9,3	16,6	17,4	18,6	26,6	17,6	6,4	11,6	10,6	19,8	5,4	8,4	16,4	1,8
	19:00:00	1,4	5	2,2	6,4	2,2	5,2	17,4	2,2	2,8	3	11,8	2,2	3,6	10
	20:00:00	2,3	1	0,2	1	0,6	2,8	1,4	2,8	2	1,6	2,4	2,2	0,8	0,8

	21:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0
	22:00:00	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/10/2018	00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
	01:00:00	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	02:00:00	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
	03:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
	04:00:00	0,5	1	1,4	0,4	1,8	1	0,2	0,8	0,2	2,6	2	0,4	0,2	0
	05:00:00	1	0	0	0	0	0	0	1,6	0,2	0,2	0,4	2	0	0,4
	06:00:00	0,4	0,4	4,2	0,4	3,2	0,8	0,4	0,6	0	0,6	5	0,2	0,6	0,2
	07:00:00	2,6	9,6	8,4	10,8	10,2	7	7,4	3,4	5,2	10	6,4	2,4	11,4	8,8
	08:00:00	6	5	7,8	6,6	9	8,8	8,8	8,4	7	12,6	9,2	7,2	7,2	6,6
	09:00:00	3,5	10,2	9,6	12,4	11,4	9,6	12,8	4,4	5	8	9,4	4	15,2	11,2
	10:00:00	5,5	4,4	7,8	5	10,4	9,6	6	7,6	7,6	9,2	9,4	7,2	4,6	1,8
	11:00:00	8	13,2	16	15,8	18,2	28,4	12,8	10	14,2	19,4	27,4	7,6	22,4	2,8
	12:00:00	13	4,6	15	6,4	18	25,8	15,8	16	13,8	22,8	29,2	12,6	5,4	3,6
	13:00:00	13,4	4,8	7,6	3,6	9,4	12,6	6,6	14,2	9,8	26,8	31,6	11	3,2	0
	14:00:00	19,5	6,2	9,4	7,2	10,4	13,2	8,2	16,8	9	22,8	17,6	7,8	2,4	1,2
	15:00:00	22,1	15,2	10	18	16,8	20,4	11	31,8	16	8,8	11,6	21,2	27	8
	16:00:00	24,7	25,8	25,8	29,8	37	43	32,2	30,8	21,4	32,6	30,8	28,2	17,6	14,6
	17:00:00	25	0,8	2,4	0,8	3,4	11,8	2,6	24,2	19,6	14	15,8	12,4	0,8	0
	18:00:00	27,1	16,2	25,6	18,8	33,8	27,6	16,6	32,8	26,8	43,4	21,4	24,4	16	4,6
	19:00:00	19,3	3,2	4	2,6	3,4	9	1	20		26	21,6	11,2	0,2	0,2
	20:00:00	13,4	4,4	11,8	5	14,8	17,8	7,4	11,6		21,2	24,2	4,8	12,6	0,6
	21:00:00	9,3	11	0,8	14,4	1,6	16,4	0	7		4,2	4,4	4,8	18,6	0
	22:00:00	0,9	0	0	0	0	0,2	0,2	0,8		0,4	1	1	0	0
	23:00:00	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2		0	0	0,2	0	0,2
30/10/2018	00:00:00		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0,2	0	0
	01:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	02:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	03:00:00	0,9	0	0	0	0,2	0	0	0,6		0,6	1,2	0	0	0
	04:00:00	0,9	2	1	1,8	1,4	0,6	1,2	1,2		4,4	1,8	0	1,4	0,4
	05:00:00	1,5	4,2	4	4,6	4,2	3,2	6,4	1,4		5	1,8	0	5,2	1,4
	06:00:00	1,7	1,2	0,8	1	1,6	4,4	2,2	2,4		3	2	0	3,2	1
	07:00:00	2,1	2,6	0,4	3,4	1	5,6	0,6	3,2		2,6	1,2	0	5	1
	08:00:00	1,1	4,2	1,2	5	1,6	4	2,2	1,8		3,2	0	0	7	2,2
	09:00:00	1,9	3,4	1,4	3,4	1,4	1,6	2	2,2		2,2	0,2	0	2,6	0,2
	10:00:00	0,7	2	0,6	2	0,6	1,6	1	1		0,8	0,2	0	2	0
	11:00:00	1	1,2	0,4	1,2	0,6	3,2	0,6	1,4		0,6	1,2	0	1,2	0
	12:00:00	1,3	0	0,2	0	0	0,6	0,2	1,8		0,4	2,2	0	0,2	0
	13:00:00		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	1,2		0,4	2,2	0,2	0,2	0
	14:00:00	0,9	0,2	0	0	0	0	0,6	1,2		0,2	1,8	0,2	0,4	4,4
	15:00:00	0,8	3,8	0,8	4	0,6	1,6	0,2	0,8		1,6	1,6	0,2	4	4,2
	16:00:00	0	1,6	0,2	1,4	0,4	1,2	0,2	0		0,2	1	0,2	0,8	1,4
	17:00:00	0	0	0	0	0	0	0,2	0		0	0,6	0	0,8	0,2
	18:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0,2		0	0,4	0	0,2	0,2
	19:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	20:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
	21:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0

	22:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0,2	0	0	0
	23:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
31/10/2018	00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0

Appendice A - Dati pluviometrici di 14 pluviometri

PLUVIOGRAFI													
Data	Ora (h)	F503200	F503400	F503900	F504000	F504100	F504200	F504300	F504600	F504700	F504800	F504900	F505000
27/10/2018	01:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	02:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
	03:00:00	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0	1,6	1
	04:00:00	0	0	0,4	1,2	0	0	0	1,6	1,6	0	0,2	0
	05:00:00	1,4	1,6	2	1	1,4	1,2	0	2,4	1	0,6	2,8	2,6
	06:00:00	9	5,6	3,4	5,4	2,4	2,8	4,4	4,8	8,4	2	3	1,8
	07:00:00	12,4	10	4,6	5	3,8	4,8	3,6	4,8	5,2	5,2	0,8	1
	08:00:00	7,6	7,8	4,2	2,4	2,4	4	1	5	1,6	3,8	0,4	0,2
	09:00:00	4,4	5	2,2	2,4	1,2	2,2	1,2	3	0,8	2,4	0	0
	10:00:00	9,8	7	3,2	3,6	2,2	3,6	2,6	3,2	2,4	3,2	0,4	0,2
	11:00:00	6,4	6	1,8	2,8	3,4	2,6	2	3	2,8	4,2	0	0
	12:00:00	5,8	4,6	5,2	6,4	3,4	4,2	0,6	6,2	2	2	4,6	3,8
	13:00:00	12,6	7,2	9,2	6	7,8	9	6,8	7,2	5,8	6	18	19
	14:00:00	12,2	6,4	8,2	4,8	8,2	5	3,6	4,6	3,2	5,8	11,6	15,4
	15:00:00	12,6	7,6	9,6	3,6	8,4	7,6	6,8	4,2	5	5,4	11	14,4
	16:00:00	12,6	7,8	11,6	5,4	11,6	5,6	8	6	7	4,8	5	5
	17:00:00	3,8	2,6	8,4	7,8	13,2	9,2	8	7,2	7,6	5,4	4,6	2,6
	18:00:00	1	0,8	10,8	5,2	11,8	5,6	8	6,4	5,2	4	7,4	8,2
	19:00:00	6,6	4,8	7,8	5,4	9,2	7,4	5,6	4	3,8	5	4,4	3,4
	20:00:00	3,2	3	9,2	3,4	9,2	6,6	3,6	4	3,8	6,6	2,4	2,8
	21:00:00	1,2	1,6	4,2	2,6	14,4	3,8	8,4	4,8	10	4,6	0,2	0,2
	22:00:00	0,2	0,6	6,6	2	6,8	5,2	3,6	4	8	3,4	0,6	0,6
	23:00:00	5	5,4	12,4	6	7	16	7	5,2	2,2	11,4	0,6	0,4
28/10/2018	00:00:00	11,6	12,2	9,4	11	5,6	16	12,6	9,6	5	16	2,8	2
	01:00:00	17,6	15,4	18,4	10,2	8,6	20,6	6,2	8,8	2,4	11	5,6	3,4
	02:00:00	9,4	11,2	23,6	6,2	13,4	22,8	10,4	5,2	5,4	14,4	9,2	8,8
	03:00:00	8	7,2	22,6	14	16,8	27,6	19,4	12,6	12,6	14,4	15,4	11,8
	04:00:00	2,4	2,8	6,6	7,6	13,6	9,6	6,6	8,4	7,6	12,2	5,4	6,2
	05:00:00	2,2	7,4	5,4	1,6	17	12,6	4,2	1,4	13	23,6	1,4	0,8
	06:00:00	5,2	9,2	19,6	3,2	31,8	23,8	12,8	3,8	15,4	19	6,8	4,8
	07:00:00	10,6	11	15,8	1,4	22,2	23,6	14,2	0,6	13,8	28,2	4	4,8
	08:00:00	9,2	8,8	13,6	6,2	14	11,4	24,8	7	14,8	11,4	14,8	15,4
	09:00:00	10,6	7	18,2	11,4	20,2	15,4	21,4	9,6	14,8	11	19,2	16
	10:00:00	3,2	4,6	18,6	6,4	18,2	27,8	8,4	8	12,8	19,8	3,2	3,6
	11:00:00	3,6	3,6	14	4,6	21,8	22,2	7,2	5,8	6,4	15,2	0,6	1
	12:00:00	6	4,8	21,2	2,2	21,2	28,8	5,8	2,2	7,6	14,2	11,6	15,6
	13:00:00	13,4	16,4	30,8	5,2	21,4	37	13,6	2,8	9,6	23	14	13,2
	14:00:00	6,6	10,8	26,2	7,8	15,4	23,2	10	6,2	9	12,6	16,8	14,6
	15:00:00	4,4	6,4	16,2	8,2	9	15,8	15,6	7	9,6	9,8	17,2	15,8
	16:00:00	4,6	11,2	19,8	7	13,8	21,8	7,4	8	5,2	11,2	22,2	22,8
	17:00:00	8,2	8,6	23,8	7,4	14,8	24,4	9,8	6,6	4,8	22,4	6,4	8,4
	18:00:00	18,4	14,6	37,8	9,8	21,2	31,8	12	9,4	9,2	14,6	16,4	15,4
	19:00:00	2	1,6	9,2	2,6	10	4,2	4	2,2	3,8	5,8	7	7,2
	20:00:00	2,2	0,8	1,4	2,8	1,6	1,6	1,4	3	1,8	1,4	0,6	0,8

	21:00:00	0	0	0,2	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
	22:00:00	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
	23:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29/10/2018	00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	01:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
	02:00:00	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0
	03:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	04:00:00	1,2	3,6	4	1,4	1	4,4	0,6	0,4	0,8	2	1,2	0,6
	05:00:00	0,2	0,4	0,6	1,6	0,2	0,4	0,4	1,6	0,4	1,6	0	0
	06:00:00	0,2	0	3,2	0,4	0,2	1,8	0,4	0,2	0,2	0,6	0,6	0,4
	07:00:00	4,4	4,4	5,2	6,8	5,4	8	5,8	5,2	4,2	5,2	11,2	12
	08:00:00	6,6	7,2	7,8	9,2	9	9,8	6,8	8,8	9,6	9,4	6,6	5,6
	09:00:00	6,6	6	9,4	6	8,8	9,4	5	4,8	3,6	6,2	11,8	11,2
	10:00:00	8,4	9,8	12,2	7,4	13,2	13	11,4	6,6	10,4	10,6	6	6,6
	11:00:00	25,2	22,8	25,4	18,8	19,4	26,4	12,4	14,2	8,4	14,6	22,6	15
	12:00:00	19,6	21,8	24,4	19,2	27,2	28	25	21,8	15,4	21	10,8	7,6
	13:00:00	11,6	12	28,4	11,2	21,4	31,4	16	8,4	9	19,8	5,2	4,4
	14:00:00	11,8	19,4	17	14,2	17	21,6	8,4	12,8	17,4	11	5	7,6
	15:00:00	19,4	14,4	13,4	10,4	18,4	17,4	10	8,4	25,2	17,2	20,2	17,2
	16:00:00	36,2	31,6	36,6	30	39,2	43	19,8	23	21,4	29,6	24,8	25,8
	17:00:00	18,6	20,8	10,4	18,8	11,6	15,4	10,6	19	23,6	10,8	2,2	1
	18:00:00	37	40,6	35,8	28,4	26,4	55	21,8	25	31,6	28,4	20,6	15,8
	19:00:00	20	24,6	11,2	25	19,6	16,4	27,6	21	16,8	20	3,4	3
	20:00:00	18,4	17	22,4	18,6	13	21,2	26,6	16,2	30,2	9,6	8,6	7,6
	21:00:00	13,2	5	2	20,8	2,4	2,8	30,2	24,6	22,8	4,4	24,8	19,2
	22:00:00	0,8	0,2	0,2	1,6	0,8	0,2	0	0,8	0	0,8	1,6	0
	23:00:00	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
30/10/2018	00:00:00	0	0	0,2	0,6	0	0	0	0	0,2	0	0	0
	01:00:00	0	0	0	0,2	0	0	0	0	1,2	0	0	0
	02:00:00	0	0,2	0	0,2	0	0	2,8	0	0,2	0	0	0,2
	03:00:00	0	0	0,4	0	1,4	1,8	5,8	0,4	1	1	0	0
	04:00:00	0	0,2	0,4	0	4,2	4,2	11,6	0,8	0,2	1,2	3	3,2
	05:00:00	0	0,8	0	0	4,8	6,4	9,4	1,2	0,4	2,4	1,4	3,6
	06:00:00	4,4	1,8	0	0	4,8	4	6,2	3,4	0,2	2	0	2,2
	07:00:00	5	3,4	0,2	0	2,6	3	4,2	3,6	0,4	2,2	0	0
	08:00:00	4	3,4	0	0	1,8	3	2,2	3,4	0,4	2,4	0	0
	09:00:00	3,6	3	0	0	1,2	1,4	1,8	3	0,2	1,6	0	0,2
	10:00:00	2	1	0	0	1	2,4	1,2	1,8	0,2	0,6	0,2	3
	11:00:00	3,4	1,6	0	0	1	2,2	1,2	3	0,4	1,2	0,8	3,6
	12:00:00	2,6	1,2	0,2	0	0,2	1	0,2	2	0,2	1,2	2	2,4
	13:00:00	1,4	1	0	0	0,2	0,2	0	1,2	0,2	0,8	1,6	1,4
	14:00:00	1,2	0,4	0,6	0	0	0	4,6	2,2	0,2	0,4	1,6	0,8
	15:00:00	2,4	2,2	0,2	0	1	1,8	0	0,6	0,4	0,6	1	0,8
	16:00:00	0,2	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0	0	0,6	0	0,2	0,4
	17:00:00	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,4	0	0	0,8
	18:00:00	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	0
	19:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0,2
	20:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0
	21:00:00	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0
	22:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31/10/2018	00:00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Appendice B-Dati pluviometrici dei restanti 12 pluviografi

TIPOLOGIA DI BOSCO	DESCRIZIONE-LUOGO	Stima m ³	Comune	% schianti	m ²
Boschi di Abete e in minima parte Faggio	Val Settimana - Senons - Pian de Mio	100	Claut	90	4043
Boschi di Abete e in minima parte Faggio	Val Settimana - Senons	50	Claut	40	1970
Boschi di Abete e in minima parte Faggio	Malga Bol	3500	Claut	90	166944
Boschi di Abete e in minima parte Faggio	Casera Casavento porzione ex pascolo sotto Col pilusel	50	Claut	30	104207
Boschi di Abete e in minima parte Faggio	Piccole aree di schianti	30	Claut	30	37459
Boschi di Faggio e in minima parte Abete Rosso	Col de la Ciasa	200	Claut	30	143008
Boschi di Abete e Faggio	Val Settimana - Prima di ciol de Pes	50	Claut	40	3639
Boschi di Abete e Faggio	Pont Ciarter	300	Claut	40	69211
Boschi di Abete e Faggio	Casavento	30	Claut	40	18826
Boschi di Abete e Faggio	Pian de cea	200	Claut	30	86694
Boschi di Abete e Faggio	Stima incerta	6000	Claut	70	189582
Boschi di Abete e Faggio	Landre Scur	500	Claut	80	19765
Boschi di Abete e Faggio	Pian fontana - Stima oculare	100	Cimolais	30	74743
Boschi di Abete e Faggio	Pian de thaina - stima oculare - schianti su Abete Rosso	50	Cimolais	20	14577
Boschi di Abete e Faggio	Dosso nadei - stima incerta	50	Cimolais	40	11727
Boschi di Abete e Faggio	Ponte Confoz - schianti diffusi	50	Cimolais	10	42079
Boschi di Abete e Faggio	Schianti diffusi - stima oculare	5200	Claut	50	618558
Boschi di Abete e Faggio	Caulana	1500	Barcis	80	118005
Boschi di Abete e Faggio	Caulana	750	Barcis	40	42921
Boschi di Abete e Faggio	Val cimoliana	4000	Cimolais	80	206126
Boschi di Abete e Faggio	Val Zemola	50	Erto	70	6396
Boschi di Abete e Faggio	Schianti diffusi soprattutto di abete rosso	300	Claut	30	52680
Boschi di Abete e Faggio		50	Erto	50	15671
Boschi di Abete e Faggio		500	Erto	80	40653
Boschi di Abete e Faggio	Schianti lungo strada	50	Cimolais	20	5041
Boschi di Abete e Faggio		20	Erto	30	5025
Boschi di Abete, Faggio e Larice	Pradut	30000	Claut	80	976624
Boschi di Abete, Faggio e Larice	Val Zemola	100	Erto	40	26325
Boschi di Abete, Faggio e Larice	Val Zemola - Casera Ferrera	80	Erto	40	21183
Boschi di Abete, Faggio e Larice	Val Zemola	20	Erto	50	13707
Boschi di Faggio	Frate de sot	1000	Claut	80	49556
Boschi di Faggio	Val Feron - stima oculare	300	Cimolais	70	20148
Boschi di Faggio	Pian dei tass - stima oculare	150	Barcis	85	31737
Boschi di Faggio	Pian fontana - stima oculare	100	Cimolais	20	20167
Boschi di Faggio	Val Cimoliana	2000	Cimolais	80	62145
Boschi di Faggio	Val Mesath	50	Erto	40	2670
Boschi di Faggio	Schianti su Faggio	200	Claut	70	39813
Boschi di Faggio	Val Feron	200	Cimolais	50	34355
Boschi di Faggio	Caolana	250	Barcis	80	7286
Boschi di Faggio	Schianti diffusi	150	Barcis	20	188692
Boschi di Pino	Piolsa	1500	Claut	80	69851
Boschi di Pino	Col dei Piais	1000	Claut	80	29748
Boschi di Abete Rosso e Pino Silvestre	Pian pagnon - stima oculare	50	Cimolais	30	64987
Boschi di Larice		200	Erto	90	32304
Boschi di Abete Rosso, Faggio, Acero e Frassino	Prada - Frana che ha causato schianti	50	Claut	50	12101
Boschi di Pino	Scandoler - stima oculare	30	Cimolais	20	16336
Boschi di Pino	Loc. Fasolera	10	Barcis	30	4623
Boschi di Pino	Loc. Fasolera - piccoli schianti	10	Barcis	30	8365
Boschi di Abete Rosso e Frassino		40	Barcis	30	11824

Boschi di Abete Rosso, Bianco e Faggio		4000	Claut	40	111935
Boschi di Abete Rosso, Bianco e Faggio		3500	Claut	40	69691
Boschi di Pino Silvestre e Nero	Creppi - val ciadola	1000	Claut	90	89450
Boschi di Pino Silvestre e Nero	Val Pentina - schianti su pino - stima oculare	100	Barcis	50	27062
Boschi di Pino Silvestre e Nero	Piolsa	300	Claut	80	17710
Boschi di Pino Silvestre e Nero	Schianti su pino	150	Claut	70	41518
Boschi di Faggio e Tasso	Schianti diffusi	50	Barcis	40	46946
Boschi di Faggio e Pino	Schianti diffusi	100	Barcis	50	36510
Boschi di Faggio, Abete e Tasso	Prescudin Cjastron	300	Barcis	30	487995
Boschi di Abete	Malga Pussa	50	Claut	40	51259
Boschi di Abete	Rif. Pussa	20	Claut	30	5154
Boschi di Abete	Ciol de Pes	100	Claut	30	60654
Boschi di Abete	Casera resettum - alcuni schianti su abete	30	Claut	30	18131
Boschi di Abete	Armasio - schianti su pecceta artificiale	30	Barcis	40	19580
Boschi di Abete	Val Pentina	100	Barcis	70	68103
Boschi di Abete	Schianti sponda dx cellina dietro cimitero	20	Claut	30	2063
Boschi di Abete	Schianti su abete rosso	100	Claut	20	262833
Boschi di Abete	Pian Meluzzo - stima oculare	50	Cimolais	20	15990
Boschi di Abete	Casera Chialedina	40	Claut	30	17251
Boschi di Abete	Cellino - piccoli Schianti	15	Claut	20	3156
Boschi di Abete	Abeti dietro rifugio Pussa	50	Claut	30	3759
Boschi di Abete	Nuclei di abete	30	Barcis	50	21930

Appendice C-Elenco schianti boschivi nel bacino del Cellina con indicato la tipologia di bosco

Giorno	Ora	Precipitazione (mm)
27-ott	0:00-1:00	0,00
	1:00-2:00	0,00
	2:00-3:00	0,34
	3:00-4:00	0,44
	4:00-5:00	1,48
	5:00-6:00	4,40
	6:00-7:00	5,45
	7:00-8:00	3,78
	8:00-9:00	2,30
	9:00-10:00	3,72
	10:00-11:00	3,05
	11:00-12:00	4,30
	12:00-13:00	8,32
	13:00-14:00	8,27
	14:00-15:00	8,05
	15:00-16:00	7,14
	16:00-17:00	6,47
	17:00-18:00	5,29
	18:00-19:00	5,45
	19:00-20:00	4,81
	20:00-21:00	3,81
	21:00-22:00	2,39
	22:00-23:00	6,09

	23:00-24:00	8,96
28-ott	0:00-1:00	11,62
	1:00-2:00	11,43
	2:00-3:00	14,26
	3:00-4:00	7,21
	4:00-5:00	8,18
	5:00-6:00	11,76
	6:00-7:00	12,24
	7:00-8:00	10,59
	8:00-9:00	13,41
	9:00-10:00	10,91
	10:00-11:00	9,77
	11:00-12:00	10,85
	12:00-13:00	16,36
	13:00-14:00	12,98
	14:00-15:00	9,70
	15:00-16:00	11,84
	16:00-17:00	12,26
	17:00-18:00	16,95
	18:00-19:00	4,14
	19:00-20:00	1,86
	20:00-21:00	0,03
	21:00-22:00	0,06
	22:00-23:00	0,00
	23:00-24:00	0,00
29-ott	0:00-1:00	0,02
	1:00-2:00	0,03
	2:00-3:00	0,00
	3:00-4:00	1,56
	4:00-5:00	0,60
	5:00-6:00	0,77
	6:00-7:00	6,53
	7:00-8:00	8,51
	8:00-9:00	7,49
	9:00-10:00	9,17
	10:00-11:00	19,34
	11:00-12:00	20,22
	12:00-13:00	14,29
	13:00-14:00	13,75
	14:00-15:00	15,63
	15:00-16:00	32,20
	16:00-17:00	13,94
	17:00-18:00	30,91
	18:00-19:00	8,03
	19:00-20:00	16,65
30-ott	20:00-21:00	11,38
	21:00-22:00	0,55
	22:00-23:00	0,03
	23:00-24:00	0,09
	0:00-1:00	0,08

1:00-2:00	0,08
2:00-3:00	0,46
3:00-4:00	1,37
4:00-5:00	2,31
5:00-6:00	2,50
6:00-7:00	2,60
7:00-8:00	2,38
8:00-9:00	1,73
9:00-10:00	1,09
10:00-11:00	1,58
11:00-12:00	0,87
12:00-13:00	0,54
13:00-14:00	0,48
14:00-15:00	1,19
15:00-16:00	0,34
16:00-17:00	0,05
17:00-18:00	0,02
18:00-19:00	0,01
19:00-20:00	0,02
20:00-21:00	0,03
21:00-22:00	0,00
22:00-23:00	0,00
23:00-24:00	0,00

Appendice D-Tabella relativa ai valori orari della precipitazione media areale nel bacino del Cellina durante l'evento Vaia

Idrogramma con $\Delta t=1\text{ora}$		ora	Portata Cellina (m ³ /s)	Precipitazione (mm)
$\Delta T1$	27-ott	0:00-1:00		0,00
$\Delta T2$		1:00-2:00		0,00
$\Delta T3$		2:00-3:00		0,34
$\Delta T4$		3:00-4:00		0,44
$\Delta T5$		4:00-5:00		1,48
$\Delta T6$		5:00-6:00		4,40
$\Delta T7$		6:00-7:00		5,45
$\Delta T8$		7:00-8:00		3,78
$\Delta T9$		8:00-9:00		2,30
$\Delta T10$		9:00-10:00		3,72
$\Delta T11$		10:00-11:00		3,05
$\Delta T12$		11:00-12:00		4,30
$\Delta T13$		12:00-13:00		8,32
$\Delta T14$		13:00-14:00		8,27
$\Delta T15$		14:00-15:00		8,05
$\Delta T16$		15:00-16:00		7,14
$\Delta T17$		16:00-17:00		6,47
$\Delta T18$		17:00-18:00		5,29
$\Delta T19$		18:00-19:00		5,45
$\Delta T20$		19:00-20:00		4,81
$\Delta T21$		20:00-21:00		3,81

ΔT22		21:00-22:00		2,39
ΔT23		22:00-23:00		6,09
ΔT24		23:00-24:00		8,96
ΔT25	28-ott	0:00-1:00	30,54	11,62
ΔT26		1:00-2:00	51,21	11,43
ΔT27		2:00-3:00	52,86	14,26
ΔT28		3:00-4:00	78,10	7,21
ΔT29		4:00-5:00	130,00	8,18
ΔT30		5:00-6:00	173,89	11,76
ΔT31		6:00-7:00	200,28	12,24
ΔT32		7:00-8:00	204,44	10,59
ΔT33		8:00-9:00	258,95	13,41
ΔT34		9:00-10:00	400,83	10,91
ΔT35		10:00-11:00	429,93	9,77
ΔT36		11:00-12:00	368,95	10,85
ΔT37		12:00-13:00	424,02	16,36
ΔT38		13:00-14:00	413,70	12,98
ΔT39		14:00-15:00	403,06	9,70
ΔT40		15:00-16:00	456,25	11,84
ΔT41		16:00-17:00	488,61	12,26
ΔT42		17:00-18:00	435,58	16,95
ΔT43		18:00-19:00	424,18	4,14
ΔT44		19:00-20:00	448,56	1,86
ΔT45		20:00-21:00	504,57	0,03
ΔT46		21:00-22:00	451,62	0,06
ΔT47		22:00-23:00	364,86	0,00
ΔT48		23:00-24:00	264,72	0,00
ΔT49	29-ott	0:00-1:00	217,31	0,02
ΔT50		1:00-2:00	180,43	0,03
ΔT51		2:00-3:00	166,76	0,00
ΔT52		3:00-4:00	144,99	1,56
ΔT53		4:00-5:00	131,68	0,60
ΔT54		5:00-6:00	124,59	0,77
ΔT55		6:00-7:00	114,00	6,53
ΔT56		7:00-8:00	101,86	8,51
ΔT57		8:00-9:00	105,25	7,49
ΔT58		9:00-10:00	99,30	9,17
ΔT59		10:00-11:00	109,02	19,34
ΔT60		11:00-12:00	128,70	20,22
ΔT61		12:00-13:00	180,02	14,29
ΔT62		13:00-14:00	305,25	13,75
ΔT63		14:00-15:00	482,76	15,63
ΔT64		15:00-16:00	581,44	32,20
ΔT65		16:00-17:00	641,55	13,94
ΔT66		17:00-18:00	818,98	30,91
ΔT67		18:00-19:00	882,45	8,03
ΔT68		19:00-20:00	993,41	16,65
ΔT69		20:00-21:00	1018,42	11,38
ΔT70		21:00-22:00	1070,01	0,55
ΔT71		22:00-23:00	981,65	0,03
ΔT72		23:00-24:00	801,48	0,09
ΔT73	30-ott	0:00-1:00	454,40	0,08
ΔT74		1:00-2:00	443,07	0,08

$\Delta T75$	2:00-3:00	307,21	0,46
$\Delta T76$	3:00-4:00	299,53	1,37
$\Delta T77$	4:00-5:00	287,50	2,31
$\Delta T78$	5:00-6:00	255,93	2,50
$\Delta T79$	6:00-7:00	178,31	2,60
$\Delta T80$	7:00-8:00	223,69	2,38
$\Delta T81$	8:00-9:00	208,41	1,73
$\Delta T82$	9:00-10:00	196,32	1,09
$\Delta T83$	10:00-11:00	186,30	1,58
$\Delta T84$	11:00-12:00	180,27	0,87
$\Delta T85$	12:00-13:00	174,06	0,54
$\Delta T86$	13:00-14:00	161,98	0,48
$\Delta T87$	14:00-15:00	159,32	1,19
$\Delta T88$	15:00-16:00	135,93	0,34
$\Delta T89$	16:00-17:00	114,83	0,05
$\Delta T90$	17:00-18:00	133,71	0,02
$\Delta T91$	18:00-19:00	131,14	0,01
$\Delta T92$	19:00-20:00	128,30	0,02
$\Delta T93$	20:00-21:00	123,08	0,03
$\Delta T94$	21:00-22:00	119,02	0,00
$\Delta T95$	22:00-23:00	116,87	0,00
$\Delta T96$	23:00-24:00	112,28	0,00

Appendice E-Tabella che riporta i dati idrometrici del Cellina associati ai dati pluviometrici relativi all'evento Vaia

6. Ringraziamenti

Ringrazio la mia famiglia per avermi dato la possibilità di intraprendere questo percorso universitario, per essere sempre stati al mio fianco e per avermi sostenuto moralmente in questi anni di indecisione, conoscendo il mio carattere so che non è stato facile. Un ringraziamento particolare va a mio fratello Giulio, per essere stato una perfetta guida e per esserci stato nei momenti di difficoltà. Ringrazio mia nonna Amalia per avermi sempre dedicato un pensiero nei giorni di esame, mi dispiace che tu non sia riuscita a condividere con me anche questo mio traguardo. Ringrazio gli amici conosciuti durante questo percorso, grazie ai quali tutto è stato molto più leggero e divertente. In particolare, ringrazio Miscel per avermi sempre fatto compagnia durante le tormentate sessioni d'esami. Ringrazio le amiche di vecchia data, Giorgia, Anastasia, Paola e Silvia, per esserci sempre state e per aver condiviso con me i miei traguardi.

7. Bibliografia

- [1] Arpa FVG (2014) *Il clima del Friuli Venezia-Giulia*
- [2] Arpa FVG-Osmer (2015) *Scheda climatica n. 04 del Friuli Venezia-Giulia-Precipitazioni Prealpi carniche*
- [3] Arpa FVG-Osmer (2015) *Scheda climatica n.21 del Friuli Venezia-Giulia-Vento zona monti*
- [4] Arpa FVG (2018) *Report meteo FVG ottobre 2018*
- [5] Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (2008) *Piano stralcio per la sicurezza del fiume Livenza - sottobacino Cellina-Meduna,*
- [6] Borga M., a.a. 2020-21, *Appunti di lezione*, Laurea triennale in tecnologie forestali e ambientali, Università degli studi di Padova
- [7] Lenzi M. A., a.a. 2020-21, *Appunti di lezione*, Laurea triennale in tecnologie forestali e ambientali, Università di Padova
- [8] Landes Group (2020) *Intervento puntuale di messa in sicurezza idraulica impianto Inerti Meduna sul torrente Cellina a Zoppola (PN)*, Relazione tecnico-idraulica
- [9] Mussio L., Tesi di Laurea *Ricostruzione dell'evoluzione morfologica dell'alveo del Torrente Cellina negli ultimi 200 anni mediante tecniche G.I.S*, Università di Padova, a.a. 2007/2008
- [10] Marson G. (2010) *Il fiume Livenza*
- [11] Servizio geologico Friuli Venezia-Giulia (2010) *Geositi del Friuli Venezia-Giulia*

8. Sitografia

- Nimbus web (2018) 27-30 ottobre 2018: *Scirocco eccezionale, mareggiate e alluvioni in Italia con la tempesta Vaia*. <http://www.nimbus.it/eventi/2018/181031TempestaVaia.htm>
- Dolomiti.it., Dolomiti Friulane, Barcis. <https://www.dolomiti.it/it/barcis>