



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali

Corso di laurea in Riassetto del Territorio e Tutela del
Paesaggio

*Studio dell'alluvione del 4 Agosto 2012 nel bacino del
Hoferlahn-graben (Val di Vizze, BZ) e degli effetti della
copertura forestale in conoide*

Relatore:

Prof. Vincenzo D'Agostino

Correlatore:

Dott.ssa Tamara Michelini

Laureanda:

Francesca Masiero

Matricola n.

1030098

ANNO ACCADEMICO 2014 – 2015

INDICE

RIASSUNTO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUZIONE	11
1.1 DIFFERENZE TRA <i>DEBRIS FLOW</i> E <i>DEBRIS FLOOD</i>	11
1.2 RUOLO PROTETTIVO DELLA FORESTA NEI CONFRONTI DEI FENOMENI DI <i>DEBRIS FLOW</i> E <i>DEBRIS FLOOD</i>	13
2. DICHIARAZIONE DELL'OBIETTIVO	15
3. MATERIALE E METODI	17
3.1 AREA DI STUDIO	17
3.1.1 <i>Inquadramento territoriale</i>	17
3.1.2 <i>Inquadramento geologico</i>	18
3.1.3 <i>Uso del suolo</i>	21
3.2.4 <i>Studio di bacino</i>	22
3.1.5 <i>Analisi del conoide del bacino</i>	31
3.2 METODI DI INDAGINE.....	33
3.2.1 <i>Descrizione dell'evento</i>	33
3.2.2 <i>Rilievo topografico del deposito</i>	35
3.2.4 <i>Analisi granulometrica dei depositi</i>	36
3.2.5 <i>Rilievo della componente forestale</i>	38
3.2.3 <i>Costruzione dell'idrogramma liquido e del sedimentogramma con metodo idrologico</i>	39
4 RISULTATI E DISCUSSIONE	41
4.2 RILIEVO GRANULOMETRICO	41
4.2.1 <i>Rilievo granulometrico n.1</i>	41
4.2.2 <i>Rilievo granulometrico n.2</i>	43
4.2.3 <i>Rilievo granulometrico n.3</i>	45
4.1 RISULTATI DELLA STIMA DEI VOLUMI.....	47
4.3 RISULTATI DEL RILIEVO DELL'INTERAZIONE CON LA COMPONENTE FORESTALE	49
4.3.1 <i>Confronto tra area indisturbata e area disturbata</i>	52
4.3.2 <i>Analisi della severità del fenomeno</i>	55

5. CONCLUSIONI 63
BIBLIOGRAFIA..... 65

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Schema della sezione longitudinale di una colata detritica (da Ancey, 2001)	12
Figura 2: Schema del fenomeno gravitativo e della distanza di arresto R (da D'Agostino e Cesca, 2009).....	13
Figura 3: Inquadramento territoriale del bacino di studio; (Ortofoto: Esri)	17
Figura 4: Carta delle esposizioni del bacino	18
Figura 5: Schema tettonico a blocchi che mostra l'estrusione laterale lungo la linea del Brennero delle unità penniniche della finestra dei Tauri (ridisegnato da Bistacchi <i>et al.</i> , 2003).....	19
Figura 6: Estratto modificato della Carta geologica del transetto Val di Vize-Fortezza da Bistacchi <i>et al.</i> (2003).....	19
Figura 7: Estratto della Carta geologica del transetto Val di Vize-Fortezza da Bistacchi <i>et al.</i> (2003)	20
Figura 8: Uso del suolo del bacino	21
Figura 9: Grafico a torta dell'uso del suolo	22
Figura 10: Reticolo idrografico secondo la classificazione di Horton-Strahler	23
Figura 11: Suddivisione del bacino per fasce di quota con ampiezza di 100 m	26
Figura 12: Istogramma di distribuzione delle aree per fasce di quota	27
Figura 13: Istogramma di distribuzione delle pendenze per fasce di quota.....	28
Figura 14: Carta della pendenza (espressa in gradi).....	29
Figura 15: Curva ipsografica	30
Figura 16: Curva ipsometrica.....	30
Figura 17: Profilo longitudinale del collettore principale	31
Figura 18: Perimetrazione del conoide e del deposito oggetto di studio del bacino su hillshade del DTM, con indicate le isoipse	31
Figura 19: Precipitazione cumulata dell'evento del 04 agosto 2012 (Archivio ED30)	33
Figura 20: Precipitazioni misurate con passo di 15 minuti alla stazione di Vipiteno AP (da dati dell'Ufficio Idrografico della Provincia autonoma di Bolzano).....	34
Figura 21: Fotografie dell'evento del 4 agosto 2014 in Val di Vize (Rio Tolve) (Archivio ED30)	35
Figura 22: Foto della parte terminale del deposito	36
Figura 23: Piastra forata utilizzata per il rilievo granulometrico.....	37
Figura 24: Ortofoto con rappresentazione delle stazioni di rilievo e delle piante	39
Figura 25: Area del rilievo granulometrico n.1.....	41

Figura 26: Curve di frequenza relativa e cumulata del rilievo n.1.....	42
Figura 27: Area del rilievo granulometrico n.2.....	43
Figura 28: Curve di frequenza relativa e cumulata del rilievo n.2.....	44
Figura 29: Area del rilievo granulometrico n.3.....	45
Figura 30: Curve di frequenza relativa e cumulata del rilievo n.3.....	46
Figura 31: Ietogramma dell'evento meteorico del 4 agosto 2012 in Val di Vizze.....	48
Figura 32: Idrogramma e sedimentogramma dell'evento con relativo pluviogramma.....	49
Figura 33: Foto del deposito a monte di due piante; a sinistra ciottoli e a destra grandi massi assieme a una coda di detrito formata anche da rami e terra.....	50
Figura 34: Disposizione prevalente del sedimento a monte delle piante.....	51
Figura 35: Foto di log-step, detrito legnoso accumulato a monte delle piante.....	52
Figura 36: Distribuzione delle piante in classi diametriche.....	53
Figura 37: Composizione specifica della vegetazione in area non disturbata e in area disturbata.....	54
Figura 38: Relazione tra diametro e numerosità in percentuale degli individui morti.....	56
Figura 39: Foto di una pianta che presenta fusto inclinato verso valle a seguito dell'evento di debris flood, nella parte terminale del deposito.....	57
Figura 40: Relazione tra diametro ed inclinazione degli individui in area disturbata che presentano il fusto inclinato.....	58
Figura 41: Relazione tra spessore del deposito a monte e diametro della pianta.....	60
Figura 42: Relazione tra la differenza di spessore del deposito a monte e a valle e il diametro della pianta.....	60
Figura 43: Relazione tra spessore del deposito a monte e diametro della pianta del popolamento considerati solo gli individui singoli.....	61
Figura 44: Trattenuta di due massi da parte di due piccole piante.....	62

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Grandezze morfometriche principali del bacino.....	23
Tabella 2: Proprietà lineari ed areali del bacino.....	25
Tabella 3: Proprietà del rilievo del bacino.....	27
Tabella 4: Frequenze relative e cumulate dei dati granulometrici del rilievo n.1.....	42
Tabella 5: Diametri caratteristici della distribuzione 1.....	42

Tabella 6: Coefficienti ed indici del rilievo 1	43
Tabella 7: Frequenze relative e cumulate dei dati granulometrici del rilievo n.2	44
Tabella 8: Diametri caratteristici della distribuzione granulometrica del rilievo n.2	45
Tabella 9: Coefficienti ed indici del rilievo n.2	45
Tabella 10: Frequenze relative e cumulate dei dati granulometrici del rilievo n.3.....	46
Tabella 11: Diametri caratteristici della distribuzione granulometrica del rilievo n.3	47
Tabella 12: Coefficienti ed indici del rilievo n.3.....	47
Tabella 13: Dati di input per la costruzione del sedimentogramma dell'evento	48
Tabella 14: Portata al picco e volumi dell'idrogramma e del sedimentogramma	49
Tabella 15: Composizione specifica e caratteristiche medie delle piante rilevate in area di saggio 'non disturbata' e in area di deposito 'disturbata'	55
Tabella 16: Individui vivi e morti presenti nell'area di deposito	56
Tabella 17: Dati di specie, stato, diametro e spessore di deposito delle piante in area disturbata che presentano fusto inclinato	58
Tabella 18: Spessori del deposito a monte e a valle delle piante, media per classi diametriche	59

RIASSUNTO

Fenomeni di *debris flow* e *debris flood* hanno gravose conseguenze sulle attività antropiche e sulla vita dell'uomo, per questo è necessario contrastarne al meglio l'impatto. Un possibile ruolo protettivo, oltre a quello offerto dalle misure antropiche, è quello svolto dalla foresta che può formare una "buffer zone" a difesa dei nuclei abitati, delle attività umane e del sistema viario.

In questa tesi sono state studiate l'alluvione avvenuta il 04 Agosto 2012 nel bacino idrografico dell'Hoferlahn-graben situato in Val di Vizze, in provincia di Bolzano, e la funzione che la copertura forestale ha avuto nel mitigare il fenomeno di *debris flood* che si è generato in seguito all'evento di precipitazione estremo attraverso osservazioni e rilievi di campo.

Innanzitutto si è analizzata l'area di studio dal punto di vista territoriale, geologico e di uso del suolo, quindi si è proceduto con uno studio della morfometria del bacino e del conoide alluvionale, al fine di comprendere meglio il contesto e la dinamica dell'evento. Per l'evento di precipitazione sono stati ricostruiti l'idrogramma di piena e il sedimentogramma, ricavato con la formula di Smart e Jaeggi (1983) per il trasporto solido.

Quindi, tramite i rilievi topografico e granulometrico, si è analizzato il deposito rilasciato sul conoide alluvionale a seguito dell'evento. Il deposito è stato messo in relazione con la componente forestale presente in conoide, di cui sono stati rilevati per ogni pianta, oltre alla specie e al diametro a petto d'uomo, gli spessori del deposito a monte e a valle e lo stato vegetativo, per studiare l'interazione del popolamento con il fenomeno e la sua reazione al disturbo. I risultati ottenuti sono quindi stati confrontati con altri studi simili (Ishikawa, 2003; Romanel, 2014), al fine di studiare l'effetto protettivo della copertura forestale rispetto al fenomeno di *debris flood*.

Dai risultati emersi si evince la reale capacità della copertura forestale in conoide di agire in modo positivo nel contrastare la pericolosità di fenomeni di *debris flood*, trattenendo parte del detrito e assorbendone l'impatto.

ABSTRACT

In mountain areas, *debris flow* and *debris flood* produce damages to infrastructure and roadway system, and loss of human life. For this reason, to better understand the behaviour of the process and the interaction between the process and the protective measures is need. In addition to anthropic protective measures, another possibility is offered by the forest stand, which can prevent the flow movement.

In this research, the August 4th 2012 flood in the Hoferlahn-graben catchment (Val di Vizze, Bolzano) and the forest effects to suppress the *debris flood* were studied. The *debris flood* event was generated during this extreme rainfall.

First, the study area was studied in a geographical, geological and land use point of view, and then studying the morphometry of the watershed and the alluvial fan, in order to better understand the context and the dynamics of the event. The hydrograph of the meteorological event has been carried out by ADB-toolbox software then, applying the Smart and Jaeggi formula for the sediment transport, the debris-hydrograph was reconstructed.

The deposit released on alluvial fan after the event was analysed by the grain size and topographic surveys. The deposit was related to the present forest stand on the alluvial fan. For each tree, in addition to the species type and the diameter at breast height, the upstream and downstream deposit thickness and vegetative condition (dead and alive, and damages) were detected to study the interaction between the forest stand and the phenomenon. Then, the results were compared with similar studies (Ishikawa, 2003; Romanel, 2014).

The forest stand, studied in the alluvial fan of the Hoferlahn-graben creek, showed a positive role to contrast *debris flood* hazard, stopping part of the transported sediment, adsorbing impacts, and increasing the energy dissipation.

1. INTRODUZIONE

1.1 Differenze tra *debris flow* e *debris flood*

I bacini montani sono spesso interessati da fenomeni di alluvione dovuti ad eventi idrologici estremi. In particolar modo le colate detritiche, che possono generarsi dal susseguirsi di precipitazioni intense, risultano estremamente distruttive per le attività antropiche, causando ingenti danni ad insediamenti e manufatti e la perdita di vite umane.

Per colata detritica, o *debris flow*, generalmente si intende un flusso di materiale detritico in condizioni sature caratterizzato da un 'moto pulsante gravitativo' (D'Agostino, 1996). Il *debris flow* è assimilabile ad un fluido di tipo non-newtoniano e non plastico, o debolmente plastico, si genera su un canale ad elevata pendenza e si muove a velocità molto rapide, che possono variare da 1 a 10 m/s (Hungr *et al.*, 2001). Il suo comportamento è di tipo collisionale-frizionale, dove prevalgono gli sforzi dovuti agli urti e all'attrito tra i grani.

Tuttavia esistono altre forme di trasporto solido che possono essere accostate al termine 'colata detritica' e che invece differiscono, anche notevolmente, dal *debris flow*. È il caso del *debris flood*, che per molti versi può sembrare simile al *debris flow* ma ha dei suoi connotati peculiari sia nel comportamento che nella caratterizzazione.

Infatti il *debris flood* è definito da Hungr *et al.* (2001) come un flusso di acqua molto rapido e impetuoso, notevolmente carico di detrito. Mentre D'Agostino (1996) lo descrive come un flusso di massa ad alta concentrazione di detriti con caratteristiche del fluido ancora di tipo newtoniano. Quindi, mentre nel *debris flow* l'elemento dominante è la massa di detrito in cui l'acqua, mischiata ad argilla e limo, ha la funzione di fluido interstiziale che riempie gli spazi vuoti tra i sedimenti; nel *debris flood* l'acqua è l'elemento principale. Il flusso, dal punto di vista del comportamento meccanico della massa, è tipicamente viscoso e quindi nella classificazione proposta da Ancy (2001) ricade tra i *muddy debris flow* e non tra i *granular debris flow*, che mostrano un comportamento di tipo frizionale-collisionale.

Inoltre la velocità di movimento del *debris flood* risulta essere simile alla velocità dell'acqua durante una piena e quindi inferiore a quella del *debris flow*. Questo comporta una minore forza di impatto e quindi minori danni; infatti, come sottolinea Hungr (2001), spesso il *debris flood* copre o circonda gli oggetti ma tendenzialmente non li danneggia con l'impatto.

Ciò non toglie che il *debris flood* trasporti una larga quantità di sedimenti, anche di notevole dimensione, ad elevata concentrazione e anzi possa trasportare anche quantitativi comparabili al *debris flow* (Hungry *et al.*, 2001).

I due fenomeni possono essere confusi tra loro soprattutto perchè il *debris flow* in alcune parti, soprattutto nelle fasce laterali, può tramutarsi in *debris flood*.

Il materiale trasportato è il medesimo per entrambi i processi ed è costituito da detrito sciolto non omogeneo, può infatti contenere sedimenti di dimensioni molto diverse, dalla ghiaia ai ciottoli e ai massi, e spesso con presenza di significanti porzioni di materiale organico, come tronchi, rami, ceppi e pacciame.

Le principali condizioni per l'innescò di una colata detritica sono: i) le elevate pendenze del bacino e del canale di scorrimento, ii) l'abbondanza delle sorgenti di materiale detritico non consolidato sui versanti del bacino, e iii) le condizioni di saturazione del terreno, oltre al verificarsi di eventi intensi di precipitazione (Ancey, 2001).

La pendenza minima del canale di scorrimento per la formazione di *debris flow* è risultata essere di circa del 16% mentre per i *debris flood* è anche più bassa, 11% (D'Agostino, 1996).

Dalle condizioni di saturazione del terreno dipende la quantità di deflusso superficiale e quindi l'erosione del soprassuolo, che favorisce la produzione di ulteriore detrito movimentabile.

Il trasporto avviene, per entrambi i fenomeni, lungo un canale di scorrimento e la massa in movimento può essere distinta in tre porzioni: il fronte, costituito dalla parte più grossolana di detrito e con spessore maggiore; il corpo, costituito da materiale più fine e più fluido; la coda, in cui la concentrazione solida diminuisce e il flusso appare come acqua fangosa.

(Figura 1)

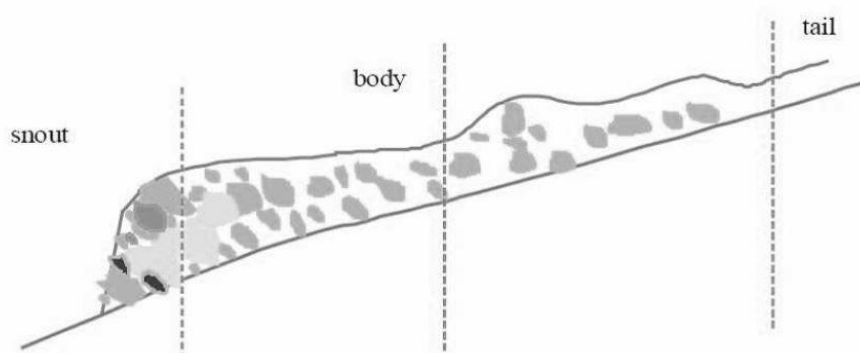


Figura 1: Schema della sezione longitudinale di una colata detritica (da Ancey, 2001)

Il detrito, presente lungo il corso d'acqua, è velocemente traslocato verso valle per ondate successive.

Il punto di inizio del rallentamento e del deposito della colata spesso coincide con l'apice del conoide di deiezione, dove avviene un netto cambio di pendenza nel fondo del canale, oppure in tratti di brusco allargamento e di discontinuità della topografia.

Importanti nell'analisi della pericolosità del fenomeno sono la distanza di arresto, anche detta di runout (R), che è la lunghezza planimetrica percorsa dalla colata, dal punto in cui inizia il deposito a quando si arresta completamente il fronte, e la travel distance (L), che indica l'intero percorso compiuto dalla colata (D'Agostino e Cesca, 2009). (Figura 2)

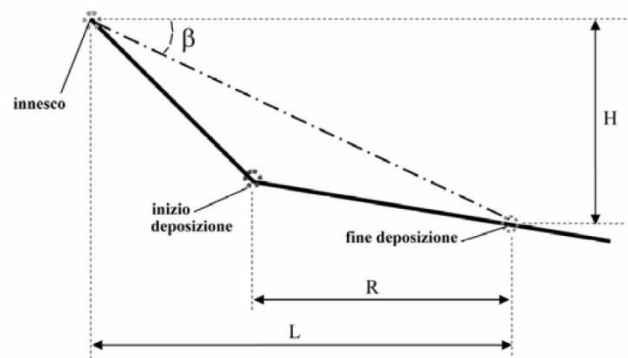


Figura 2: Schema del fenomeno gravitativo e della distanza di arresto R (da D'Agostino e Cesca, 2009)

1.2 Ruolo protettivo della foresta nei confronti dei fenomeni di *debris flow* e *debris flood*

Un altro fattore importante nell'innesco e nella propagazione della colata detritica è la presenza o meno di vegetazione. Infatti, la vegetazione presente nella zona di innesco, intercetta la precipitazione e aumenta la capacità di ritenzione idrica che il suolo può esercitare durante un evento piovoso, poichè, grazie agli apparati radicali, migliora le condizioni di permeabilità del suolo, limitando il runoff e l'erosione superficiale. La capacità di infiltrazione nel terreno, inoltre, può essere favorita dalla presenza di humus e da coperture erbacee o di muschi, caratteristici del sottobosco.

Un altro ruolo della foresta e della vegetazione è quello di ridurre la disponibilità di materiale solido trasportabile, poichè l'azione ancorante delle radici aumenta la stabilità superficiale del versante e delle sponde.

Queste modalità di protezione possono essere definite di *protezione generica o indiretta*.

La *protezione diretta* è invece data dall'azione effettiva della foresta nei confronti di un pericolo naturale (valanghe, caduta massi, scivolamenti superficiali e colate detritiche) e nella riduzione della sua pericolosità per l'uomo. Nello specifico della colata detritica, l'azione è la sua capacità di trattenuta selettiva del materiale trasportato, che, attraversando il popolamento forestale, viene arrestato o rallentato.

La foresta funge quindi da 'buffer zone' assolvendo in modo diretto alla funzione di difesa degli insediamenti antropici e dei manufatti. (Ancey, 2001; Ishikawa, 2000; Ishikawa *et al.*, 2003; Regione Autonoma Valle d'Aosta-Regione Piemonte, 2006)

2. DICHIARAZIONE DELL'OBIETTIVO

La foresta ha un importante ruolo nella difesa dall'erosione dei suoli e nella protezione diretta di insediamenti, manufatti e infrastrutture da pericoli naturali, cautelando dunque l'uomo e le sue attività.

In particolar modo la foresta è in grado di svolgere un'azione di controllo nei confronti delle colate detritiche, dissipandone fortemente l'energia e riducendo le distanze percorse. Questo si traduce in una limitazione delle aree coinvolte dal fenomeno e quindi della sua pericolosità.

In questo elaborato si sono studiati i reciproci effetti tra un processo di *debris flood* e il soprassuolo forestale presente in conoide al fine di meglio comprendere il potenziale ruolo protettivo svolto dalla foresta. La ricerca è stata condotta attraverso l'analisi di un evento reale di *debris flood* occorso il 04 agosto 2012 in località Tolve (Val di Vizze, Bz), in seguito ad un violento evento temporalesco che ha colpito l'intera Valle. Attraverso le analisi di campo, sono state approfondite le mutue relazioni tra gli spessori di deposito e le principali caratteristiche dei singoli alberi interessanti dall'evento, affiancate da uno studio morfometrico del bacino, , dalla stima dei volumi movimentati e dalla morfologia dei depositi.

3. MATERIALE E METODI

3.1 AREA DI STUDIO

3.1.1 Inquadramento territoriale

Il bacino idrografico oggetto di studio è situato in provincia di Bolzano, ad est di Vipiteno, al principio della Val di Vizze, in località Tolve (Figura 3). Il torrente che si genera, denominato Hoferlahn-graben (carta Tabacco), è un affluente in sinistra idrografica del Rio Vizze.



Figura 3: Inquadramento territoriale del bacino di studio; (Ortofoto: Esri)

Un bacino idrografico può essere definito come un'unità fisiografica che raccoglie i deflussi superficiali originati dalle precipitazioni meteoriche che si abbattano al suo interno e che trovano poi recapito nel reticolo idrografico formato dal corso d'acqua principale e dai suoi affluenti (Ferro, 2002).

Il bacino si estende in direzione SE-NO sotto il Giogo di Trens (2387 m s.l.m.) e presenta un'esposizione prevalente a Ovest e Nord-Ovest; una porzione del versante in sinistra idrografica presenta invece un'esposizione prevalente a Nord-Est (Figura 4).

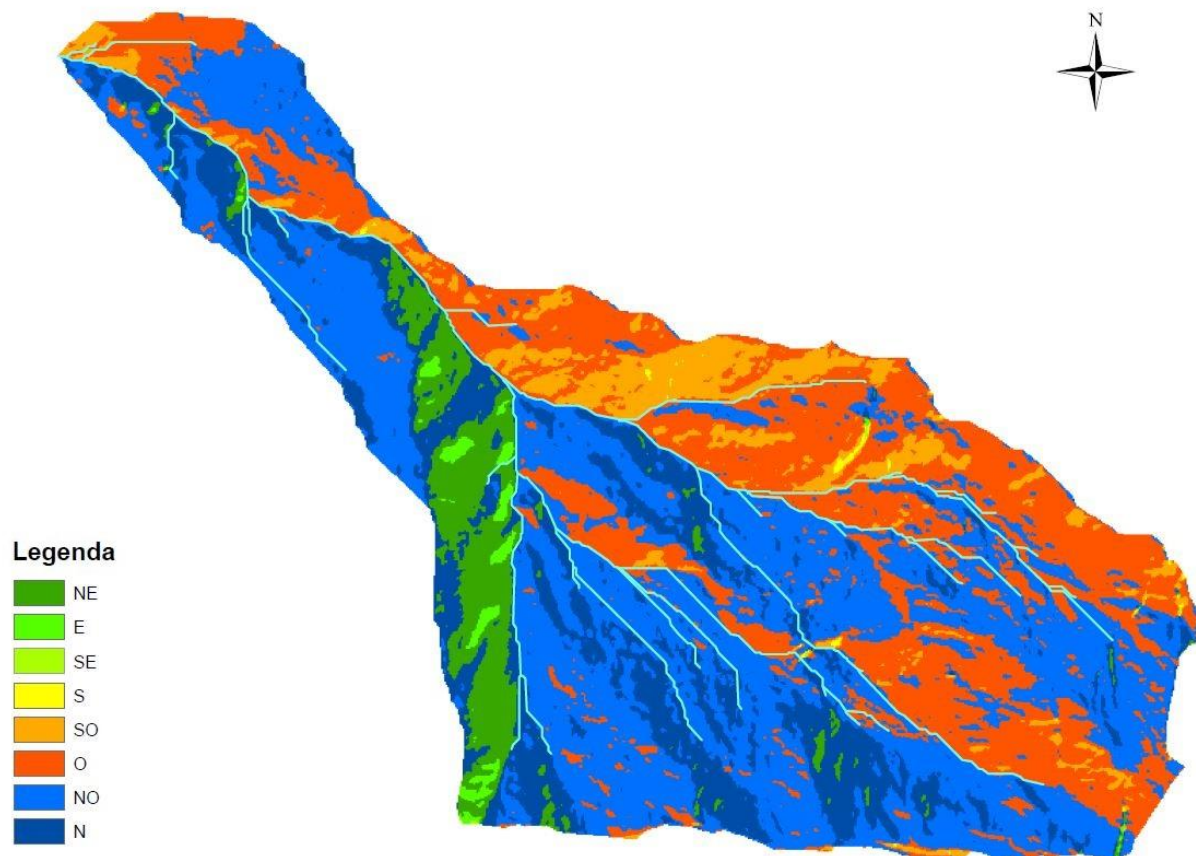


Figura 4: Carta delle esposizioni del bacino

Dal DTM 2,5 per 2,5 m dell'area sono stati estratti in ambiente GIS il bacino e il canale e se ne sono estrapolate le principali caratteristiche morfometriche ed idrografiche.

3.1.2 Inquadramento geologico

Il bacino di studio si situa all'interno della finestra dei Tauri, compresa tra la linea della Pusteria, il Brennero e la linea dell'Inntal, costituita da unità pennidiche continentali ed oceaniche, esposte dalla compressione Nord-Sud lungo margine collisionale e dall'estrusione Est-Ovest, come illustrato in Figura 5.

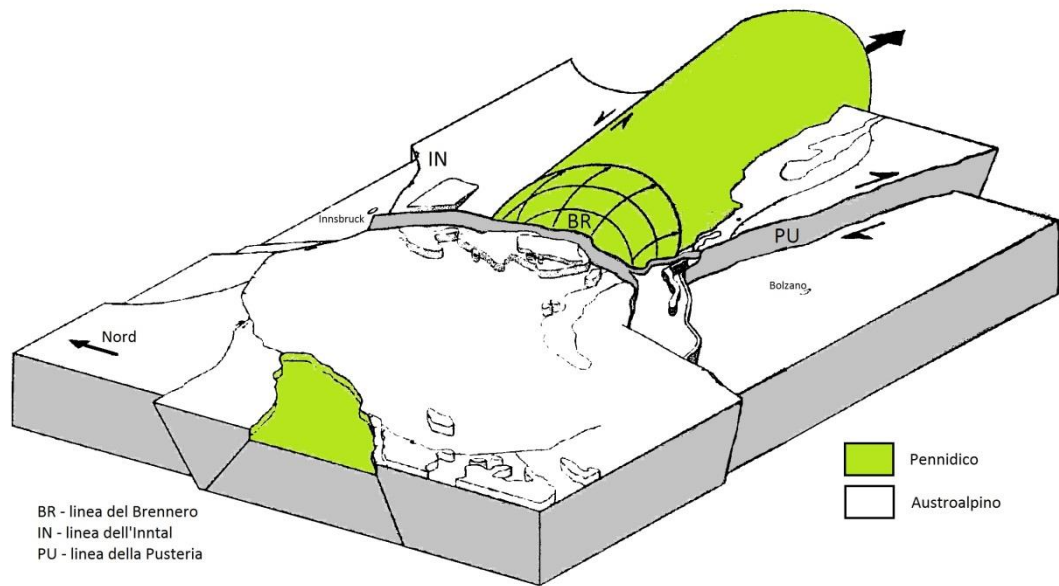


Figura 5: Schema tettonico a blocchi che mostra l'estrusione laterale lungo la linea del Brennero delle unità pennidiche della finestra dei Tauri (ridisegnato da Bistacchi *et al.*, 2003)

Più in dettaglio, la zona fa parte della falda del Glogner, anche denominata unità dei calcescisti con ofioliti, caratterizzata da metasedimenti mesozoici in prevalenza carbonatici con alcune intercalazioni di terrigeni e da subordinate ofioliti metamorfiche (pietre verdi) (Figura 6). Il metamorfismo è di tipo barroviano, a temperature e pressioni intermedie, al limite tra la facies anfibolitica e la facies scisti verdi (Bistacchi *et al.*, 2003).

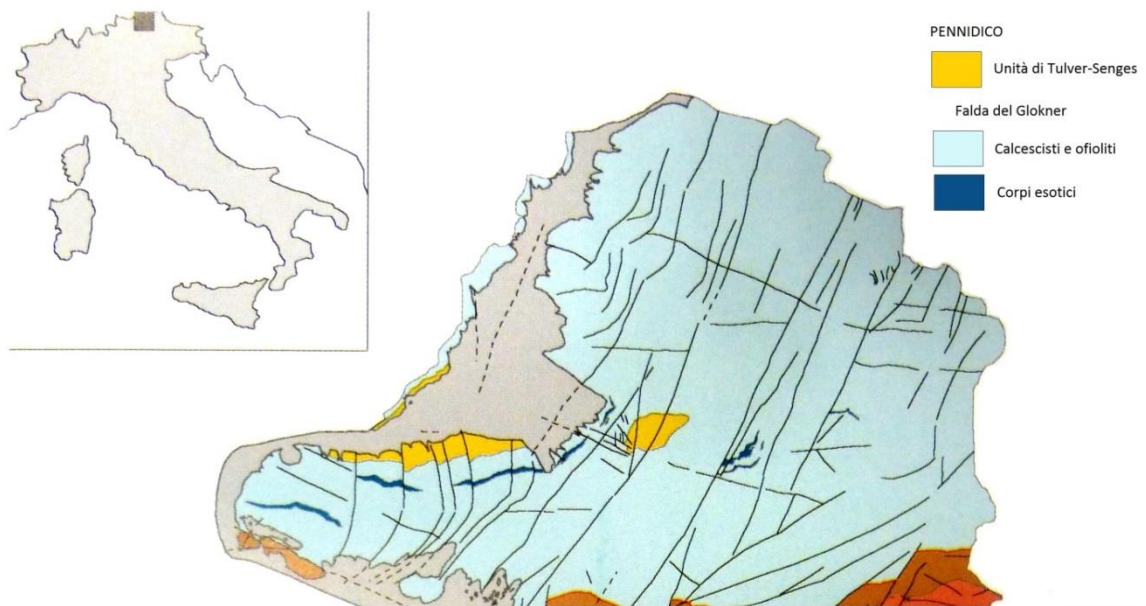


Figura 6: Estratto modificato della Carta geologica del transetto Val di Vizze-Fortezza da Bistacchi *et al.* (2003)

L'unità di Tulver-Senges è formata da sequenze clastiche monometamorfiche con gneiss arenacei a grana fine e grigio-argentei associati a scisti quarzitici e filladi nerastre. Il bacino di studio comunque non rientra all'interno delle due finestre dove affiora questa particolare unità (in arancione in figura), come si nota in Figura 7.



Figura 7: Estratto della Carta geologica del transetto Val di Vize-Fortezza da Bistacchi *et al* (2003)

Il bacino è dunque costituito da rocce metamorfiche ad alta permeabilità.

Il substrato geologico metamorfico è soggetto ad eventi estremi di trasporto con intensità superiori rispetto altri litotipi (D'Agostino, 1996).

3.1.3 Uso del suolo

La copertura del suolo è classificata secondo il metodo del Corinne Land Cover, da dati della Provincia di Bolzano.

Il bosco si estende dai 1150 m ai 1850 m di quota, dove cominciano a comparire fasce di arbusti e pino mugo (*Pinus mugo*) e aree di prateria alpina, miste a aree dedicate al pascolo. Sopra i 2000 m sono presenti solo aree prative con scarsa presenza di roccia nuda (Figura 8).

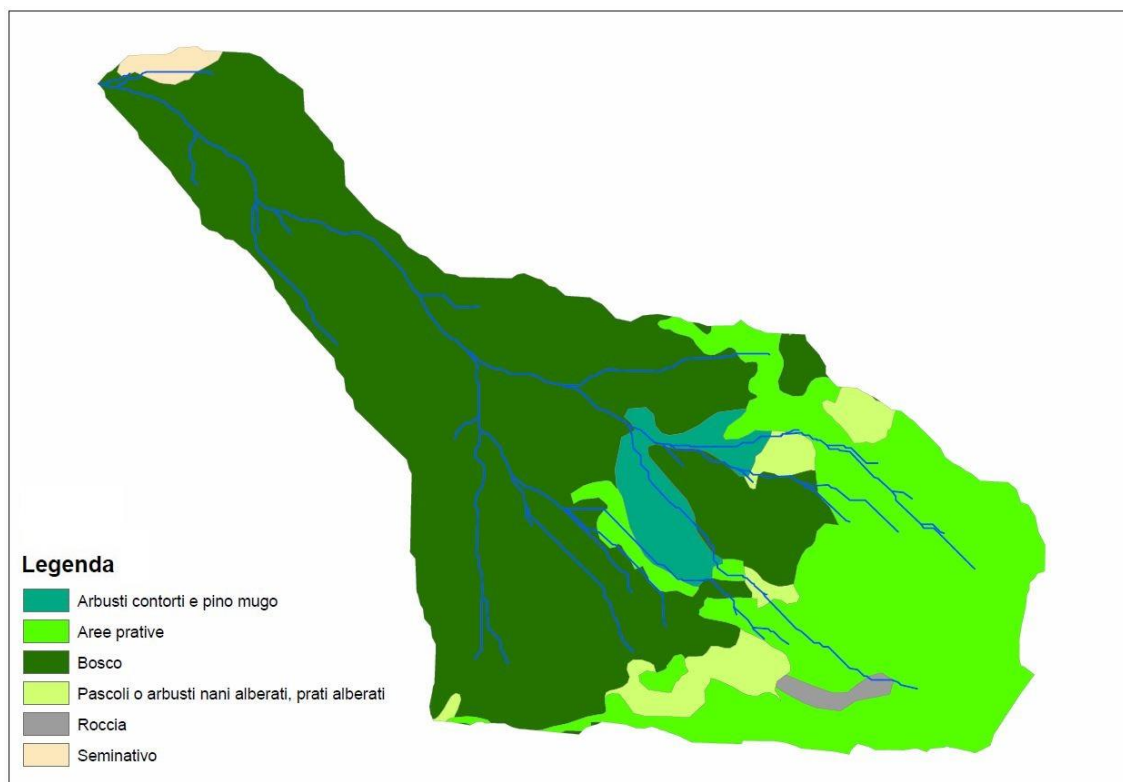


Figura 8: Uso del suolo del bacino

Dal punto di vista forestale, la Val di Vizze si colloca nella zona Endalpica di transizione – zona dell’abete rosso. L’assetto vegetazionale del bacino si presenta piuttosto semplice in quanto la maggior parte della superficie di questo è coperta da bosco adulto di conifere dominate dall’abete rosso (*Picea abies* L.). Nella fascia montana predomina la “Pecceca dei suoli basici a *Melica nutans* con *Clematis alpina*”, mentre nella fascia subalpina predominano, alle quote inferiori la “Pecceca subalpina carbonatica con *Adenostyles glabra*” e alle quote superiori, al limite del bosco, il “Lariceto a megaforbie con ontano verde”.

Il bosco nell’area di conoide è costituito prevalentemente da abeti rossi (*Picea abies*) e larici (*Larix decidua*), con l’occasionale presenza di frassini (*Fraxinus ornus*) e ontani (*Alnus viridis*), ed occupa la maggior parte della superficie del bacino assieme alle aree prative (Figura 9).

Risulta essere presente anche un'area ad uso seminativo nella parte terminale del bacino, vicino alla sezione di chiusura.

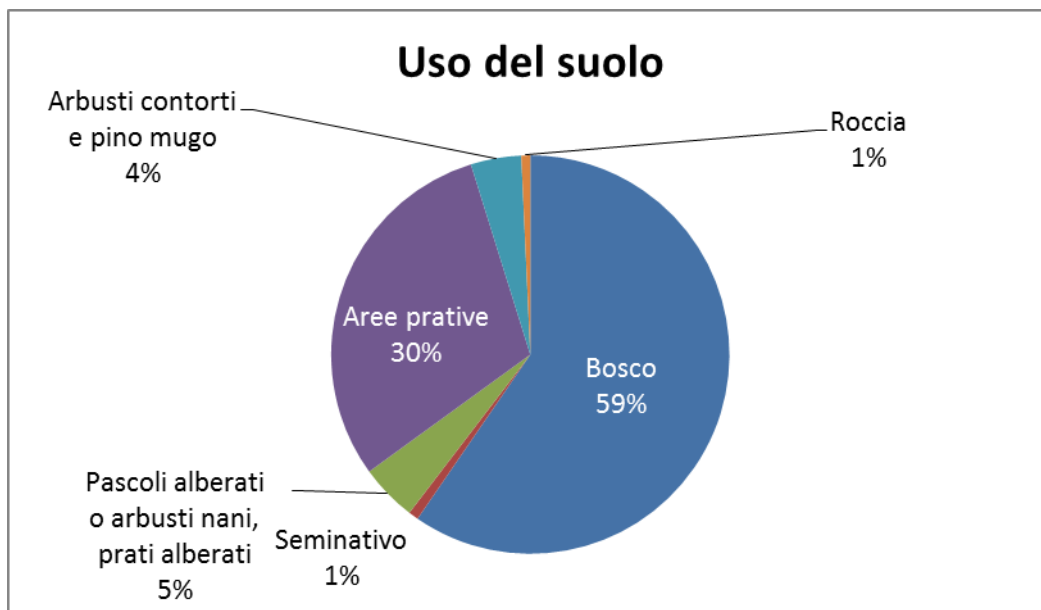


Figura 9: Grafico a torta dell'uso del suolo

3.2.4 Studio di bacino

Per quanto riguarda lo studio del bacino si è proceduto ad analizzare la morfometria e i principali parametri idrologici.

L'analisi è stata effettuata con l'ausilio di software GIS su dati forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano. Dal Modello Digitale del Terreno (DTM) del bacino, a risoluzione di 2,5x2,5m, sono stati ricavati il reticolo idrografico, le aree contribuenti e le carte di pendenza ed esposizione, che hanno permesso di calcolare i principali indici morfometrici e di ragionare sulla forma e la tipologia del bacino.

La morfometria di un bacino ha, secondo la definizione proposta da Strahler, "come oggetto la misura delle forme, ovvero delle caratteristiche geometriche del rilievo o di qualsiasi elemento naturale" (Ferro, 2002).

Il bacino ha un'estensione di 1.12 ha e si sviluppa approssimativamente tra i 1151 e i 2380 m di altitudine con un rilievo complessivo di circa 1229 m (Tabella 1).

	Simbolo	Unità di misura	
Superficie planimetrica	A	[km ²]	1,1168
Perimetro	P	[m]	5483

Quota massima	h_{max}	[m s.l.m.]	2380
Quota della sezione di chiusura	h_0	[m s.l.m.]	1151
Quota media	h_m	[m s.l.m.]	1897
Rilievo del bacino	$h_{max}-h_0$	[m]	1229

Tabella 1: Grandezze morfometriche principali del bacino

Gli elementi di forma possono essere suddivisi in funzione di proprietà lineari, areali e di rilievo.

Le proprietà lineari riguardano i caratteri del reticolo idrografico e informano sulla lunghezza e sull'ordinamento dei vari rami del reticolo.

Il reticolo idrografico è scomposto in segmenti che corrispondono ai rami e quindi classificato secondo l'ordine gerarchico di Horton-Strahler (Figura 10).

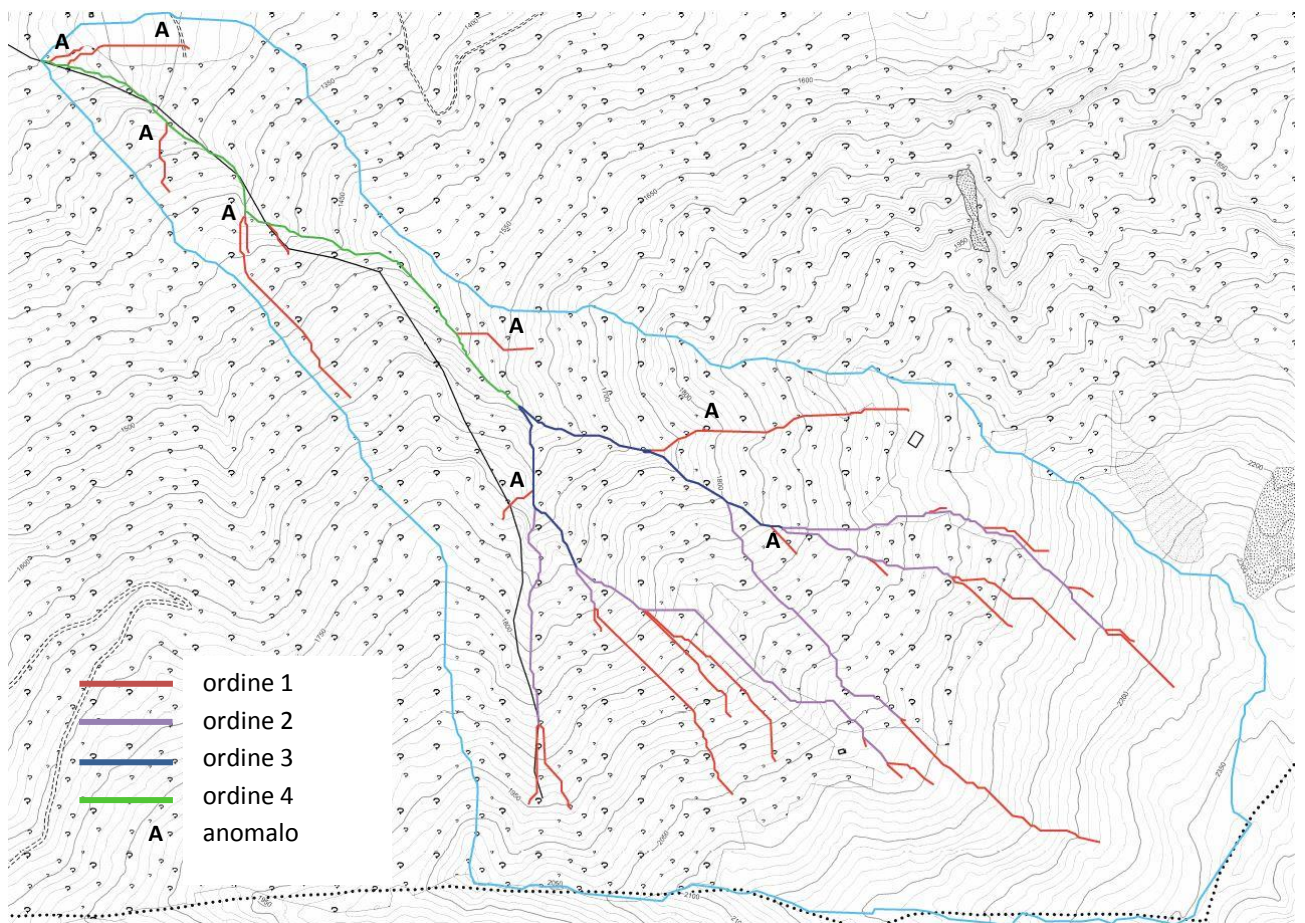


Figura 10: Reticolo idrografico secondo la classificazione di Horton-Strahler

La classificazione di Horton-Stahler prevede l'attribuzione di una numerazione ordinale ai vari segmenti. I segmenti di 1° ordine sono quei rami fluviali che non hanno affluenti e i cui punti estremi sono punti di sorgente. Due elementi di primo ordine, una volta confluiti l'uno nell'altro, danno origine ad un segmento di secondo ordine; due elementi di secondo ordine danno origine ad un segmento di terzo ordine e così la numerazione prosegue fino a giungere al ramo principale del corso d'acqua, che ha il numero d'ordine più elevato del sistema e definisce l'*ordine del bacino* (k).

Il bacino in analisi è di 4° ordine.

Il rapporto tra il numero di segmenti di ordine N_u e quello di ordine successivo N_{u+1} è denominato *rapporto di biforcazione* R_b .

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad \text{Eq. 1}$$

Due indici fondamentali per la descrizione delle proprietà lineari di un bacino sono la densità di drenaggio e l'indice di torrenzialità.

La *densità di drenaggio* è data dal rapporto tra la lunghezza totale del reticolo idrografico e la superficie del bacino:

$$D_r = \frac{L_r}{A} \quad \text{Eq. 2}$$

Data l'elevata permeabilità del suolo e l'estesa copertura vegetale, la densità di drenaggio risulta essere bassa. Il deflusso superficiale è ridotto rispetto ad un bacino maggiormente impermeabile. Ciò si evidenzia nella scarsa ramificazione del reticolo idrografico.

In condizioni di terreno a minor permeabilità e carente vegetazione, invece, il valore di densità di drenaggio sarebbe stato elevato e il reticolo più ramificato.

La scarsa ramificazione del reticolo porta ad ottenere anche un elevato *indice di torrenzialità*, rapporto tra il numero di segmenti di primo ordine e l'area del bacino, che si avvicina a 26 km^{-2} :

$$D_t = \frac{N_1}{A_k} \quad \text{Eq. 3}$$

Le proprietà *areali* concernono, invece, la forma planimetrica del bacino la quale condiziona alcuni fenomeni idrologici, come, ad esempio, il tempo di corrivazione.

Per esprimere le proprietà areali di un bacino si utilizzano gli indici di forma, che solitamente paragonano il bacino reale con un cerchio di pari superficie o pari perimetro. In letteratura ne sono presenti vari proposti da autori diversi, in questo elaborato vengono presi in considerazione il *fattore di forma di Gravelius* e quello di *Horton*:

$$F = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. 4}$$

dove P è il perimetro del bacino ed A la sua superficie.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad \text{Eq. 5}$$

dove L è la lunghezza massima dell'asta principale.

Il bacino, come si può osservare dalla sua delimitazione in cartografia, ha una forma ovale allungata, tendente al bislungo, infatti l'indice di Gravelius è superiore a 1,25 e tende a 1,5.

In Tabella 2 sono riportati i valori riguardanti le proprietà lineari e areali ricavate dal GIS

Lunghezza del reticolo idrografico	Lr	[m]	8107
Lunghezza del collettore principale	L	[m]	2172
Ordine del bacino	k	[-]	4
Rapporto di biforcazione medio	Rb	[-]	3,4
Densità di drenaggio	Dr	[km ⁻¹]	7,26
Indice di torrenzialità		[km ⁻²]	25,97
Fattore di forma di Gravelius	F	[-]	1,45
Fattore di forma di Horton	R_k	[-]	0,24

Tabella 2: Proprietà lineari ed areali del bacino

Infine le proprietà *del rilievo* caratterizzano il bacino dal punto di vista altimetrico, rapportando le dimensioni verticali alle proprietà lineari ed areali. In Figura 11 è rappresentato il bacino suddiviso in fasce di quota con ampiezza di 100 m.

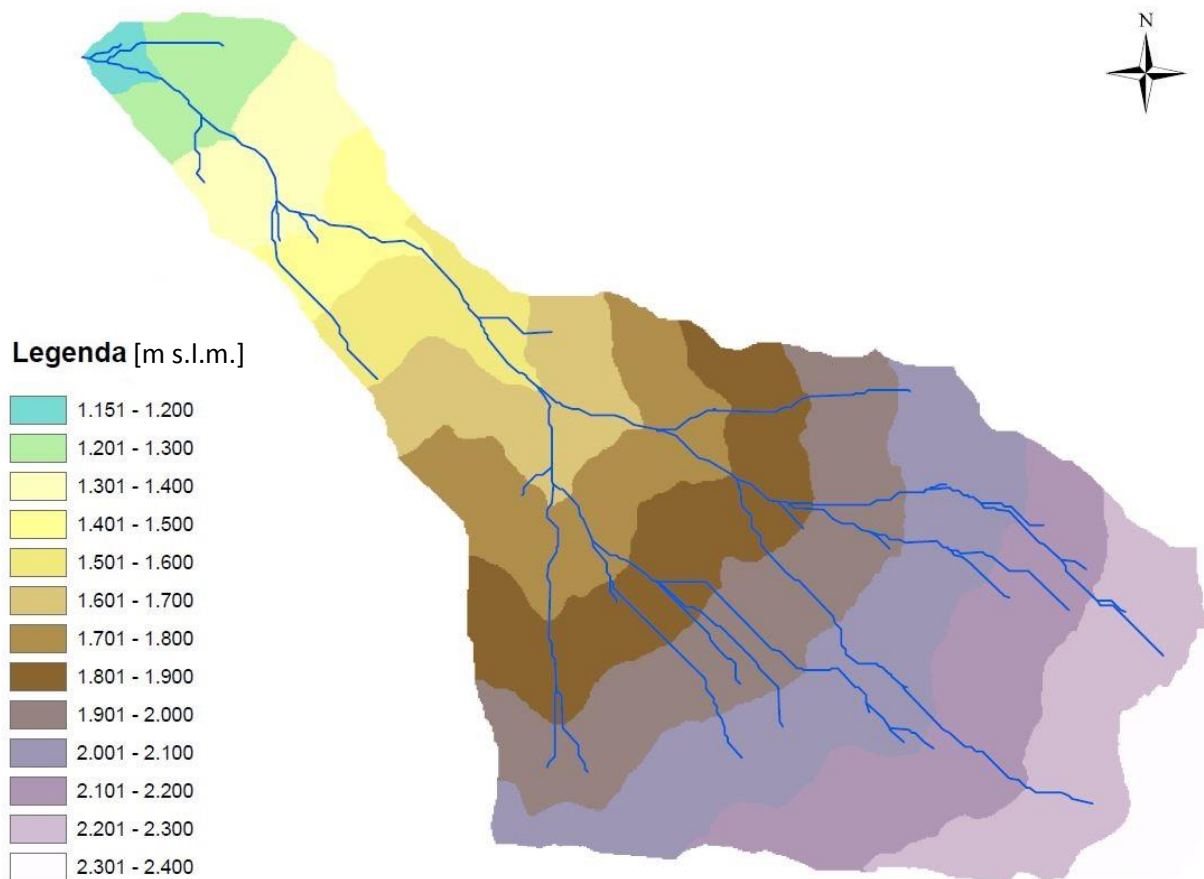


Figura 11: Suddivisione del bacino per fasce di quota con ampiezza di 100 m

L'informazione altimetrica consente di determinare, sapendo la quota massima h_{max} e la quota minima, ovvero la quota della sezione di chiusura, h_0 :

- l'*altitudine media*, riferita al livello del mare e ricavata dalla media delle quote medie tra le fasce altimetriche ponderata rispetto alle superfici sottese alle stesse, (h_m);
- il *rilievo del bacino*, dato dalla differenza tra la quota massima e la quota minima, ($h_{max} - h_0$);
- la *pendenza del bacino*, data dalla pendenza media ponderata per ogni fascia altimetrica, (i_m);
- la *pendenza del collettore*, data dal rapporto tra il dislivello del collettore e la sua lunghezza.

I dati relativi al rilievo del bacino sono riportati nella seguente tabella (Tabella 3).

Quota media	h_m	[m s.l.m.]	1897
Rilievo del bacino	$h_{max}-h_0$	[m]	1229
Pendenza del bacino	i_m	[-]	0,59
Pendenza del collettore	i_m	[-]	0,48

Tabella 3: Proprietà del rilievo del bacino

Interessanti per lo studio del bacino sono i grafici di distribuzione delle aree e delle pendenze.

L'istogramma della distribuzione delle aree (Figura 12), indica la suddivisione della superficie, posta in ordinata, nelle diverse fasce di quota individuate dalle isoipse, in ascissa, e fornisce un'indicazione sulla forma del bacino. Si può notare come il bacino a monte sia abbastanza ampio, per poi restringersi gradualmente fino a quota 1500 e riallargarsi per poi chiudersi nella sezione di chiusura.

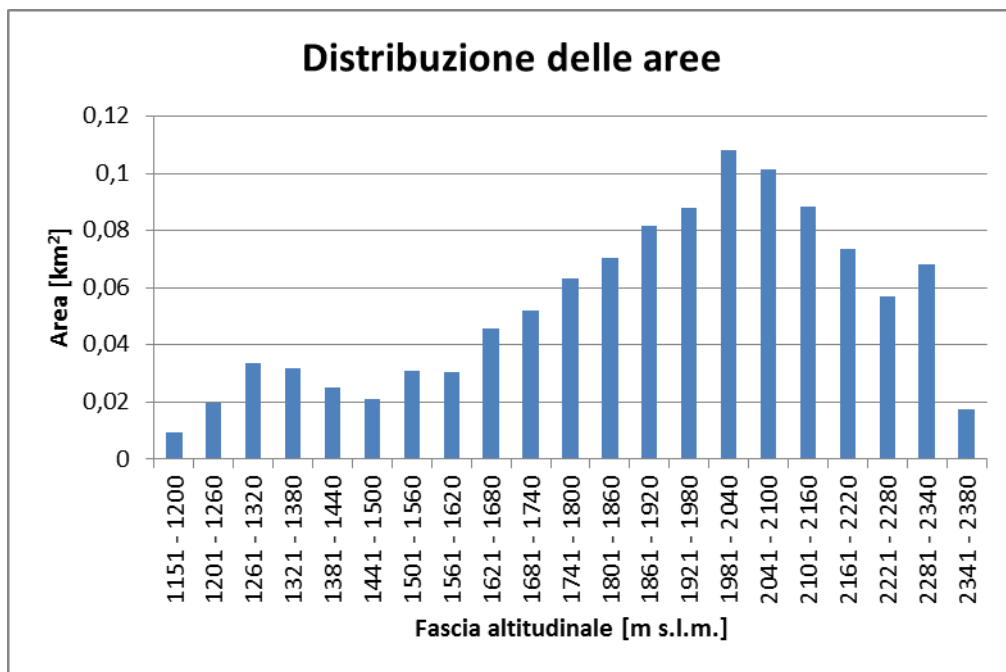


Figura 12: Istogramma di distribuzione delle aree per fasce di quota

L'istogramma della distribuzione delle pendenze (Figura 13) indica invece quali sono le fasce altimetriche a pendenza maggiore e quali a pendenze più moderate. Il bacino di studio ha pendenze piuttosto omogenee, con valori medi del 60% e massimi del 70%, anche se leggermente più moderate in testata, con valori che si aggirano attorno al 40-50%.

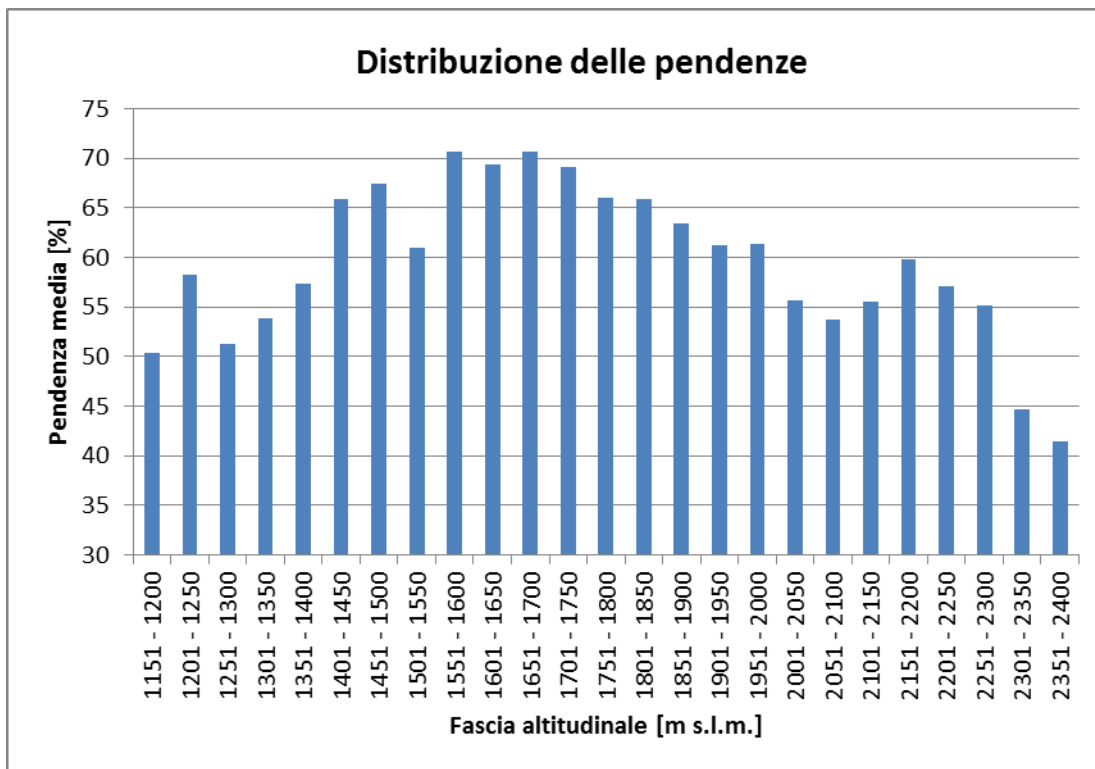


Figura 13: Istogramma di distribuzione delle pendenze per fasce di quota

Tramite il software GIS si è costruita anche la carta della pendenza, espressa in gradi (Figura 14)

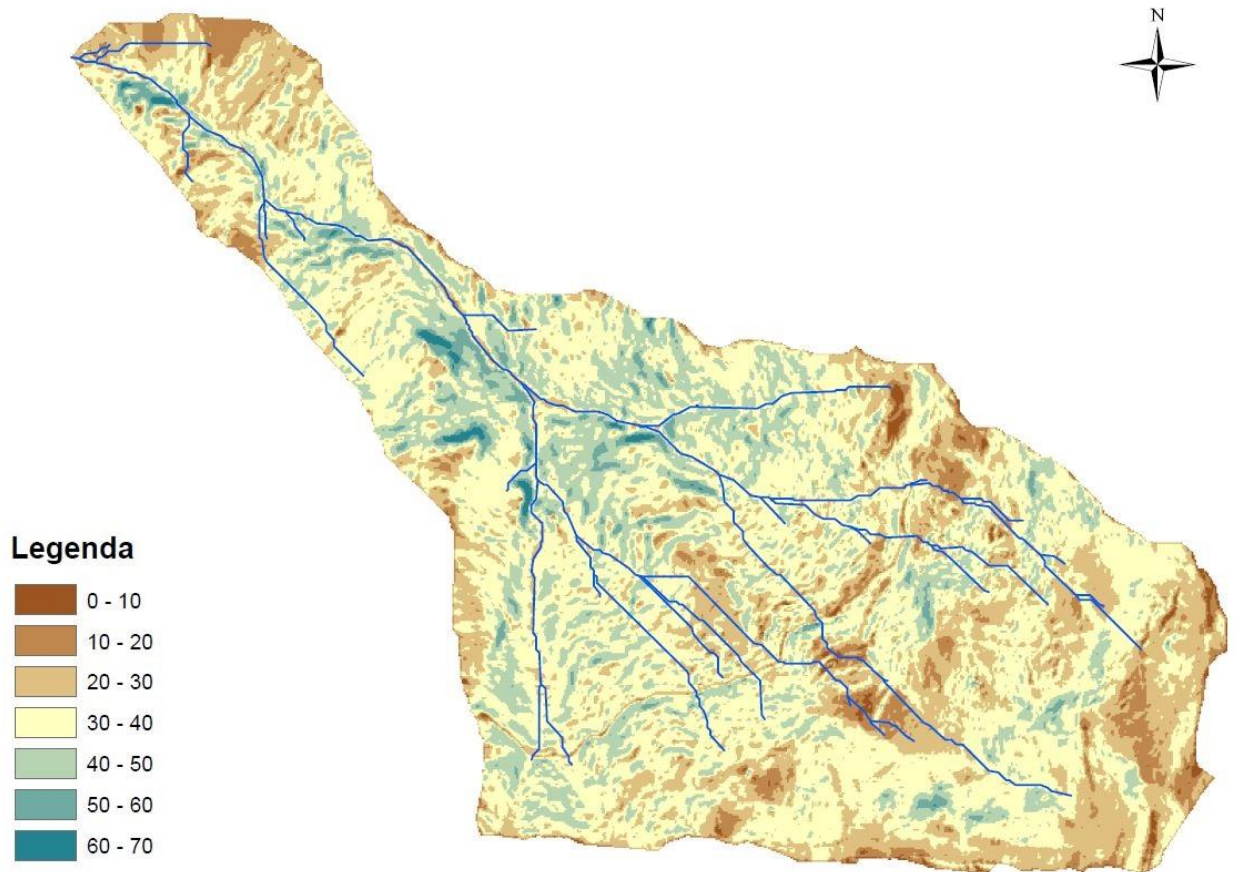


Figura 14: Carta della pendenza (espressa in gradi)

La *curva ipsografica* (Figura 15) si ottiene da un grafico area cumulata-quota e ogni suo punto ha come ordinata un valore di quota h_i e come ascissa la superficie parziale A_i posta al di sopra della quota considerata. L'area racchiusa dalla curva rappresenta il volume del rilievo. Nella Figura 16 è rappresentata invece la curva ipsografica in un diagramma adimensionale ed è per questo denominata *curva ipsometrica*. Dalla curva ipsometrica è possibile dedurre il grado di evoluzione del bacino. Il bacino si presenta, secondo questa interpretazione, in uno stadio giovanile e quindi in fase di erosione.

In Figura 17 è rappresentato il profilo longitudinale del collettore principale.

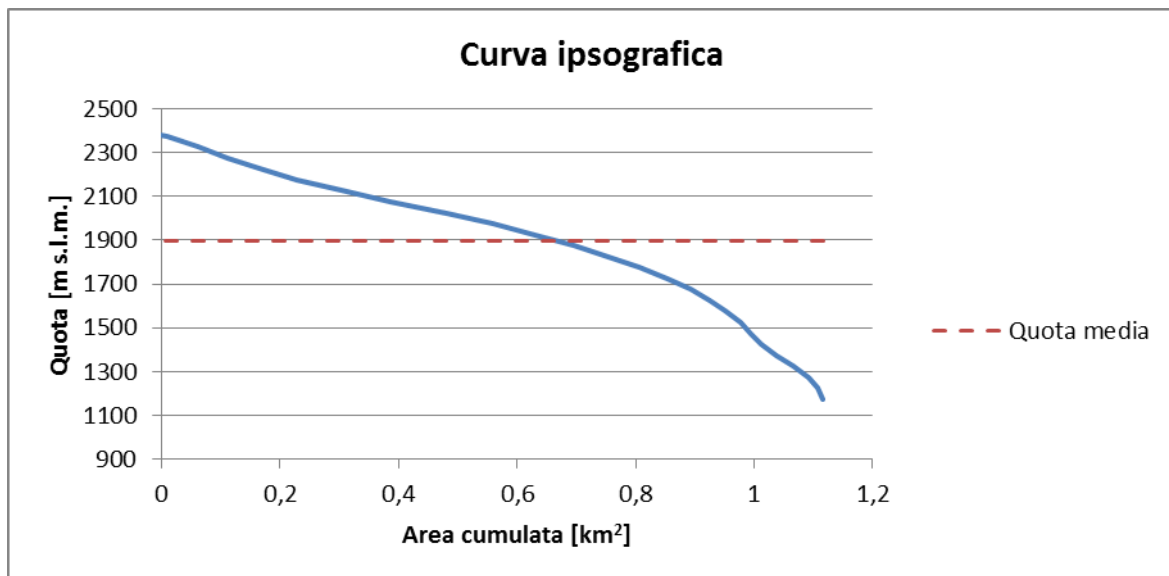


Figura 15: Curva ipsografica

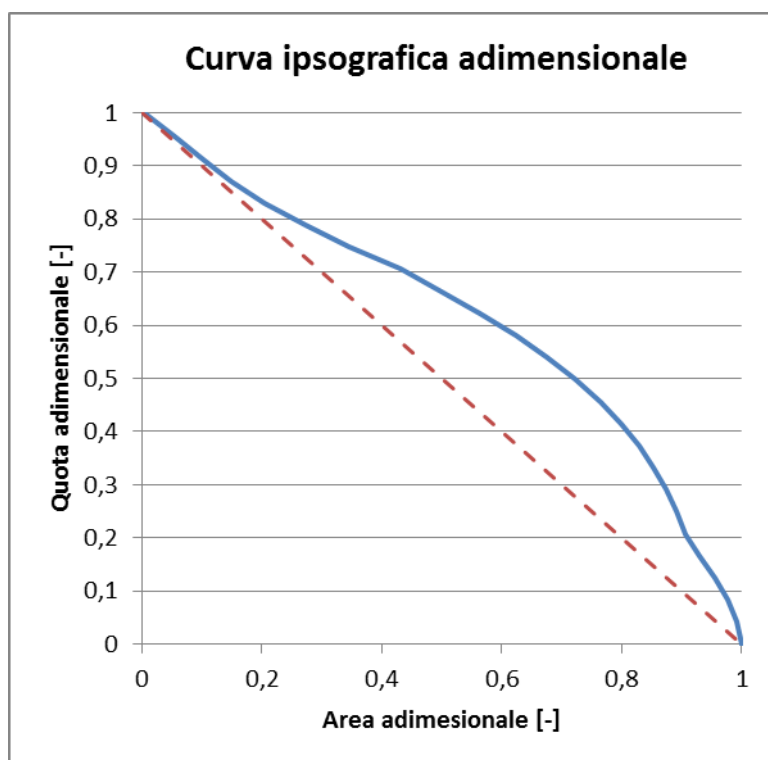


Figura 16: Curva ipsometrica

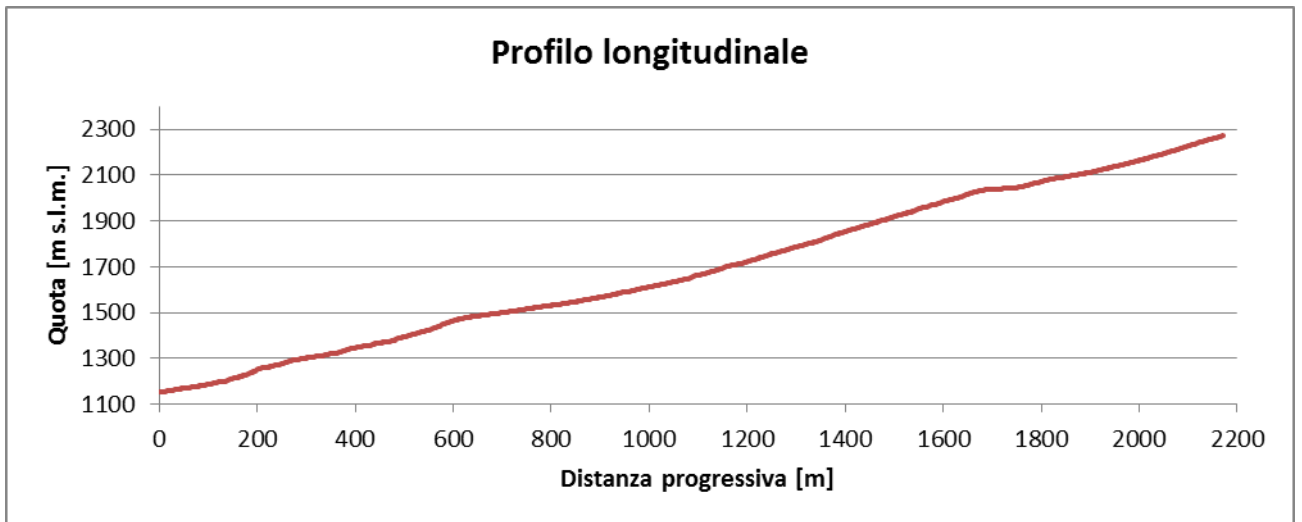


Figura 17: Profilo longitudinale del collettore principale

3.1.5 Analisi del conoide del bacino

Il conoide di deiezione del bacino è stato perimetrato tramite GIS, analizzando l'hillshade del DTM e il raster delle esposizioni (Figura 18). In Figura 18 è segnato anche il deposito su cui si sono eseguiti i rilievi e le analisi.

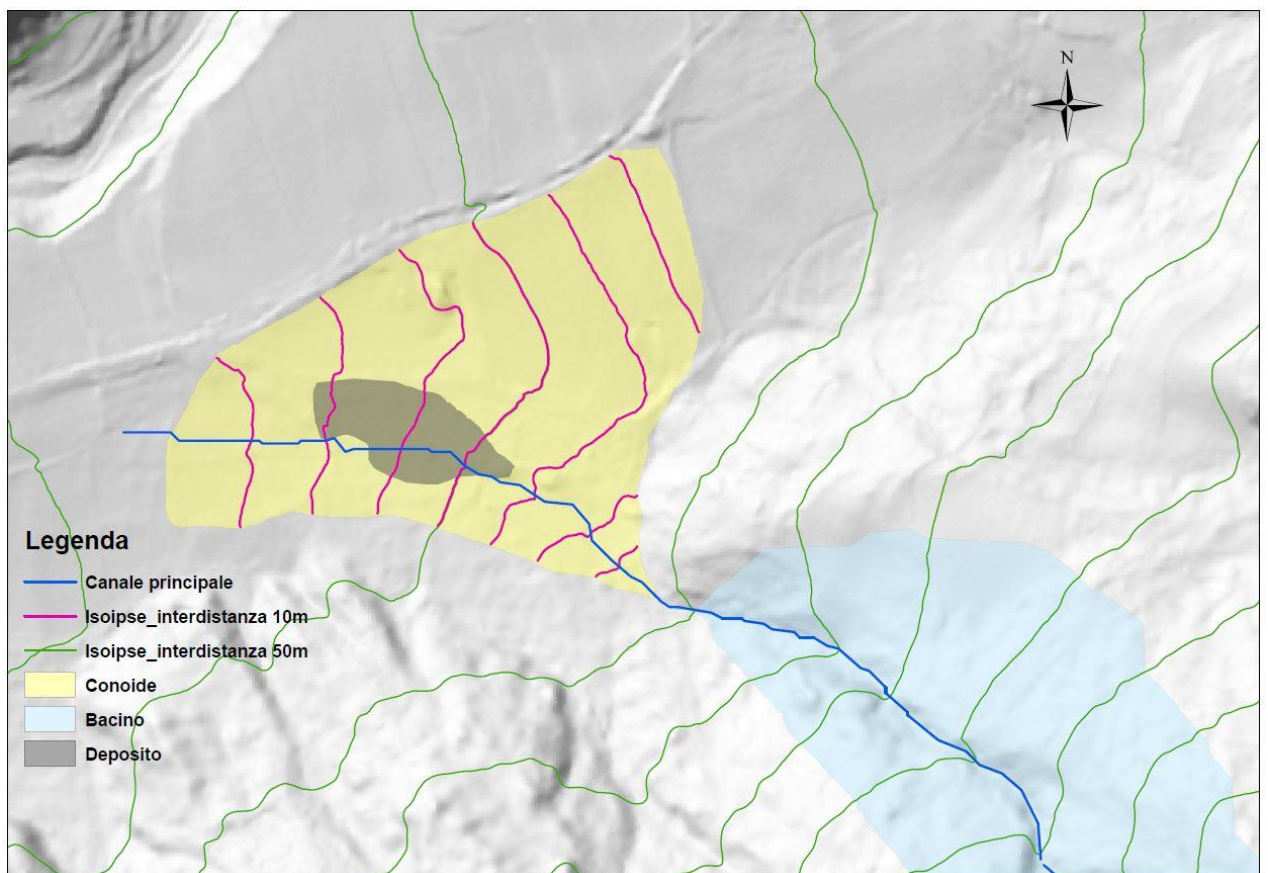


Figura 18: Perimetrazione del conoide e del deposito oggetto di studio del bacino su hillshade del DTM, con indicate le isoipse

Il conoide si estende su una superficie di circa 0,12 km² e su di esso sono ancora oggi ben visibili i segni di depositi arginali e paleoalvei. Dal punto di vista altimetrico il conoide si estende approssimativamente da quota 1139 m a quota 1060 m.

Il deposito, in grigio in Figura 18, ha una superficie pari a 10800 m².

Un parametro di rapido impiego per verificare l'attitudine di un bacino idrografico a generare *debris flow* è rappresentato dal numero di Melton (Me), il quale costituisce un indice di acclività del bacino.

Il numero di Melton è dato da rapporto tra il dislivello del bacino (H) e la sua superficie (A):

$$Me = \Delta H A^{-0.5} \quad \text{Eq. 6}$$

Alcuni studi (per esempio D'Agostino, 1996) hanno rivelato che i bacini soggetti a fenomeni di colata detritica hanno un indice di Melton pari o superiore a 0.5 e una pendenza del conoide pari a 7-14 volte il numero di Melton. Nel caso in esame si hanno le caratteristiche tipiche di un bacino atto a produrre colate detritiche, con un valore di Melton di 1,2 ed una pendenza media del conoide di 9 gradi.

3.2 METODI DI INDAGINE

3.2.1 Descrizione dell'evento

La colata detritica oggetto di studio si è originata per effetto dell'evento intenso di precipitazione avvenuto il 04 agosto 2012. Il fronte temporalesco è partito dalla Val Passiria e dall'alta Val d'Isarco per poi sospingersi verso Vipiteno e la Val di Vizze, generando precipitazioni per un totale rispettivamente di circa 80 mm a Vipiteno e circa 55 mm in Val di Vizze (Figura 19).

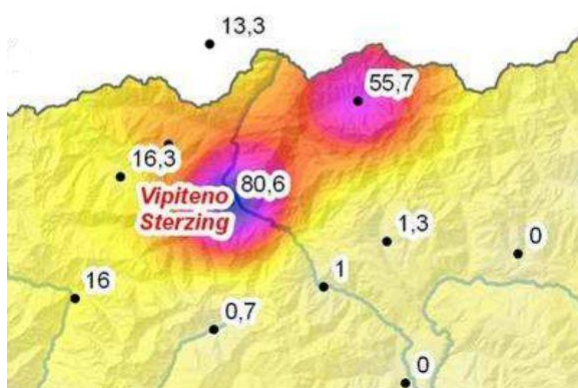


Figura 19: Precipitazione cumulata dell'evento del 04 agosto 2012 (Archivio ED30)

La prima ondata di precipitazione temporalesca ha interessato l'alta Valle d'Isarco tra le 17.00 e le 20.00, registrando a Vipiteno 31 mm di pioggia e a San Giacomo 21 mm.

La seconda cella temporalesca, più violenta, ha colpito principalmente Vipiteno e la Val di Vizze tra le 20.00 e le 23.00, registrando rispettivamente 49 mm e 34 mm di pioggia, per un totale quindi di 80 mm a Vipiteno e 55 mm in Val di Vizze. Le intensità massime sono risultate pari a 8 mm/5 minuti a Vipiteno e circa 5 mm/5 minuti a San Giacomo.

In Figura 20 è rappresentato un istogramma delle precipitazioni misurate alla stazione meteorologica di Vipiteno AP, con passo di 15 minuti, dall'inizio dell'evento intenso di precipitazione, verso le 17.00, alla fine, verso le 22.00.

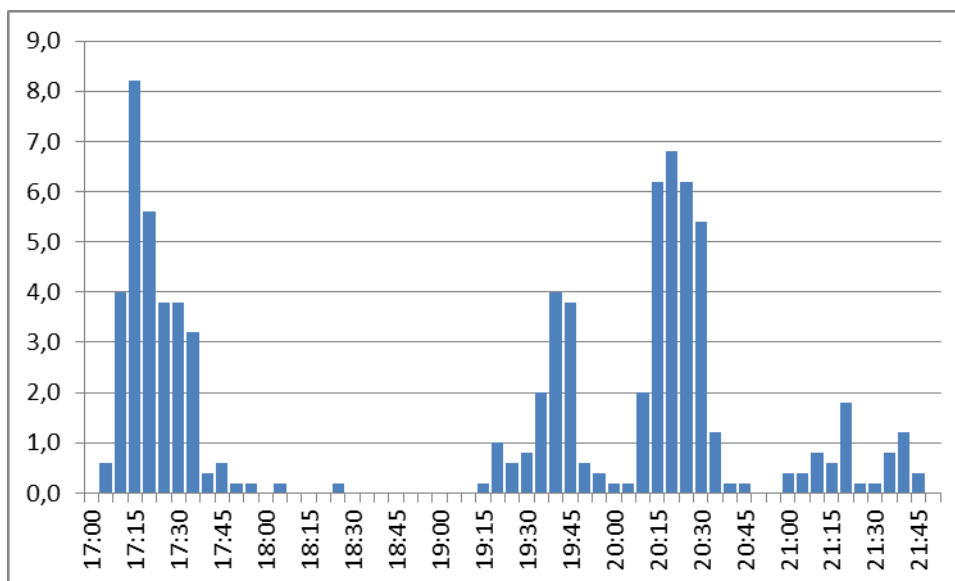


Figura 20: Precipitazioni misurate con passo di 15 minuti alla stazione di Vipiteno AP (da dati dell'Ufficio Idrografico della Provincia autonoma di Bolzano)

La precipitazione era mista a forte grandine in montagna, producendo una maggior erosione del suolo e un maggiore deflusso superficiale e aumentando la gravità della situazione.

Concausa determinante sono state le condizioni già sature del suolo dovute alle abbondanti e prolungate precipitazioni del mese di luglio che hanno raggiunto valori di cumulata di 193 mm a San Giacomo in Val di Vizze e di 230 mm a Vipiteno. La precipitazione dunque non è stata assorbita dal terreno ma ha generato un ingente deflusso superficiale, provocando circa sessanta tra alluvioni torrentizie e colate detritiche in tutta la valle (Fonte archivio ED30 e Report evento della Provincia Autonoma di Bolzano). In Figura 21 alcune immagini delle conseguenze dell'evento intenso di precipitazione.



Figura 21: Fotografie dell'evento del 4 agosto 2014 in Val di Vizze (Rio Tolve) (Archivio ED30)

L'ipotesi, scaturita in seguito all'analisi degli eventi analoghi occorsi in vicinanza al sito di studio in occasione dello stesso evento e per i quali si dispone di rilievi post evento, è quella di un *debris flood*, individuato dalla disposizione dei depositi e dalla presenza di una abbondante matrice fangosa. Durante il manifestarsi del fenomeno, la minor pendenza e il cambio di direzione del corso d'acqua nella parte superiore del conoide di deiezione hanno favorito l'avulsione e il deposito dei sedimenti di maggiori dimensioni su distanze relativamente poco elevate anche per l'ostacolo offerto dalla vegetazione presente. La matrice fangosa invece ha percorso distanze molto maggiori andando a costituire depositi di scarso spessore ma investendo un'area sicuramente più ampia.

3.2.2 Rilievo topografico del deposito

Il rilievo in campo del deposito rilasciato in seguito all'evento di *debris flood* studiato è avvenuto pedonandone il margine esterno ed acquisendo alcuni punti GPS (Trimble GeoXM). La perimetrazione eseguita è probabilmente sottostimata rispetto alla reale area alluvionata

in quanto il rilievo è stato condotto a due anni di distanza dall'evento. Inoltre, in campo nella parte terminale del deposito (Figura 22) erano evidenti i segni lasciati dal passaggio di mezzi d'opera impiegati per lo sgombero del materiale che ha investito le strade forestali e comunali vicine.



Figura 22: Foto della parte terminale del deposito

3.2.4 Analisi granulometrica dei depositi

Nella zona di deposito sono stati effettuati una serie di rilievi granulometrici, al fine di determinare la sua caratterizzazione in termini statistici e il tipo di processo.

Si è adottato un metodo di campionamento di tipo superficiale localizzato e numerale, tramite quindi il conteggio del numero di particelle appartenenti alle varie classi diametriche. Si è preferito un campionamento parziale di tipo sistematico a griglia con interdistanza tra le misurazioni di 1,5 volte il diametro massimo presente. Gli strumenti utilizzati per la misura sono stati una piastra forata (Figura 23) e un metro.

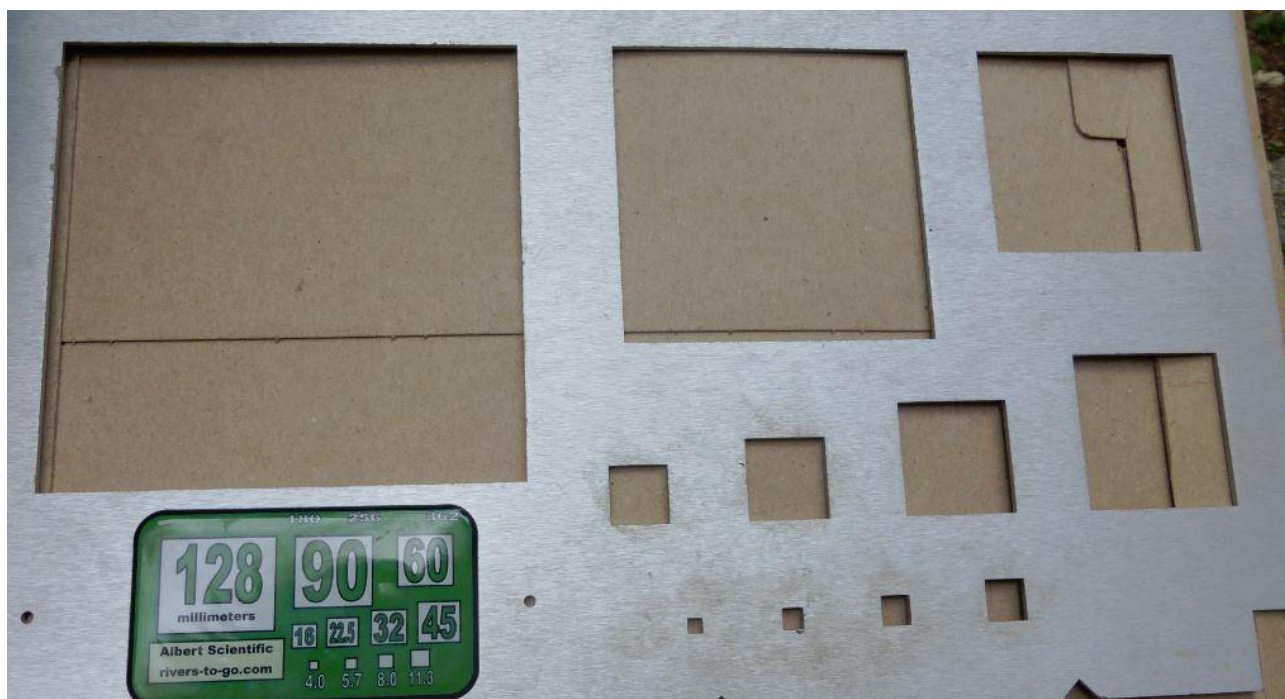


Figura 23: Piastra forata utilizzata per il rilievo granulometrico

Dopo aver raccolto i dati in campo si sono determinate le frequenze relative e cumulate e calcolati i diametri caratteristici (diametro medio, percentili) e i parametri della distribuzione (media, deviazione attorno alla media, simmetria).

I sedimenti sono classificati secondo la scala di Wentworth e quindi secondo una progressione geometrica con distribuzione normale di passo 2, in cui i diametri raddoppiano ad ogni classe superiore. Per trasformare una progressione aritmetica e quindi con distribuzione log-normale in una normale si introduce una scala aritmetica espressa tramite l'indice ϕ (*phi*):

$$\phi = -\log_2 D \quad D=\text{diametro [mm]} \quad \text{Eq. 7}$$

Per denominare i sedimenti si utilizza la classificazione posta dall'AGU (*American Geophysical Union*) che si basa sulla scala di Wentworth ed è la seguente:

- Boulder = masso (da -12 a -8)
- Cobble = ciottolo (da -8 a -6)
- Gravel = ghiaia (da -6 a -1)
- Sand = sabbia (da -1 a +4)
- Silt = limo (da +4 a +8)

- Clay = argilla (da +8 a +12)

Il diametro di 2 mm ($\phi = -1$) separa convenzionalmente il sedimento fine (sabbia, limo e argilla) da quello grossolano (ghiaia, ciottoli e massi).

Data la presenza di pezzature grossolane ed eterogenee si sono considerate classi di $0,5\phi$, per non raggruppare in poche classi elementi altrimenti molto diversi diametricamente.

3.2.5 Rilievo della componente forestale

In questo studio si è voluto analizzare il ruolo svolto dalla componente forestale sulla riduzione delle distanze percorse da *debris flood*. Per tale motivo, il rilievo del deposito e l'analisi granulometrica del sedimento sono state affiancate da rilievi riguardanti la componente forestale.

È stato effettuato un rilievo nella zona di deposito del conoide ricorrendo ad un campionamento a cavallettamento totale, e in alcune aree di saggio non interessate dalla colata adottando un metodo di campionamento a cavallettamento parziale.

Per ogni pianta presente nell'area di deposito sono stati rilevati: il diametro, la specie, lo spessore del deposito a monte e a valle, le condizioni, se viva o morta, e l'eventuale inclinazione del fusto rispetto alla verticale dovuta all'impatto con il flusso detritico. La posizione è stata rilevata effettuando alcune stazioni; utilizzando un GPS sono state acquisite le coordinate geografiche e con un distanziometro e un prisma le coordinate relative. L'elaborazione successiva di tali dati ha condotto alla georeferenziazione di tutte le piante rilevate.

Il rilievo ha richiesto nove stazioni di misura, rappresentate in Figura 24, e sono state rilevate un totale di 523 piante.

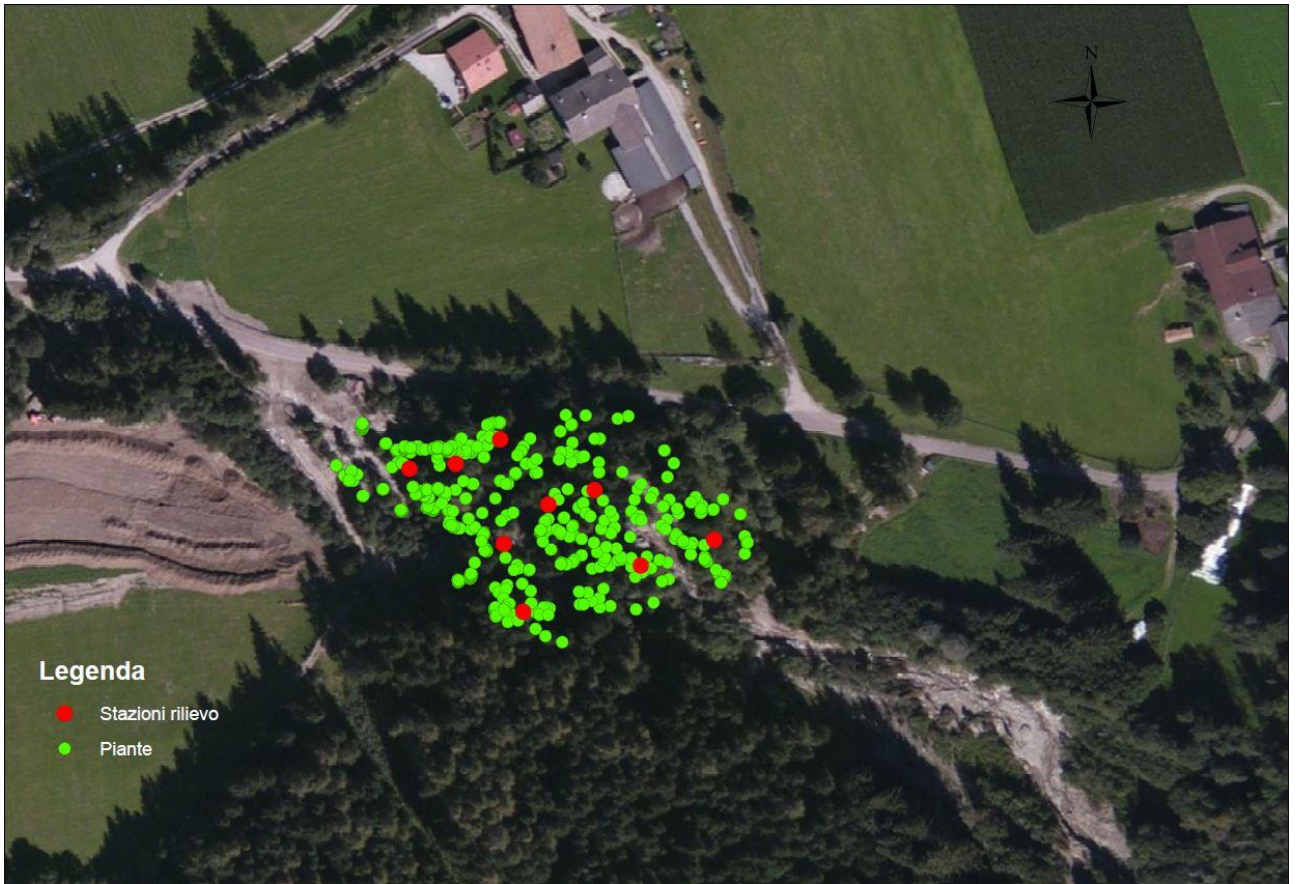


Figura 24: Ortofoto con rappresentazione delle stazioni di rilievo e delle piante

3.2.3 Costruzione dell'idrogramma liquido e del sedimentogramma con metodo idrologico

A partire dai dati di pioggia è stata eseguita un'analisi afflussi/deflussi per ricostruire l'idrogramma liquido e quindi stimare l'idrogramma solido associato all'evento. Il modello idrologico impiegato è stato il modello cinematico Kinematic Local Excess Model (KLEM) implementato nel software GIS AdB Toolbox. Esso ricorre, per il calcolo della precipitazione efficace, al metodo sviluppato dal Ministero dell'Agricoltura americano nel 1972 del Soil Conservation Service (SCS), basato sul Curve Number (CN).

Il sedimentogramma è stato ricostruito utilizzando la formula di Smart e Jaeggi per il trasporto solido, che viene riportata di seguito:

$$q_s = 4 \left(\frac{D_{90}}{D_{30}} \right) \frac{1}{\frac{\rho_s}{\rho} - 1} q S^{1.6} \left(1 - \frac{\tau_c}{\tau} \right) \quad \text{Eq. 8}$$

Dove q è la portata liquida unitaria in m^2/s , ρ è la densità dell'acqua e ρ_s la densità del sedimento. τ e τ_c sono rispettivamente lo sforzo tangenziale medio e lo sforzo tangenziale

critico per il trasporto solido. Per il calcolo dello sforzo tangenziale critico si è considerato come diametro caratteristico il D50. Valgono inoltre le seguenti relazioni:

$$\tau_c = 0.056(\gamma_s - \gamma)D_{50} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\tau = \gamma R_H i \quad \text{Eq. 10}$$

R_H è stato posto pari al tirante idraulico considerando il canale come una sezione rettangolare infinitamente larga; i è la pendenza del canale.

La portata critica (Q_c) e il tirante critico (h_c) sono ricavati dalle seguenti formule:

$$Q_c = K_s B \left(\frac{\tau_c}{\gamma i} \right)^{5/3} i^{1/2} \quad \text{Eq. 11}$$

$$h_c = \frac{\tau_c}{\gamma i} \quad \text{Eq. 12}$$

Dove K_s è il coefficiente di scabrezza di Strickler; B è la larghezza dell'alveo, γ è il peso specifico dell'acqua e i è la pendenza del canale.

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

4.2 RILIEVO GRANULOMETRICO

I rilievi granulometrici sono stati effettuati in tre aree del deposito: una all'inizio del deposito sulla sponda sinistra del torrente, uno sulla sponda destra e uno alla fine del deposito.

4.2.1 Rilievo granulometrico n.1

Il rilievo nella zona terminale del deposito è stato effettuato in destra idrografica del torrente, al di sopra della strada comunale (Figura 25). Di seguito sono riportate le frequenze relative e cumulate, in Tabella 4 e nel grafico in Figura 26, e i diametri caratteristici (Tabella 5).



Figura 25: Area del rilievo granulometrico n.1

Classi diametriche [mm]	Classi ϕ (passo 0.5)	Numerosità n	Frequenza relativa	Frequenza cumulata	ϕ medio
2-4	-1.5 -2.0	18	5,98	5,98	-10,5
4-5.6	-2.0 -2.5	10	3,32	9,30	-7,5
5.6-8	-2.5 -3.0	13	4,32	13,62	-11,9
8-11	-3.0 -3.5	27	8,97	22,59	-29,2
11-16	-3.5 -4.0	21	6,98	29,57	-26,2
16-22.6	-4.0 -4.5	28	9,30	38,87	-39,5
22.6-32	-4.5 -5.0	33	10,96	49,83	-52,1
32-45	-5.0 -5.5	30	9,97	59,80	-52,3
45-64	-5.5 -6.0	27	8,97	68,77	-51,6
64-90	-6.0 -6.5	17	5,65	74,42	-35,3
90-128	-6.5 -7.0	26	8,64	83,06	-58,3
128-180	-7.0 -7.5	37	12,29	95,35	-89,1
180-256	-7.5 -8.0	6	1,99	97,34	-15,4

256-362	-8.0 -8.5	2	0,66	98,01	-5,5
362-512	-8.5 -9.0	0	0,00	98,01	0,0
512-724	-9.0 -9.5	0	0,00	98,01	0,0
724-1024	-9.5 -10.0	0	0,00	98,01	0,0
1024-1448	-10.0 -10.5	6	1,99	100,00	-20,4
Somma		301	100,00		-504,7

Tabella 4: Frequenze relative e cumulate dei dati granulometrici del rilievo n.1

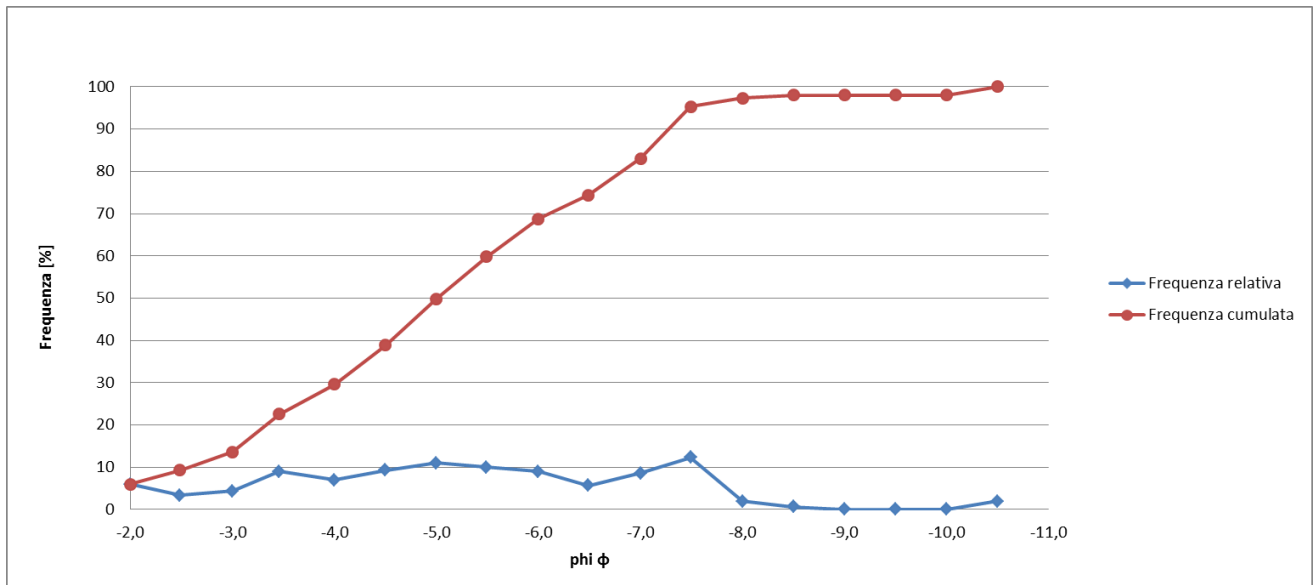


Figura 26: Curve di frequenza relativa e cumulata del rilievo n.1

	ϕ_x	D_x [mm]
D5	-1,92	4
D10	-2,57	6
D16	-3,12	9
D30	-4,02	16
D50	-5,01	32
D60	-5,50	45
D70	-6,11	69
D84	-7,04	131
D90	-7,28	155
D95	-7,48	178
Dm	-5,05	33

Tabella 5: Diametri caratteristici della distribuzione 1

Si può notare, anche dai parametri della distribuzione calcolati in Tabella 6, come il sedimento sia gradato e molto eterogeneo e non tenda a particolari valori.

Parametro		Valore
<i>Deviazione standard</i>	σ	3,89
<i>Coefficiente di uniformità</i>	U	7,65
<i>Indice di gradazione</i>	G	3,89
<i>Coefficiente di classazione</i>	s	1,82
<i>Coefficiente di asimmetria</i>	sk	-0,04

Tabella 6: Coefficienti ed indici del rilievo 1

4.2.2 Rilievo granulometrico n.2

Il secondo rilievo granulometrico è stato effettuato nella zona iniziale del deposito in sinistra idrografica del torrente (Figura 27). Di seguito sono riportate le frequenze relative e cumulate, in Tabella 7 e nel grafico in Figura 28, e i diametri caratteristici (Tabella 8).



Figura 27: Area del rilievo granulometrico n.2

Classi diametriche [mm]	Classi ϕ (passo 0.5)	Numerosità n	Frequenza relativa	Frequenza cumulata	ϕ medio
2-4	-1.5 -2.0	9	3,64	3,64	-6,4
4-5.6	-2.0 -2.5	3	1,21	4,86	-2,7
5.6-8	-2.5 -3.0	11	4,45	9,31	-12,2
8-11	-3.0 -3.5	7	2,83	12,15	-9,2
11-16	-3.5 -4.0	10	4,05	16,19	-15,2
16-22.6	-4.0 -4.5	11	4,45	20,65	-18,9
22.6-32	-4.5 -5.0	7	2,83	23,48	-13,5

32-45	-5.0 -5.5	15	6,07	29,55	-31,9
45-64	-5.5 -6.0	18	7,29	36,84	-41,9
64-90	-6.0 -6.5	23	9,31	46,15	-58,2
90-128	-6.5 -7.0	39	15,79	61,94	-106,6
128-180	-7.0 -7.5	40	16,19	78,14	-117,4
180-256	-7.5 -8.0	18	7,29	85,43	-56,5
256-362	-8.0 -8.5	15	6,07	91,50	-50,1
362-512	-8.5 -9.0	4	1,62	93,12	-14,2
512-724	-9.0 -9.5	0	0,00	93,12	0,0
724-1024	-9.5 -10.0	4	1,62	94,74	-15,8
1024-1448	-10.0 -10.5	13	5,26	100,00	-53,9
Somma		247	100,00		-624,6

Tabella 7: Frequenze relative e cumulate dei dati granulometrici del rilievo n.2

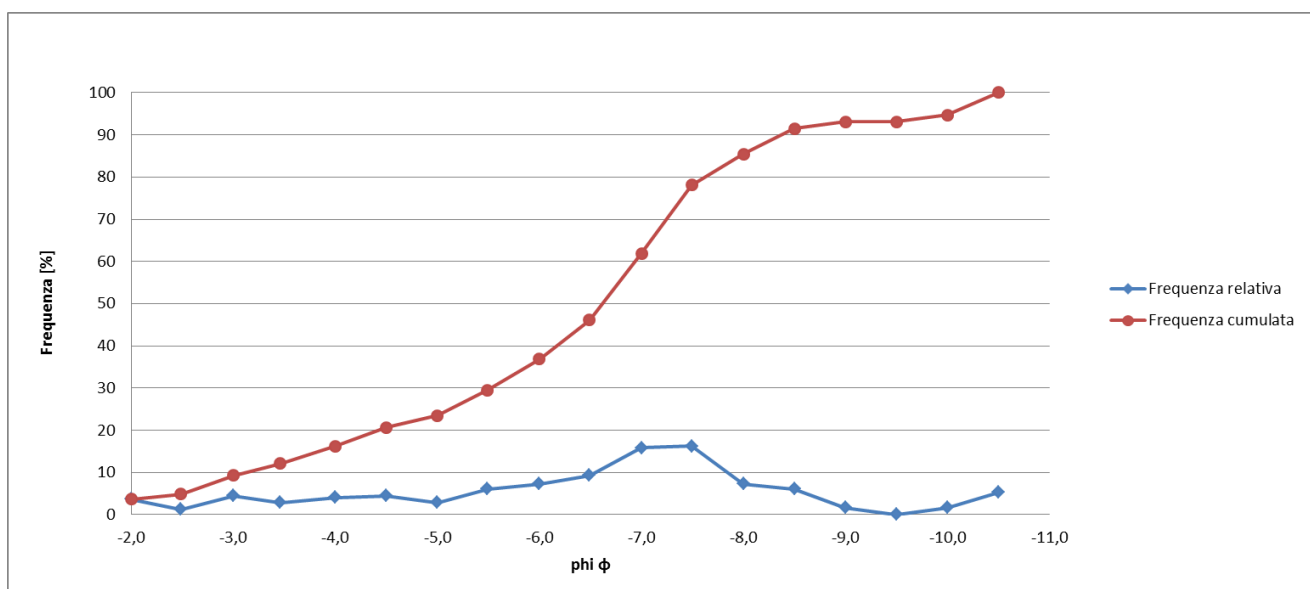


Figura 28: Curve di frequenza relativa e cumulata del rilievo n.2

	ϕ_x	D_x [mm]
D5	-2,50	6
D10	-3,11	9
D16	-3,97	16
D30	-5,52	46
D50	-6,62	98
D60	-6,94	123
D70	-6,75	108
D84	-7,90	239
D90	-8,38	332

D95	-10,03	1042
Dm	-6,25	76

Tabella 8: Diametri caratteristici della distribuzione granulometrica del rilievo n.2

Il sedimento del secondo rilievo è maggiormente grossolano, anche se presenta sempre una distribuzione non classata e ampia.

Parametro		Valore
<i>Deviazione standard</i>	σ	3,90
<i>Coefficiente di uniformità</i>	U	14,18
<i>Indice di gradazione</i>	G	4,34
<i>Coefficiente di classazione</i>	s	2,12
<i>Coefficiente di asimmetria</i>	sk	-0,22

Tabella 9: Coefficienti ed indici del rilievo n.2

4.2.3 Rilievo granulometrico n.3

Il terzo rilievo granulometrico è stato effettuato nella zona iniziale del deposito in destra idrografica del torrente (Figura 29). Di seguito sono riportate le frequenze relative e cumulate, in Tabella 10 e nel grafico in Figura 28, e i diametri caratteristici (Tabella 11).



Figura 29: Area del rilievo granulometrico n.3

Classi diametriche [mm]	Classi ϕ (passo 0.5)	Numerosità n	Frequenza relativa	Frequenza cumulata	ϕ medio
2-4	-1.5 -2.0	11	7,59	7,59	-13,3
4-5.6	-2.0 -2.5	12	8,28	15,86	-18,6
5.6-8	-2.5 -3.0	14	9,66	25,52	-26,6

8-11	-3.0 -3.5	23	15,86	41,38	-51,6
11-16	-3.5 -4.0	8	5,52	46,90	-20,7
16-22.6	-4.0 -4.5	7	4,83	51,72	-20,5
22.6-32	-4.5 -5.0	6	4,14	55,86	-19,7
32-45	-5.0 -5.5	4	2,76	58,62	-14,5
45-64	-5.5 -6.0	7	4,83	63,45	-27,8
64-90	-6.0 -6.5	12	8,28	71,72	-51,7
90-128	-6.5 -7.0	10	6,90	78,62	-46,6
128-180	-7.0 -7.5	12	8,28	86,90	-60,0
180-256	-7.5 -8.0	2	1,38	88,28	-10,7
256-362	-8.0 -8.5	6	4,14	92,41	-34,1
362-512	-8.5 -9.0	4	2,76	95,17	-24,1
512-724	-9.0 -9.5	0	0,00	95,17	0,0
724-1024	-9.5 -10.0	0	0,00	95,17	0,0
1024-1448	-10.0 -10.5	7	4,83	100,00	-49,5
Somma		145	100		-489,8

Tabella 10: Frequenze relative e cumulate dei dati granulometrici del rilievo n.3

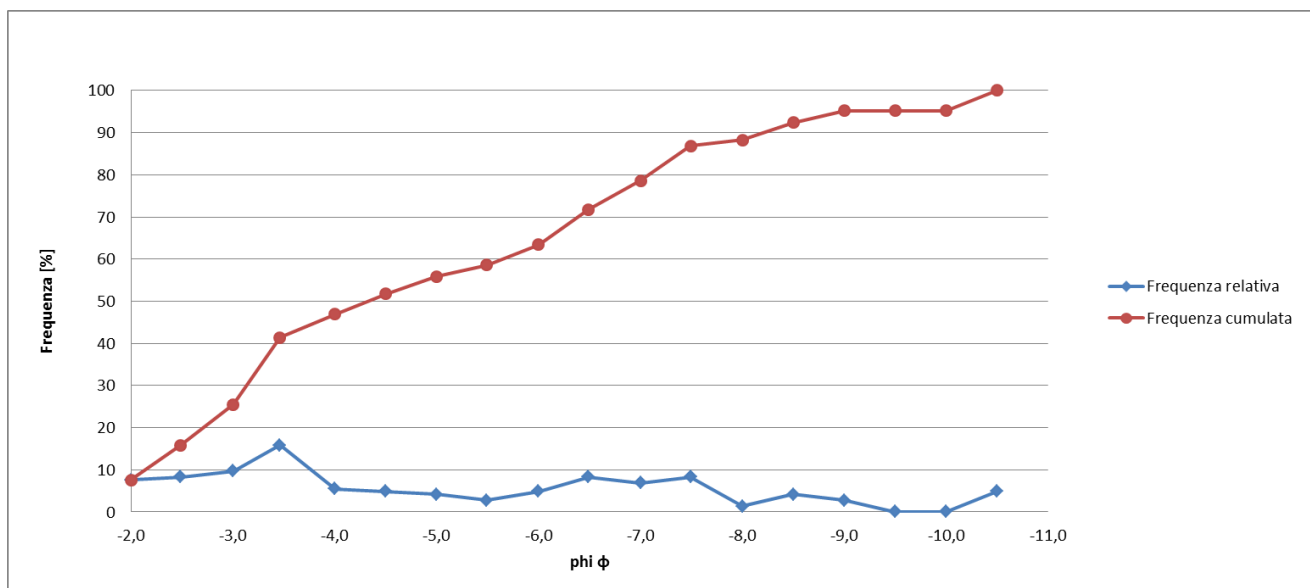


Figura 30: Curve di frequenza relativa e cumulata del rilievo n.3

	ϕ_x	D_x [mm]
D5	-1,83	4
D10	-2,14	4
D16	-2,49	6
D30	-3,13	9
D50	-4,32	20

D60	-5,64	50
D70	-6,39	84
D84	-7,32	160
D90	-8,21	296
D95	-8,97	501
Dm	-4,90	30

Tabella 11: Diametri caratteristici della distribuzione granulometrica del rilievo n.3

La distribuzione granulometrica del terzo rilievo è, come le altre, molto disomogenea ma presenta diametri caratteristici intermedi tra le il primo ed il secondo rilievo.

Parametro		Valore
<i>Deviazione standard</i>	σ	5,33
<i>Coefficiente di uniformità</i>	U	11,28
<i>Indice di gradazione</i>	G	5,77
<i>Coefficiente di classazione</i>	s	2,29
<i>Coefficiente di asimmetria</i>	sk	0,27

Tabella 12: Coefficienti ed indici del rilievo n.3

4.1 RISULTATI DELLA STIMA DEI VOLUMI

Sulla base dei dati pluviometrici della stazione meteorologica di Vipiteno forniti dall'ufficio idrografico della Provincia Autonomo di Bolzano è stato costruito lo ietogramma di precipitazione dell'evento del 4 agosto 2012 (Figura 31) che ha generato il *debris flood* nel bacino dell'Hoferlahn-graben.

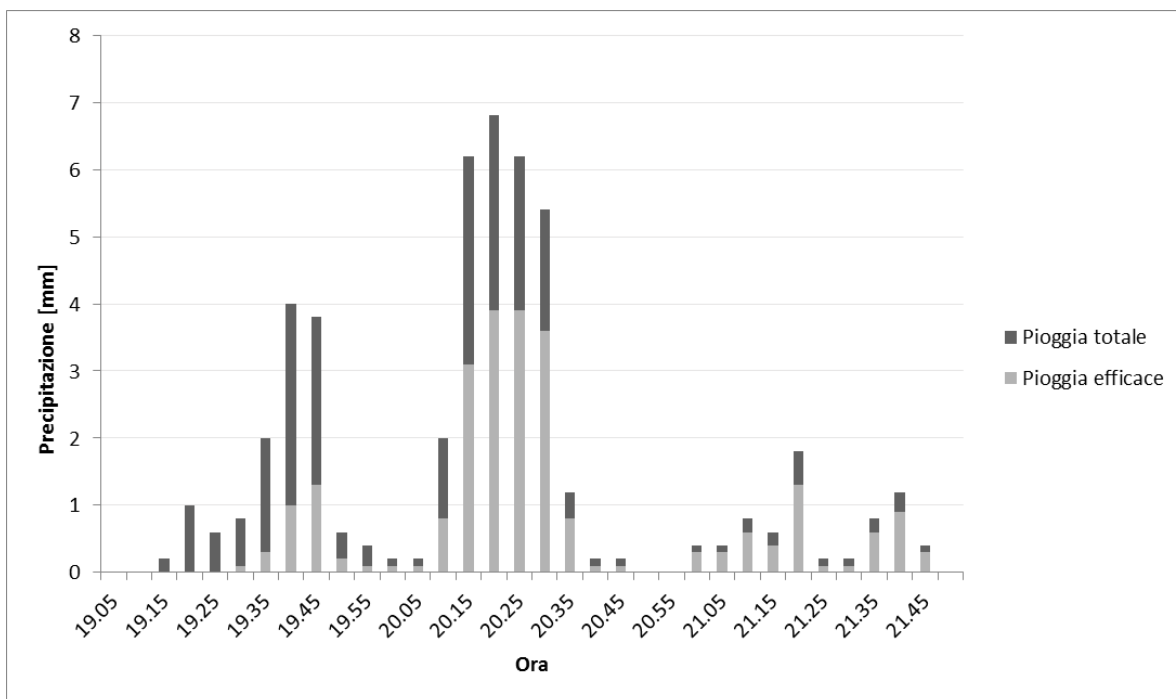


Figura 31: Ietogramma dell'evento meteorico del 4 agosto 2012 in Val di Vizze

Lo Ietogramma è stato utilizzato per determinare l'idrogramma liquido (Figura 32) con il modello di simulazione K.L.E.M implementato nel software GIS AdB ToolBox.

Per il calcolo del sedimentogramma (Figura 32) è stata usata la formula di Smart e Jaeggi. La pendenza presa in considerazione è quella del canale a 500 metri a monte dell'apice del conoide e quindi dell'inizio del deposito, che è stimata essere 14%. I parametri di input sono riportati in Tabella 13.

INPUT		
Larghezza canale [m]	B	3,50
Pendenza [m/m]	S	0,14
Coeff. di Strickler [$m^{1/3}/s$]	K_s	10
Densità del sedimento [kg/m^3]	ρ_s	2650
Densità dell'acqua [kg/m^3]	ρ_w	1000
Diametri caratteristici [m]	D30	0,02
	D50	0,05
	D84	0,16
	D90	0,19
Sforzo tangenziale critico [N/m^2]	τ_c	148,90
Tirante critico [m]	h_c	0,11
Portata critica [m^3/s]	Q_c	0,32

Tabella 13: Dati di input per la costruzione del sedimentogramma dell'evento

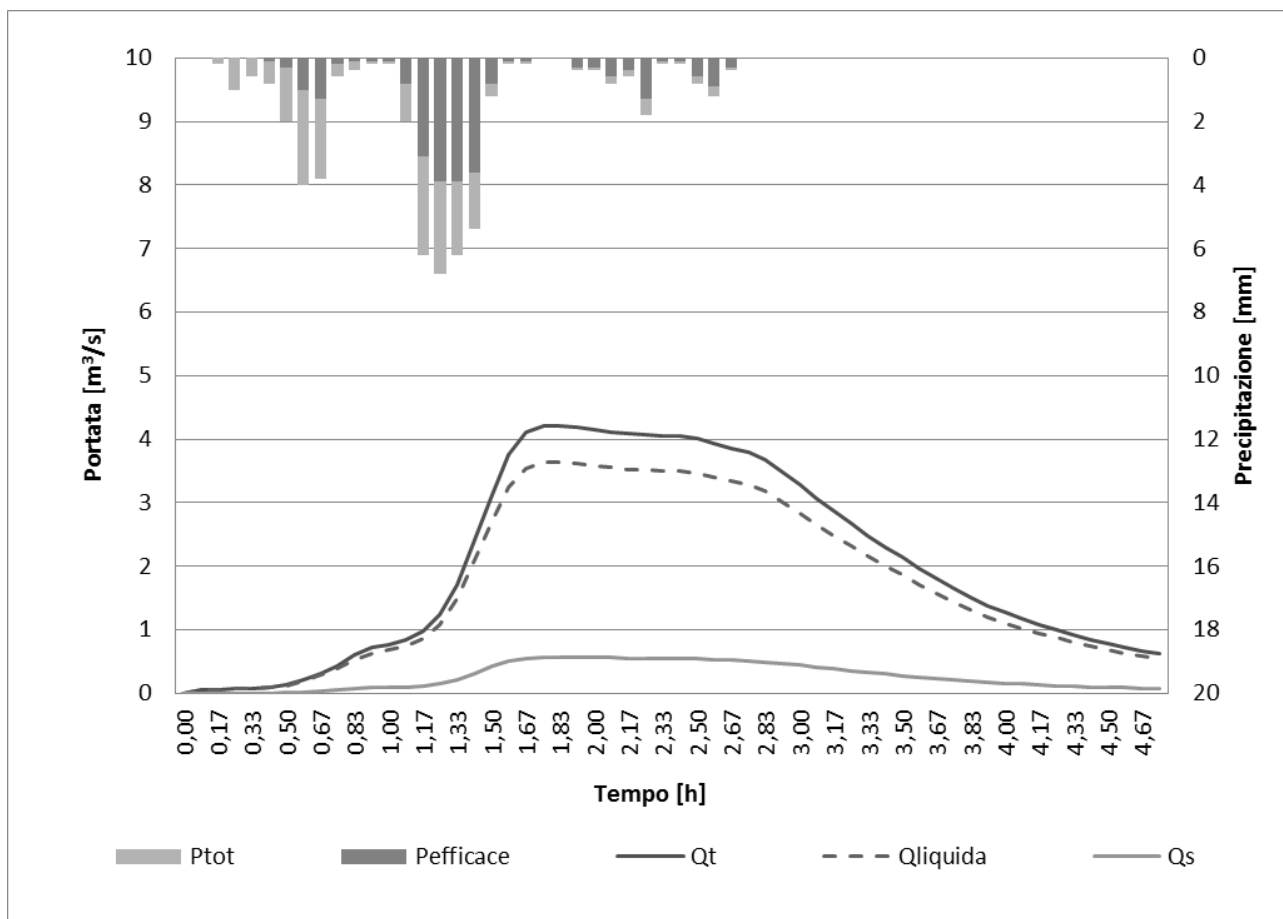


Figura 32: Idrogramma e sedimentogramma dell'evento con relativo pluviogramma

	Liquido	Solido	Totale
Q_{picco} [m^3/s]	3,64	0,47	4,11
Volume [m^3]	42261,90	3551,38	45813,28

Tabella 14: Portata al picco e volumi dell'idrogramma e del sedimentogramma

Dal rapporto tra il volume solido dell'evento e l'area del deposito si è determinato uno spessore medio ragguagliato di deposito, confrontabile con gli spessori misurati in campo. Lo spessore di deposito così ottenuto è di 0,33 m. La media degli spessori localizzati a monte delle piante risulta essere di 0,40 m, per cui il valore può essere attendibile.

4.3 RISULTATI DEL RILIEVO DELL'INTERAZIONE CON LA COMPONENTE FORESTALE

Il trasporto solido della piena detritica interagisce fortemente con la componente forestale, che ne riduce la velocità e la massima distanza di percorrenza (runout), favorendo la deposizione del sedimento, grazie all'impatto con i tronchi.

Le evidenze di campo confermano i risultati di studi di letteratura (per es. May, 2002; Ishikawa, 2000; Ishikawa *et al.*, 2003), che affermano l'importante ruolo svolto dal popolamento forestale nel sopprimere il movimento dei flussi detritici. Infatti la vegetazione si è dimostrata in grado di trattenere parte del materiale detritico, formando depositi di maggiore spessore immediatamente a monte delle piante.

Il deposito, come osservato in campo, può essere formato da poco sedimento e di piccola misura, ad esempio alcuni ciottoli, oppure da numerosi detriti anche di grande diametro, che possono formare una 'coda' di deposito a monte della pianta; questo può succedere quando un masso impatta con il fusto, aumentando la superficie di 'contatto', e quindi una notevole quantità di detrito si ferma a ridosso di esso. (Figura 33)



Figura 33: Foto del deposito a monte di due piante; a sinistra ciottoli e a destra grandi massi assieme a una coda di detrito formata anche da rami e terra.

Interessante è la disposizione dei sedimenti i quali presentano l'asse maggiore, nella gran parte dei casi, disposto perpendicolarmente al fusto. (Figura 34) Questo particolare orientamento è riscontrato anche da Wilford *et al.* (2004), che affermano come in fenomeni di *debris flood* massi e ciottoli di maggior diametro siano orientati perpendicolarmente al flusso, indice di moto prevalente per rotolamento, mentre il sedimento più a grana fine parallelamente alla direzione del flusso.



Figura 34: Disposizione prevalente del sedimento a monte delle piante

Se dunque il masso è di grandi dimensioni si ha, come notato in precedenza, una maggiore superficie di impatto per cui, se l'albero ha diametro sufficiente da non essere ribaltato, può, a parità di diametro, trattenere molto più detrito.

Importante è risultata anche la presenza di piante ravvicinate, che hanno permesso in alcuni casi l'incastro di massi tra di esse comportando l'aumento degli spessori di deposito a monte delle piante attraverso la formazione di strutture a "step". Tale comportamento è stato osservato anche per il materiale legnoso trasportato dal flusso detritico che, in molti casi, ha creato delle forme simili a "log-step" incastrandosi tra fusti adiacenti (Figura 35).



Figura 35: Foto di log-step, detrito legnoso accumulato a monte delle piante.

In totale sono state cavallettate 523 piante nell'area soggetta al *debris flood* e 65 piante nelle tre aree di saggio all'esterno dell'area soggetta al processo. La presenza sul conoide alluvionale di un popolamento costituito da una fustaia matura ben affermata di abete rosso (*Picea abies*) con la sporadica presenza di qualche larice (*Larix decidua*) è segnale di mancanza di un disturbo ricorrente. Le dimensioni del soprassuolo sono tali per cui l'impatto del flusso detritico non è stato tale da provocare danni seri, se non qualche occasionale scalfitura ai fusti. Dove erano presenti piante di diametri minori, in particolare nella parte bassa del conoide, queste hanno subito spesso un impatto tale da determinare l'inclinazione dei tronchi verso valle. Durante i rilievi di campo è stata stimata tale inclinazione. Come riporta Hungr *et al.* (2001) la capacità distruttiva del *debris flood* è simile a quella di una piena liquida per cui spesso gli oggetti coinvolti nel *debris flood* sono sommersi o circondati dal detrito ma non rimangono danneggiati a causa dell'impatto.

4.3.1 Confronto tra area indisturbata e area disturbata

Le prime considerazioni formulate riguardano il confronto tra la vegetazione rilevata all'interno della zona di deposito, e quindi in area "disturbata", e quella rilevata nella zona non interessata dal fenomeno, definita come "non disturbata". Le caratteristiche riguardanti la prima sono state desunte in seguito ad un cavallettamento totale delle piante, per la seconda effettuando tre aree di saggio su aree circolari di raggio pari a 10 metri.

Il popolamento presente in area del deposito è composto da individui di classe diametrica relativamente piccola (in grigio scuro in Figura 36). Quasi il 50% degli individui è infatti compreso nella classe di diametro tra 0 e 5 cm, nonostante vi siano anche piante di diametro considerevole.

È da notare però che questi individui si concentrano nella parte terminale del deposito, dove il popolamento si discosta dal tipo di appartenenza (“*Pecceta montana* dei suoli carbonatici con *Malica nutans* e *Clematis alpina*”) essendo caratterizzato dalla presenza di specie pioniere e di ricolonizzazione di ex prati. Le piante di maggiore diametro si concentrano invece nella parte più a monte del deposito dove il popolamento è quello del tipo di appartenenza.

Il popolamento in area di saggio “indisturbata” (in grigio chiaro in Figura 36), invece, risulta essere maggiormente omogeneo tra le classi diametriche con una prevalenza di piante tra i 25 e i 30 cm e con una composizione specifica molto semplificata

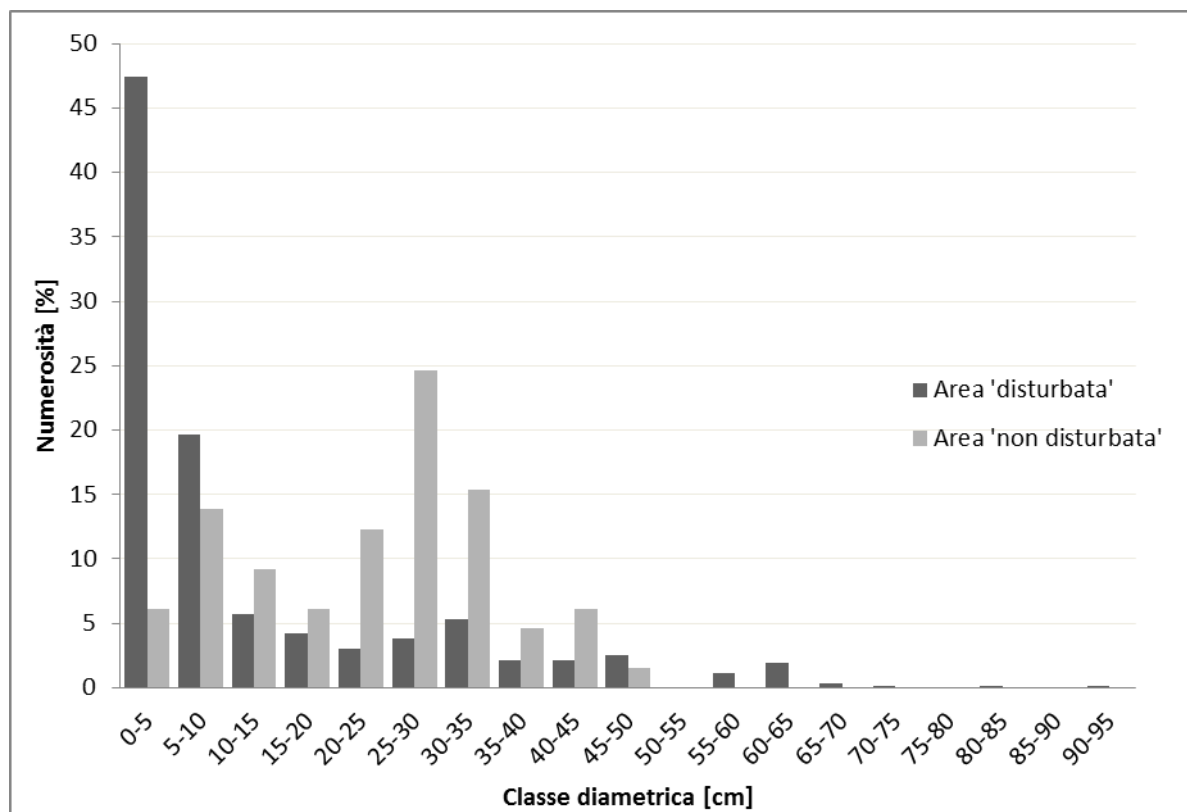


Figura 36: Distribuzione delle piante in classi diametriche

Nella zona di deposito sono presenti specie quali abete rosso (*Picea abies L.*), larice (*Larix decidua*), ontano verde (*Alnus viridis*) e frassino (*Fraxinus ornus L.*), che caratterizzano anche le aree di saggio “indisturbate”. La specie prevalente è l’abete rosso (34%), seguono il

frassino (7%) e l'ontano verde (5%) mentre il larice è poco presente (2%) (Figura 37). Le altre specie, non presenti nelle aree di saggio e considerabili pioniere, sono la betulla (*Betula pendula*), che dopo l'abete rosso è la specie più numerosa (28%) e il sorbo (*Sorbus aucuparia L.*) (11%); in minore entità compaiono anche: sambuco (*Sambucus nigra L.*), salice (*Salix caprea L.*), nocciolo (*Corylus avellana*) e acero (*Acer pseudoplatanus*).

La specie prevalente è comunque l'abete rosso.

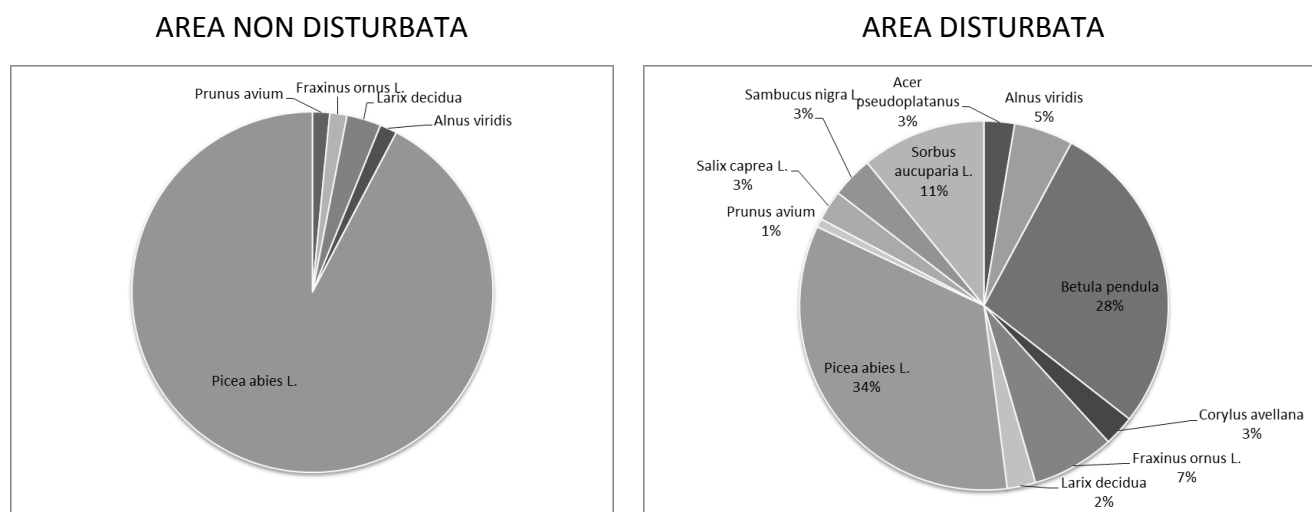


Figura 37: Composizione specifica della vegetazione in area non disturbata e in area disturbata

Il popolamento nelle aree del conoide non disturbate dall'evento è caratterizzato quasi totalmente dalla presenza di *Picea abies L.* (92%) e include solo pochi individui di larice, ontano, frassino e ciliegio (Figura 37).

Di seguito sono riportati in Tabella 15 i dati di composizione specifica, densità per ettaro, diametro medio e area basimetrica per ogni specie delle aree di saggio non disturbate e dell'area disturbata.

AREA NON DISTURBATA				
Specie	n	Densità [n/ha]	DBH [m]	Area Bas./ettaro [m ² /ha]
<i>Alnus viridis</i>	1	32	0,07	0,42
<i>Fraxinus ornus L.</i>	1	32	0,03	0,02
<i>Larix decidua</i>	2	64	0,41	4,41
<i>Picea abies L.</i>	60	1910	0,13	1,71
<i>Prunus avium</i>	1	32	0,24	0,12
Totale: 5 specie	65	2069	0,18	6,68

AREA DISTURBATA				
Specie	n	Densità [n/ha]	DBH [m]	Area Bas./ettaro [m ² /ha]
<i>Acer pseudoplatanus L.</i>	14	13	0,05	0,03
<i>Alnus viridis</i>	27	25	0,07	0,12
<i>Betula pendula</i>	145	134	0,05	0,38
<i>Corylus avellana</i>	14	13	0,03	0,01
<i>Fraxinus ornus L.</i>	38	35	0,05	0,09
<i>Larix decidua</i>	13	12	0,35	1,45
<i>Picea abies L.</i>	178	165	0,29	14,82
<i>Prunus avium</i>	4	4	0,05	0,01
<i>Salix caprea L.</i>	14	13	0,04	0,02
<i>Sambucus nigra L.</i>	19	18	0,05	0,05
<i>Sorbus aucuparia L.</i>	57	53	0,03	0,05
Totale: 11 specie	523	484	0,09	17,03

Tabella 15: Composizione specifica e caratteristiche medie delle piante rilevate in area di saggio 'non disturbata' e in area di deposito 'disturbata'

4.3.2 Analisi della severità del fenomeno

Sul totale di 523 individui presenti all'interno dell'area di deposizione del *debris flood* ne sono stati rilevati solo 23 morti (Tabella 16). Questo può essere giustificato dalla buona resistenza del popolamento al processo per il relativo elevato diametro e della bassa forza d'impatto del fenomeno di colata detritica fangosa. Infatti, il materiale detritico di maggiore dimensione trasportato durante l'evento si è arrestato per lo più nella parte iniziale del deposito dove i diametri dei fusti rilevati ricadevano nelle classi diametriche maggiori e quindi con una maggior capacità di resistere all'urto senza subire danni evidenti se non qualche lesione superficiale.

Classe diametrica [cm]	VIVI		MORTI	
	Numerosità <i>n</i>	Numerosità [%]	Numerosità <i>n</i>	Numerosità [%]
0-5	231	46,2	17	73,9
5.1-10	99	19,8	4	17,4
10.1-15	30	6	0	
15.1-20	20	4	2	8,7
20.1-25	16	3,2	0	
25.1-30	20	4	0	
30.1-35	28	5,6	0	

35.1-40	11	2,2	0	
40.1-45	11	2,2	0	
45.1-50	13	2,6	0	
50.1-55	0	0	0	
55.1-60	6	1,2	0	
60.1-65	10	2	0	
65.1-70	2	0,4	0	
70.1-75	1	0,2	0	
75.1-80	0	0	0	
80.1-85	1	0,2	0	
85.1-90	0	0	0	
90.1-95	1	0,2	0	
Totale	500		23	

Tabella 16: Individui vivi e morti presenti nell'area di deposito

Si può notare come gli individui morti rilevati appartengano a classi diametriche tra i 5 e i 20 cm di diametro e quindi siano relativamente piccoli. All'aumentare del diametro, dunque, diminuisce la mortalità delle piante (Figura 38)

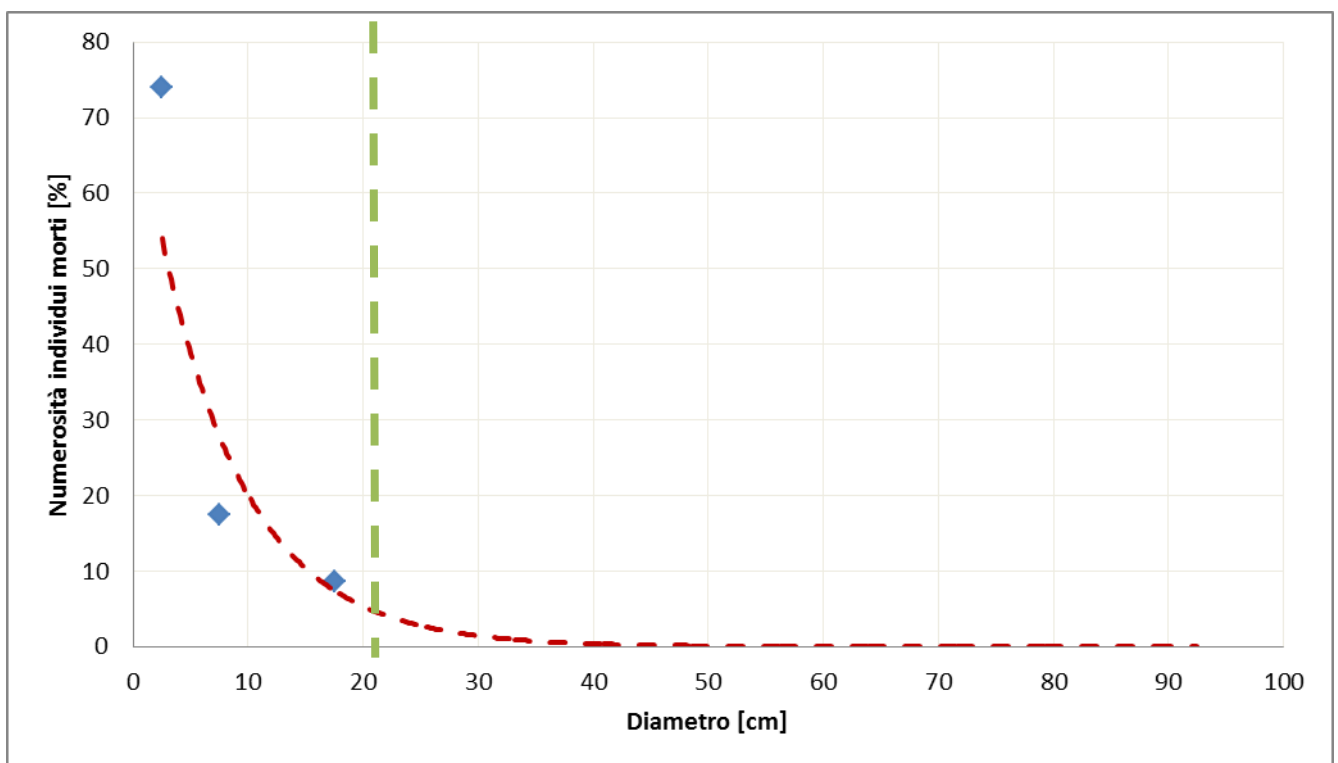


Figura 38: Relazione tra diametro e numerosità in percentuale degli individui morti

A riprova della buona resistenza del popolamento al disturbo, le piante che presentano fusto inclinato sono 25 di cui 7 risultano morte e rappresentano meno del 5% dell'intero popolamento, inoltre hanno tutte diametro inferiore a 10 cm (Tabella 17). In Figura 39 una

foto di una pianta inclinata verso valle a causa dell'impatto con il detrito accumulatosi a monte del fusto, nella parte terminale del deposito.



Figura 39: Foto di una pianta che presenta fusto inclinato verso valle a seguito dell'evento di debris flood, nella parte terminale del deposito

L'inclinazione varia da un minimo di 15° a un massimo di 90°, che corrisponde alle piante trovate a terra, poichè l'inclinazione è misurata rispetto alla verticale. Dal grafico in Figura 40 si può notare come, tendenzialmente, l'inclinazione decresca con l'aumentare del diametro. Un popolamento con piante di maggior diametro resiste dunque meglio allo stress dovuto all'evento di debris flood e ne è meno danneggiato.

Specie	Stato	Diametro [cm]	Inclinazione [°]	Spessore deposito a monte [m]	Spessore deposito a valle [m]	Δ Spessore deposito [m]
<i>Betula pendula</i>	morto	5	a terra	0,15	0	0,15
<i>Betula pendula</i>	morto	3	a terra	0,15	0	0,15
<i>Betula pendula</i>	vivo	5	a terra	0,15	0	0,15
<i>Sorbus aucuparia L.</i>	vivo	2	a terra	1,2	0,50	0,70
<i>Sorbus aucuparia L.</i>	vivo	2	80	0,3	0	0,30
<i>Sorbus aucuparia L.</i>	vivo	2	80	0,3	0	0,30
<i>Sorbus aucuparia L.</i>	vivo	3	80	0,3	0	0,30
<i>Larix decidua</i>	vivo	8	70	0,6	0,1	0,50

<i>Betula pendula</i>	morto	4	50	0,15	0	0,15
<i>Betula pendula</i>	morto	4	45	0,1	0	0,10
<i>Alnus viridis</i>	morto	8	45	0,5	0	0,50
<i>Betula pendula</i>	morto	4	40	0,30	0,30	0,00
<i>Salix caprea L.</i>	vivo	7	40	1,8	0,2	1,60
<i>Fraxinus ornus L.</i>	vivo	2	40	0,1	0	0,10
<i>Fraxinus ornus L.</i>	vivo	3	40	0,1	0	0,10
<i>Fraxinus ornus L.</i>	vivo	2	40	0,1	0	0,10
<i>Fraxinus ornus L.</i>	vivo	2	40	0,1	0	0,10
<i>Salix caprea L.</i>	vivo	3	30	1,8	0,2	1,60
<i>Salix caprea L.</i>	vivo	3	30	1,8	0,2	1,60
<i>Betula pendula</i>	morto	10	30	1,8	0,2	1,60
<i>Betula pendula</i>	morto	4	20	0,3	0	0,30
<i>Betula pendula</i>	morto	3	20	0,3	0	0,30
<i>Acer pseudoplatanus</i>	vivo	9	15	0,8	0,1	0,70
<i>Acer pseudoplatanus</i>	vivo	9	15	0,8	0,1	0,70
<i>Acer pseudoplatanus</i>	vivo	5	15	0,8	0,1	0,70

Tabella 17: Dati di specie, stato, diametro e spessore di deposito delle piante in area disturbata che presentano fusto inclinato

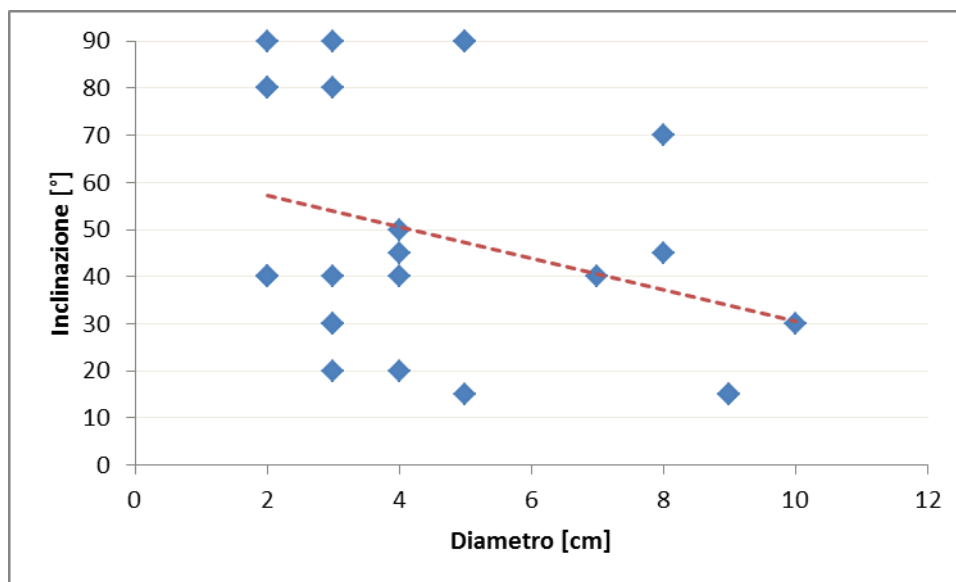


Figura 40: Relazione tra diametro ed inclinazione degli individui in area disturbata che presentano il fusto inclinato

Invece, la relazione tra lo spessore del deposito a monte della pianta e il suo diametro non è risultata crescente, come in altri studi (per esempio Ishikawa *et al.*, 2004; Romanel, 2014), molto probabilmente per la diversa natura del fenomeno, non massivo, mentre negli studi

citati si tratta di debris avalanche nel primo caso e di una colata detritica granulare nel secondo.

<i>Classe</i>	<i>Numerosità</i>	<i>Numerosità [%]</i>	<i>Spessore deposito a monte (Sm) [m]</i>	<i>Spessore deposito a valle (Sv) [m]</i>	<i>Δ spessore=Sm-Sv [m]</i>
0-5	248	47,42	0,33	0,08	0,24
5-10	103	19,69	0,50	0,12	0,37
10-15	30	5,74	0,49	0,17	0,31
15-20	22	4,21	0,42	0,12	0,30
20-25	16	3,06	0,47	0,06	0,41
25-30	20	3,82	0,50	0,10	0,40
30-35	28	5,35	0,41	0,11	0,30
35-40	11	2,10	0,50	0,08	0,42
40-45	11	2,10	0,37	0,09	0,29
45-50	13	2,49	0,52	0,12	0,41
50-55	0	0,00	0,00	0,00	0,00
55-60	6	1,15	0,58	0,22	0,37
60-65	10	1,91	0,41	0,15	0,26
65-70	2	0,38	0,55	0,00	0,55
70-75	1	0,19	0,30	0,10	0,20
75-80	0	0,00	0,00	0,00	0,00
80-85	1	0,19	0,40	0,00	0,40
85-90	0	0,00	0,00	0,00	0,00
90-95	1	0,19	0,00	0,00	0,00

Tabella 18: Spessori del deposito a monte e a valle delle piante, media per classi diametriche

Si noti che la pianta di diametro massimo, 92 cm, non è stata considerata nell'analisi, poichè influenza erroneamente la tendenza della retta interpolatrice, in quanto priva di deposito a monte anche a causa della sua posizione molto a margine del deposito.

Come è evidente anche dal grafico (Figura 41), lo spessore del deposito non risulta dipendere dal diametro delle piante e si attesta su un valore medio di 40 cm.

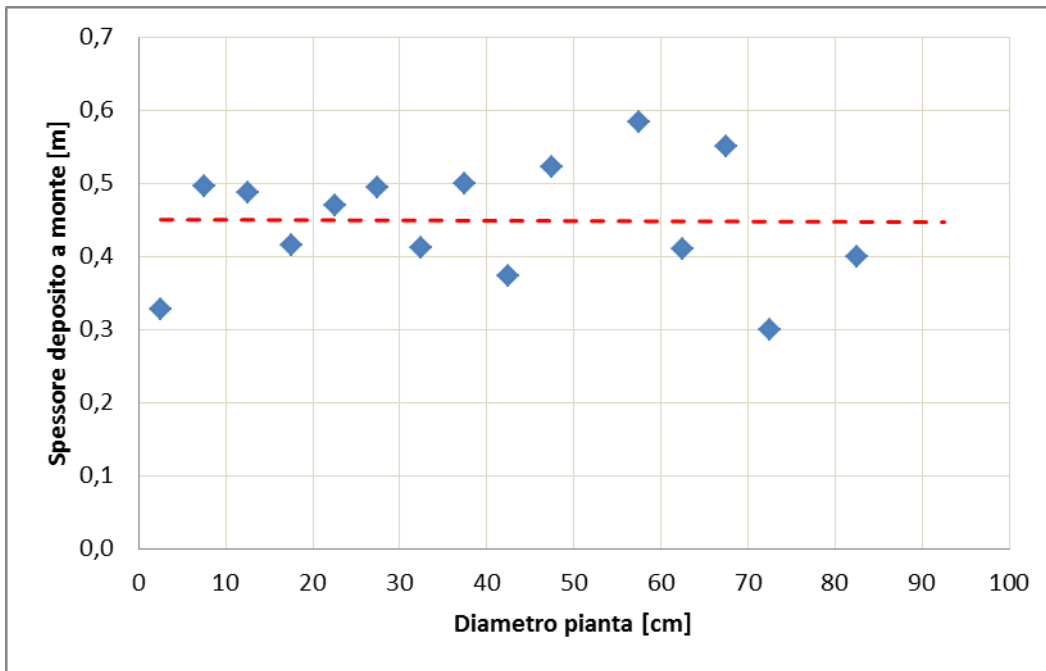


Figura 41: Relazione tra spessore del deposito a monte e diametro della pianta

Considerando invece la differenza di spessore tra monte e valle, la relazione lineare è leggermente crescente ma non in modo notevole (Figura 42). Comunque, la presenza di una diffusa differenza di spessore di deposito a monte e a valle delle piante, variabile tra 0.2 e 0.55 m è importante indicatore della capacità delle piante di offrire una reale ed efficace protezione contro i pericoli naturali.

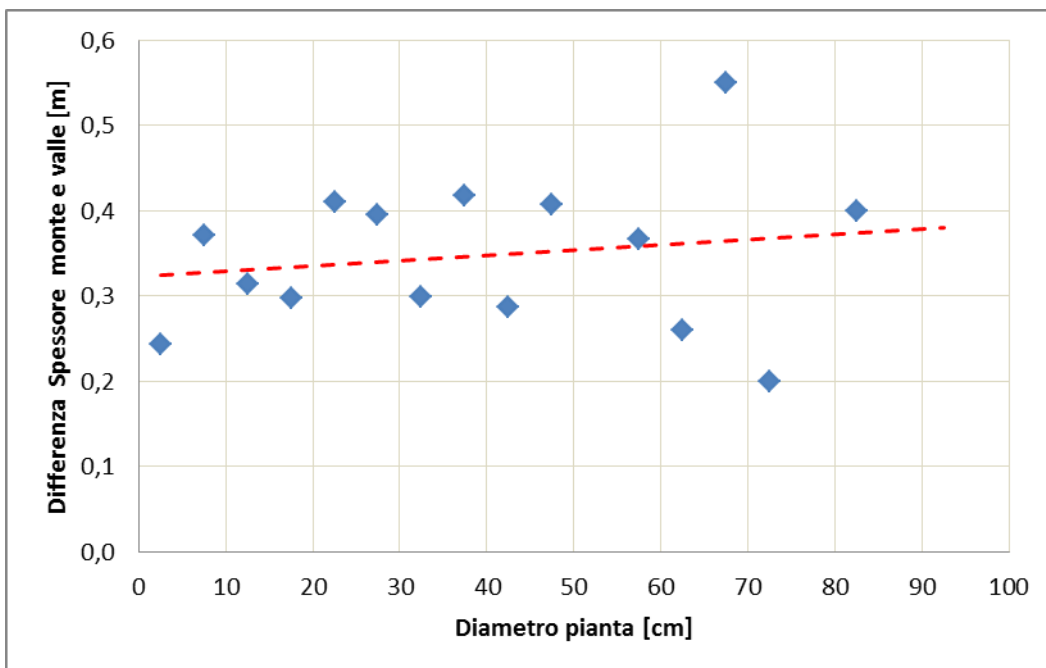


Figura 42: Relazione tra la differenza di spessore del deposito a monte e a valle e il diametro della pianta

Per approfondire la mancanza della relazione individuata da Ishikawa *et al.* (2003), secondo cui al crescere del diametro del tronco, aumenta lo spessore del deposito, si è voluto analizzare il popolamento forestale non considerando le piante estremamente vicine le une alle altre e che quindi 'in gruppo' interferiscono diversamente con il flusso.

Infatti, la presenza di gruppi di individui falsa la relazione crescente tra lo spessore del deposito e il diametro della pianta, poichè si presentano individui di piccole dimensioni che trattengono grandi quantitativi di sedimento. Ciò è dovuto al fatto che le piante sono affiancate da altri individui che collaborano, grazie alla vicinanza, alla trattenuta di detrito anche di grosse dimensioni, che il singolo individuo non riuscirebbe probabilmente a trattenere. Considerando quindi solo gli individui singoli si è ottenuta una relazione crescente tra lo spessore di deposito a monte e il diametro (Figura 43).

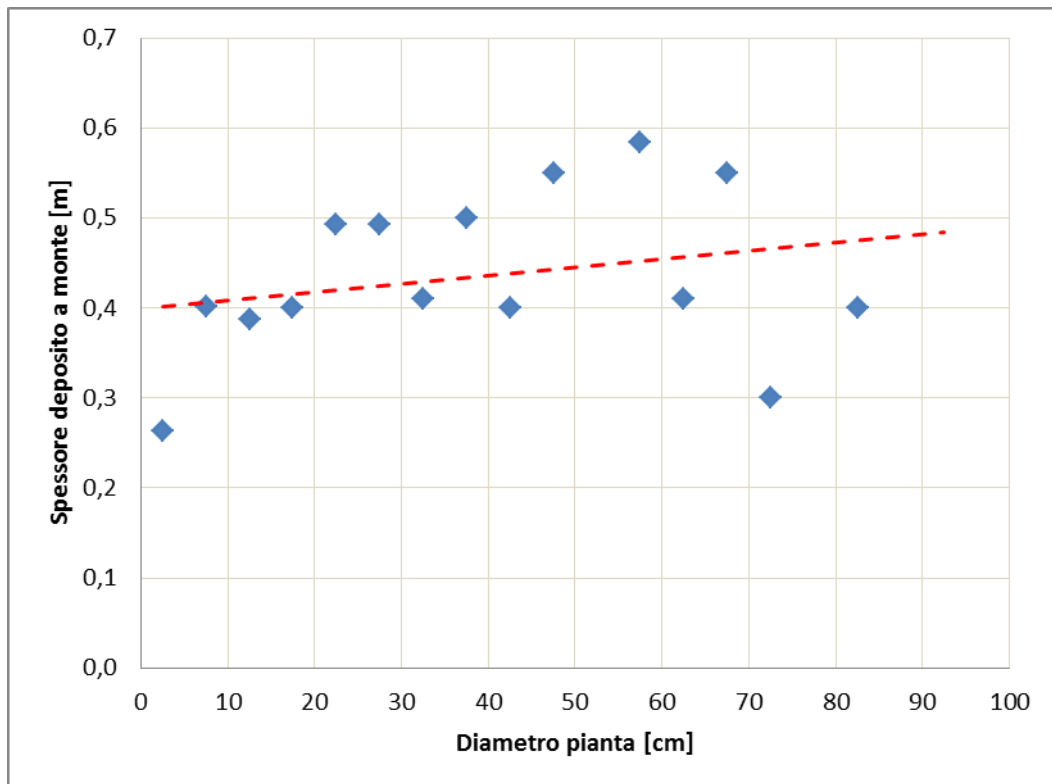


Figura 43: Relazione tra spessore del deposito a monte e diametro della pianta del popolamento considerati solo gli individui singoli

Un'evidenza di campo è quella di grossi massi trattenuti da più piante di piccolo diametro. Un esempio estremo dell' 'effetto gruppo' è riportato nella foto in Figura 44, dove due piante di diametro ridotto hanno trattenuto due massi delle dimensioni di circa 1 m.



Figura 44: Trattenuta di due massi da parte di due piccole piante

5. CONCLUSIONI

In questo elaborato si sono studiati l'alluvione del 04 agosto 2012 nel bacino dell'Hoferlahn-graben in Val di Vizze (Bz) e gli effetti reciproci tra la copertura forestale presente sul conoide alluvionale e il processo di *debris flood* originatosi in seguito all'evento.

Tramite il rilievo e l'analisi del deposito e delle relazioni con la vegetazione si è studiato come la componente forestale possa svolgere un'azione protettiva nella limitazione della pericolosità del fenomeno di *debris flood*, offrendo maggiore resistenza al flusso in scorrimento, determinando così ulteriori dissipazioni energetiche, ed ostacolando il flusso stesso.

I rilievi granulometrici effettuati per caratterizzare la composizione del deposito mostrano come si sia fermata una frazione grossolana di sedimento con la presenza di massi di notevoli dimensioni all'inizio della zona di deposito.

Analizzando i dati raccolti relativi agli spessori di deposito, ai diametri e alle condizioni della componente forestale e mettendoli in relazione, si sono ottenuti dei risultati differenti rispetto agli studi in materia precedenti con cui si è effettuato il confronto (Ishikawa, 2003; Romanel, 2014). Due sono le cause principalmente individuate. In primis la diversità del fenomeno, che nel primo caso si tratta di *debris avalanches* e nel secondo di un *debris flow* mentre in questo caso di un *debris flood*. Questo si traduce in conseguenti differenze nel comportamento, oltre che nella caratterizzazione, della colata. Inoltre vi è la numerosa presenza nel popolamento forestale di individui molto ravvicinati che permettono una maggiore trattenuta di sedimento, nonostante i diametri di modeste dimensioni. Le piante in gruppo infatti sono risultate essere 298 su 523, ovvero il 57% del popolamento, e possiedono una capacità di trattenuta a volte pari se non maggiore di individui singoli di considerevoli dimensioni. Ad esempio un gruppo di tre frassini del diametro di 5 e 7 cm presentano un deposito a monte di 1,4 m, al pari di un larice di 60 cm di diametro.

Tuttavia, sempre considerando la diversità di fenomeno, è plausibile che la trattenuta di grandi quantitativi di sedimento da parte di gruppi di piccolo diametro sia stata possibile proprio a causa del tipo di fenomeno che risulta essere, data la minor velocità e quindi la minore energia, meno distruttivo. Con questo si può anche spiegare la bassa mortalità del popolamento, del 4%, a seguito dell'evento e l'assenza di danni particolarmente gravosi alle piante, se non la presenza di inclinazione verso valle di alcuni individui di piccolo diametro

nella parte terminale del deposito, per la precisione 25 individui con diametro inferiore a 10 cm.

Inoltre, dall'idrogramma liquido elaborato tramite il software Adb-toolbox, che determina una portata al picco di $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, e dal sedimentogramma calcolato con la formula di Smart e Jaeggi, si è stimato il volume liquido e solido per l'evento pari a 45813 m^3 , con un volume solido di 3551 m^3 , a riprova dell'entità ridotta del fenomeno.

In conclusione, dai risultati emersi si evince la reale capacità della copertura forestale in conoide di agire in modo positivo nel contrastare la pericolosità di fenomeni di *debris flood*, trattenendo parte del detrito e assorbendone l'impatto. Potrebbe quindi essere possibile, in sinergia con strutture di protezione antropiche, creare, come anche suggerito da Ishikawa *et al.* (2003), delle fasce di protezione boscate. Purchè esse abbiano determinate caratteristiche dendrometriche e di densità, privilegiando magari l'impianto di gruppi di individui e adottando le tecniche selvicolturali più consone a mantenere una foresta di protezione, come delineato ad esempio dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta e dalla Regione Piemonte (2006).

BIBLIOGRAFIA

- Ancey, C. (2001). *Debris flow and related phenomena*. In N. Balmfort and A. Provenzale, *Geomorphological fluid mechanics* (pp. 582-547), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bistacchi *et al.*, A. (2003). Carta geologica e note illustrative del transetto val di vizee-fortezza (alpi orientali). *Memorie Di Scienze Geologiche*, 55, 169-188.
- D'Agostino, V. (1996). Analisi quantitativa e qualitativa del trasporto solido torrentizio nei bacini montani del trentino orientale. *Scritti dedicati a Giovanni Tournon* (pp. 111-123) Associazione Italiana di Ingegneria Agraria - Associazione Idrotecnica Italiana.
- D'Agostino, V., & Cesca, M. (2009). Reologia e distanza di arresto dei *debris flow*: Sperimentazioni su modello fisico a scala ridotta. *IX Convegno Nazionale Dell'Associazione Italiana Di Ingegneria Agraria*, Ischia Porto. (memoria n. 3-17)
- Esri, DigitalGlobe, GeoEye, i-cubed, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community; *World Imagery*
- Ferro, V. (2006). *La sistemazione dei bacini idrografici* (seconda edizione ed.) McGraw-Hill.
- Hungr, O., Evans, S., Bovis, M., & Hutchinson, J. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, VII(3), 221-238.
- Ishikawa, Y. (2000). Damage to forests by sediment movements and control of sediment movements by forests. *Internationales Symposium Interpraevent 2000*, Villach/Osterreich. (3) 191-199.

- Ishikawa, Y., Kawakami, S., Morimoto, C., & Mizuhara, K. (2003). Suppression of debris movement by forests and damage to forests by debris deposition.
- May, C. (2002). *Debris flow through different forest age classes in the central oregon coast range. Journal of the American Water Resource Association, 38(4), 1097-1113.*
- Pastorello, R. (2014). Tesi di laurea magistrale: *Analisi del pericolo da debris flow nella Pfitschertal (Bz) mediante il modello Flow-R*. Relatore: Prof. Vincenzo D'Agostino. Dipartimento Tesaf, Università di Padova.
- Regione Autonoma Valle d'Aosta - Regione Piemonte. (2006). *SELVICOLTURA NELLE FORESTE DI PROTEZIONE esperienze e indirizzi gestionali in piemonte e in valle d'Aosta*. Compagnia delle Foreste, Arezzo.
- Romanel, L. (2014). Tesi di laurea magistrale: *Interazione tra debris flow e vegetazione arborea ed arbustiva: Caso studio nell'alta valle del torrente ansiei (loc. Cosderuoibe, Belluno)* . Relatore: Prof. Vincenzo D'Agostino. Dipartimento Tesaf, Università di Padova.
- Wilford, D., Sakals, M., Innes, J., Sidle, R., & Bergerud, W. (2004). Recognition of *debris flow, debris flood* and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides* (pp. 61-66) Springer-Verlag.