

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali  
Corso di Laurea magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

## ANALISI DELLE CONDIZIONI DI INNESCO DI VALANGHE IN ZONE DI FORESTE COLPITE DALLA TEMPESTA VAIA

**Relatore**

Prof. Vincenzo D'Agostino

**Correlatore**

Dott. Tommaso Baggio

**Laureando**

Federico Agostini

**Matricola n.**

2015491

Anno Accademico 2021/2022



## Sommario

Riassunto .....	8
Abstract .....	10
1. Introduzione .....	12
1.1 Le valanghe .....	12
1.1.1 Fattori d’Innesco .....	15
1.1.2 Classificazione .....	18
1.1.3 La funzione delle foreste su neve e valanghe .....	19
1.1.4 Il rischio valanghivo.....	22
1.1.5 Opere di protezione.....	27
1.2 Le tempeste di vento .....	31
1.3 Zone di bosco schiantato e rischio valanghivo .....	31
2. Obiettivi .....	34
3. Area studio .....	35
3.1 La tempesta Vaia.....	35
3.1.1 L’evento .....	35
3.1.2 Distribuzione.....	36
3.1.3 Conseguenze .....	37
3.2 Area montana dell’alto Agordino .....	39
3.2.1 Inquadramento climatico.....	39
3.2.2 Inquadramento categorie forestali.....	41
3.2.3 Inquadramento tipologie di suolo e geologia.....	42
4. Materiali e Metodi.....	43
4.1 Perimetrazione schianti tempesta Vaia .....	43
4.2 Aree studio .....	45
4.2.1 Scelta aree .....	45
4.2.2 Descrizione singole aree .....	48
4.3 Analisi serie storica .....	50
4.3.1 Distribuzione di Gumbel.....	50
4.3.2 DH3gg.....	53
4.3.3 Correzione quota .....	54
4.4 Individuazione PRA.....	54
4.5 Riempimento superfice dal manto nevoso .....	55

4.5 Calcolo possibilità di distacco valanghivo.....	56
5. Risultati .....	58
5.1 Dati territoriali.....	58
5.2 Gumbel.....	67
5.2 DH3gg.....	70
5.3 Possibilità di distacco.....	71
5.4 correlazione SVH tra PRA e Aree schiantate .....	73
6. Discussioni .....	85
6.1 Analisi dati storici .....	85
6.3 Calcolo SVH e distacco .....	85
6.4 Applicazioni e limitazioni.....	86
7. Conclusioni .....	87
Bibliografia .....	89
Ringraziamenti .....	98

## Indice Figure

<b>Figura 1:</b> schema metamorfismo neve al suolo (fonte: D'Agostino, 2021) .....	13
<b>Figura 2:</b> a sinistra le sollecitazioni sul manto nevoso, in alto a destra la deformazione per assestamento e in basso a destra i movimenti del manto nevoso (fonte: Praolini et al., 2005) .....	14
<b>Figura 3:</b> individuazione zone di una valanga (fonte: Barbera et al., 2012).....	15
<b>Figura 4:</b> distribuzione valanghe secondo le diverse classi di inclinazione del terreno (fonte: Praolini et al., 2005).....	16
<b>Figura 5:</b> schema trazione e compressione su cambi di pendenza (fonte: D'Agostino, 2021).....	17
<b>Figura 6:</b> schema deposito neve con presenza di specie arboree (fonte: Letey et al., 2008) .....	20
<b>Figura 7:</b> esempio di C.L.P.V. con relativa legenda (fonte: ARPAV, 2010) .....	24
<b>Figura 8:</b> schema fasi per la redazione delle P.Z.E.V. (fonte: Tecilla, G., 2007).....	25
<b>Figura 9:</b> criteri di pericolosità di AINEVA (fonte: Barbolini et al., 2005) .....	26
<b>Figura 10:</b> alcune opere per la stabilizzazione del manto nevoso (fonte: D'Agostino, 2021; Leuenberger, 1992).....	28
<b>Figura 11:</b> treppiedi/tripodi per ancoraggio manto nevoso (fonte: D'Agostino, 2021).....	29
<b>Figura 12:</b> opere di difesa dal vento, da sinistra: tetto ad ugello, barriera da neve e girandola (fonte: Naaim-Bouvet and Richard, 2015) .....	30
<b>Figura 13:</b> opere di deviazione della valanga. A sinistra schema funzionamento diga di deviazione (fonte: Mears, 1989), in centro foto di un cuneo frangi valanga e a destra foto di un By-Pass (fonte: D'Agostino, 2021). .....	31
<b>Figura 14:</b> grafico andamento nel tempo della funzione protettiva di un bosco in seguito ad un disturbo da vento (fonte: Wohlgemuth et al., 2017) .....	32
<b>Figura 15:</b> tempesta Vaia dal satellite Meteosat il 29 ottobre 2018 alle ore 19.25 (fonte: EUMETSAT) .....	35
<b>Figura 16:</b> mappa della pressione al 29 ottobre 2018 (fonte: Chirici et al., 2019) .....	36
<b>Figura 17:</b> a sinistra la mappa ettari di bosco distrutti da Vaia, a destra gli ettari distrutti per regione/provincia autonoma (fonte: Chirici et al., 2019).....	38
<b>Figura 18:</b> mappa climatologia Veneto (fonte: Barbi et al., 2008) con inquadramento dell'area di interesse.....	40
<b>Figura 19:</b> regime pluviometrico mensile per due stazioni di riferimento dell'agordino (Fonte: Mariani et al., 2013).....	40
<b>Figura 20:</b> zone climatiche Veneto (fonte: Del Favero et al., 1990) con inquadramento area d'interesse.....	41
<b>Figura 21:</b> mappa dei distretti di suolo del Veneto (fonte: ARPA Veneto, 2020) e l'area di studio	42

<b>Figura 22:</b> schema procedimento .....	43
<b>Figura 23:</b> esempio perimetrazione manuale su ortofoto ad alta risoluzione in località Livinè (BL) .....	44
<b>Figura 24:</b> rete stazioni nivometriche automatiche ARPAV (Valt and Crepaz, 2021) .....	45
<b>Figura 25:</b> inquadramento aree test selezionate con stazioni nivometriche di riferimento .....	47
<b>Figura 26:</b> distribuzione di Gumbel riferita alla variabile ridotta $w$ (Borga, 2021).....	51
<b>Figura 27:</b> media e deviazione standard delle asimmetrie sulla numerosità del campione (Matalas et al., 1975) .....	53
<b>Figura 28:</b> schema di funzionamento dell’algoritmo per il calcolo della neve necessaria a ricoprire il legname a terra (fonte: Baggio et al., 2022).....	55
<b>Figura 29:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 017 .....	59
<b>Figura 30:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 020 .....	60
<b>Figura 31:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 081 .....	61
<b>Figura 32:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 232 .....	62
<b>Figura 33:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 024 .....	63
<b>Figura 34:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 058 .....	64
<b>Figura 35:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 091 .....	65
<b>Figura 36:</b> quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 174 .....	66
<b>Figura 37:</b> altezza media cumulata 24-27 febbraio nei differenti anni per le due stazioni nivometriche .....	67
<b>Figura 38:</b> risultato grafico distribuzione di Gumbel di fine febbraio per le stazioni nivometriche di riferimento con le relative linee segnalatrici di probabilità (LSP).....	68
<b>Figura 39:</b> altezza manto nevoso fine febbraio aree test della stazione “Monti Alti di Ornella” .....	69
<b>Figura 40:</b> altezza manto nevoso fine febbraio aree test della stazione “Col dei Baldi” .....	70
<b>Figura 41:</b> SVH con SH e relativo errore per le aree riferite alla stazione "Monti Alti di Ornella" .....	72
<b>Figura 42:</b> SVH con SH e relativo errore per le aree riferite alla stazione "Col dei Baldi" .....	73
<b>Figura 43:</b> SVH con relative PRA area ID 017 .....	74
<b>Figura 44:</b> SVH con relative PRA area ID 020 .....	75
<b>Figura 45:</b> SVH con relative PRA area ID 081.....	76
<b>Figura 46:</b> SVH con relative PRA area ID 232 .....	77
<b>Figura 47:</b> SVH con relative PRA area ID 024 .....	78
<b>Figura 48:</b> SVH con relative PRA area ID 058 .....	79
<b>Figura 49:</b> SVH con relative PRA area ID 091 .....	80
<b>Figura 50:</b> SVH con relative PRA area ID 174 .....	81

**Figura 51:** confronto SVH a TR100 tra area test e PRA di riferimento stazione “Monti Alti di Ornella” .....83

**Figura 52:** confronto SVH a TR100 tra area test e PRA di riferimento stazione “Col dei Baldi” ...83

## Riassunto

Da decenni le valanghe di neve sono oggetto di studio a causa della loro imprevedibilità e pericolosità. I fattori e le dinamiche inerenti ad esse sono oggetto di studio e monitoraggio per garantire un adeguato livello di protezione alle infrastrutture e cittadini dell'ambiente montano. Tra questi, gli effetti protettivi che il bosco esercita sulle precipitazioni ed il manto nevoso, può rappresentare una componente fondamentale per la mitigazione da fenomeni valanghivi.

Il bosco si presenta come ecosistema che può essere colpito ciclicamente da disturbi o alterazioni dovute ad elementi biotici ed abiotici. In particolare, uno dei fattori che maggiormente altera l'equilibrio di questi ecosistemi deriva dalle tempeste da vento. La tempesta Vaia che a fine ottobre del 2018 ha colpito il nordest Italia ha danneggiato ingenti superfici forestali, causando l'abbattimento di intere aree boscate, con la conseguente alterazione degli equilibri degli ecosistemi. Le aree boscate interessate dall'evento riportano legname abbattuto e distribuito eterogeneamente.

Secondo differenti studi la presenza della biomassa a terra nelle aree colpite da tempeste ricopre un ruolo fondamentale per l'ancoraggio della neve accumulata al suolo. I singoli fusti distribuiti eterogeneamente nelle aree, infatti, creano una superficie rugosa e frastagliata, diminuendo le possibilità di distacco degli strati di neve più deboli nei punti più esposti ai fattori topografici di innesco. Tuttavia la completa copertura del legname a terra dovuto alle precipitazioni nevose, favorirebbe le condizioni di innesco che il bosco in piedi in condizioni pre-disturbo non permetterebbe.

Il presente studio è atto a fornire informazioni inerenti all'importanza della biomassa a terra nella protezione dal rischio valanghivo basandosi sull'analisi di aree studio colpite dalla tempesta Vaia, per quanto concerne la possibilità di innesco di valanghe in funzione dell'altezza della neve al suolo. Le precipitazioni nevose vengono analizzate sulla base dei dati storici di altezza del manto, forniti da due stazioni nivometriche di riferimento nell'alto agordino in provincia di Belluno. Le aree test colpite da Vaia selezionate per l'analisi sono state identificate sulla somiglianza delle condizioni nivologiche rispetto alle stazioni meteo di riferimento. Per ogni area sono state individuate le aree possibili di distacco, ricavate tramite i fattori topografici ritenuti favorevoli all'innesco valanghivo. Il volume di neve capace di immagazzinare ogni singola area, atto a creare le condizioni di innesco valanghivo, è stato ricavato tramite un apposito algoritmo.

I dati storici delle stazioni sono stati analizzati tramite analisi statistica degli estremi (distribuzione di Gumbel), nei giorni di fine febbraio, per la ricerca di tendenza del valore di altezza di neve cumulata a fine stagione rispetto a un determinato tempo di ritorno. Per la simulazione delle possibili nevicate post stagione, è stato ricavato il valore del DH3gg dai medesimi dati storici nei mesi successivi a marzo.



I valori ricavati tramite le analisi dei dati storici sono stati regolarizzati mediante una correzione di quota, necessaria per la validazione del dato.

Il confronto tra la capacità in volume delle aree test colpite dall'evento e dati storici ricavati, hanno fornito gli scenari di possibile distacco, nelle aree più probabili di innesco (PRA).

I risultati hanno definito improbabile la possibilità di distacco nelle aree test selezionate a causa del legname a terra. Il medesimo risultato è apparso per le singole PRA all'interno delle aree test. La differenza di valore della capacità di volume immagazzinabile tra le aree test e le PRA di riferimento ha evidenziato una marcata differenza in alcuni casi.

Come conclusioni lo studio ha evidenziato l'importanza della funzione protettiva esercitata dalla biomassa a terra nei confronti del rischio valanghivo nelle aree studiate, in particolare per il tempo di ritorno maggiore ( $T_r$  100 anni). Inoltre l'analisi effettuata sulle singole PRA compensa l'approssimazione del dato di volume immagazzinato calcolato sull'intera area. Il dato, infatti, riporta un valore affidabile relativo alla singola area di possibile distacco.

## Abstract

Snow avalanches have been studied for decades due to their unpredictability and danger. The influencing factors and dynamic of such events have studied and monitored to ensure an adequate level of protection for the infrastructure and citizens of mountain areas. Among these, the protective effects that the forest exerts on snowfall and snow cover can represent a fundamental component in decreasing the hazard level of avalanche events.

Forests are ecosystems that can be cyclically affected by disturbances or alterations due to biotic and abiotic circumstances. One of these factors are windstorm events. The Vaia storm that hit north-eastern Italy at the end of October 2018 damaged large areas of forest, causing the felling of entire wooded areas, with the consequent alteration of ecosystem balances. Forests affected by the event reported heterogeneous distribution of the felled trees.

According to various studies, the presence of biomass on the ground in storm-affected areas plays a fundamental role in anchoring the snow on the ground. The stems distributed heterogeneously in the areas, create a rough and jagged surface, decreasing the chances of detachment along the weak layers within the snow cover at the points most exposed to topographic triggering factors. However, the complete covering of the wood on the ground due to snowfall would favour trigger conditions that the standing forest in pre-disturbance conditions would not allow.

The present study aims to provide information on the role of ground biomass in avalanche hazard assessment based on the analysis of study areas affected by storm Vaia, regarding the possibility of avalanche triggering as a function of cumulated snow depth.

Snow height data are analysed based on historical measurements recorded by two meteorological stations located in the upper Agordino area, province of Belluno. The Vaia-affected test areas selected for the analysis were identified on the similarity of snow conditions to the selected weather stations. For each area, the possible areas of detachment were identified considering the topographical factors favourable to avalanche triggering.

The volume of snow capable of storing each area, able to smooth the rough surface, was derived by means of a special algorithm.

The historical station data were analysed by means of statistical analysis of the extremes (Gumbel distribution), in the days at the end of February, to search for trends in the value of cumulative snow height at the end of the season with respect to a given return time. For the simulation of possible post-season snowfall, the DH3gg value was derived from the same historical data in the months following March.

The values obtained through the analysis of the historical data were regularised by means of an altitude correction, which was necessary due to the elevation difference between the weather station and the study areas.

The comparison between the volume capacity of the test areas affected by the storm and the historical data obtained provided the scenarios of possible detachment in the areas most likely to be triggered. The results defined the possibility of detachment in the selected test areas as unlikely due to the presence of trees on the ground. The same result appeared for the individual PRAs within the test areas. The difference in value of the storable volume capacity between the test areas and the reference PRAs showed a marked difference in some cases.

As a conclusion, the study highlights the importance of the protective function provided by the biomass on the ground in decreasing the triggering likelihood of snow avalanches for the longer return period ( $T_r$  100 years). Furthermore, the analysis carried out on the single PRA compensates for the approximation of the stored volume data calculated on the entire area. The data, in fact, shows a reliable value relating to the single area of possible detachment.

# 1. Introduzione

## 1.1 Le valanghe

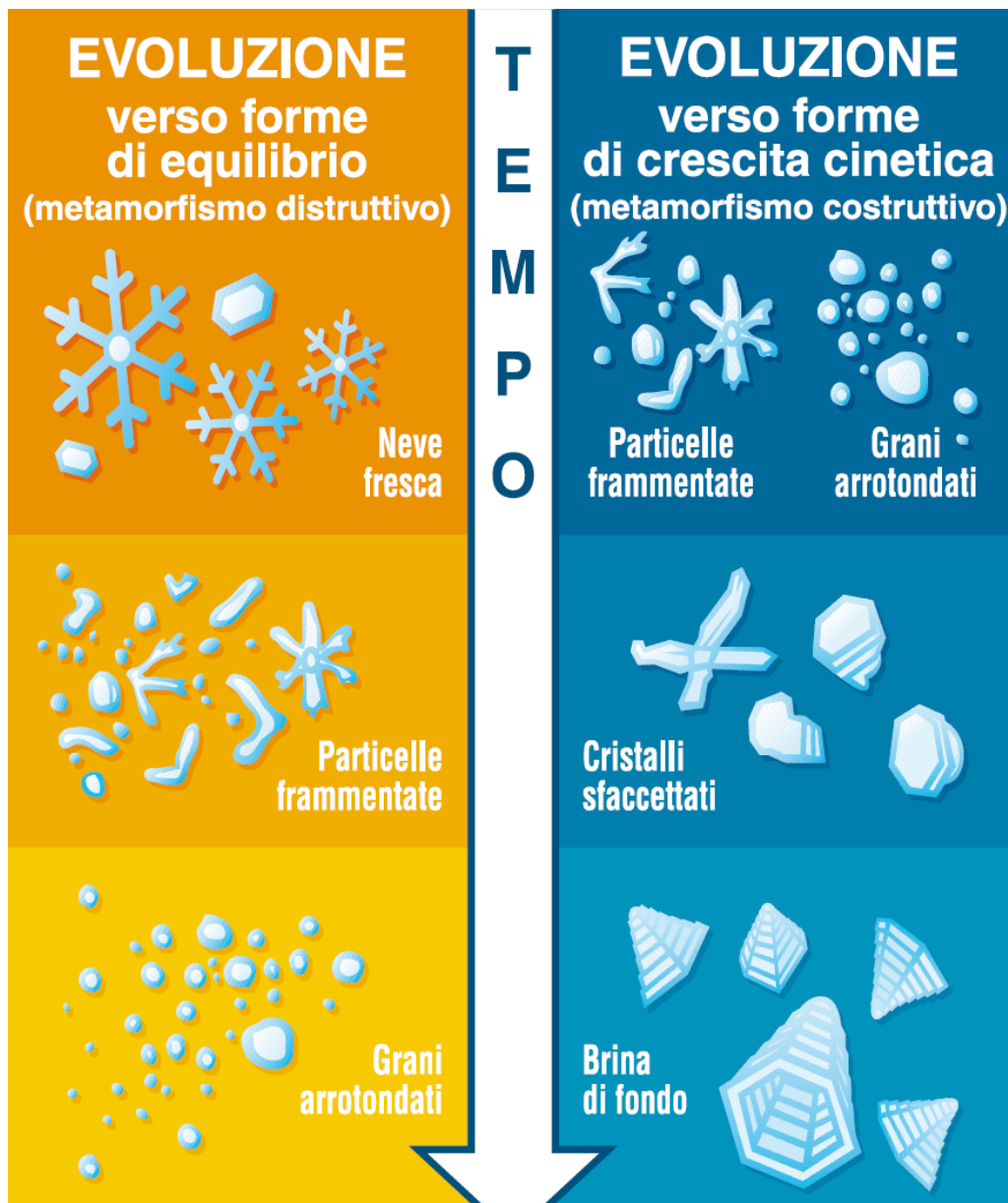
Secondo la fonte AINEVA (Associazione Interregionale di coordinamento e documentazione per i problemi inerenti a Neve e Valanghe), per valanga, si intende una massa di neve in movimento lungo un pendio, piccola o grande che sia. Essa è un movimento rapido di una massa nevosa, con un volume superiore a  $100 \text{ m}^3$  e una lunghezza maggiore di 50 metri (Berretti et al., 2006).

Da decenni vengono effettuati studi sulle valanghe a causa della loro pericolosità in luoghi antropizzati. Il rischio derivante da esse ha condotto le regioni e le provincie autonome a emanare leggi e regolamenti al fine di prevenire le conseguenze di tali fenomeni sul territorio montano.

La genesi delle valanghe di neve è strettamente connessa alla tipologia della neve presente al suolo. Infatti i fiocchi di neve che si depositano al suolo successivamente ai fenomeni di precipitazione non rimangono sempre uguali, ma nel tempo questi sono soggetti a trasformazioni, detti metamorfismi (Praolini et al., 2005):

- Temperature dell'aria prossime allo  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  mantengono temperature simili all'interno del manto nevoso, favorendo l'arrotondamento dei cristalli e l'assestamento della neve. Questo processo viene chiamato metamorfismo distruttivo;
- Valori elevati di gradiente termico del manto (differenza di temperatura tra gli strati dello strato di neve) favoriscono la costruzione di cristalli sfaccettati o a calice negli strati basali o intermedi. Questa situazione viene definita metamorfismo costruttivo;
- L'irraggiamento del sole, il vento ed altri fattori, comportano la fusione e la ridisposizione dei grani e dei cristalli del manto, dando origine al metamorfismo da fusione.

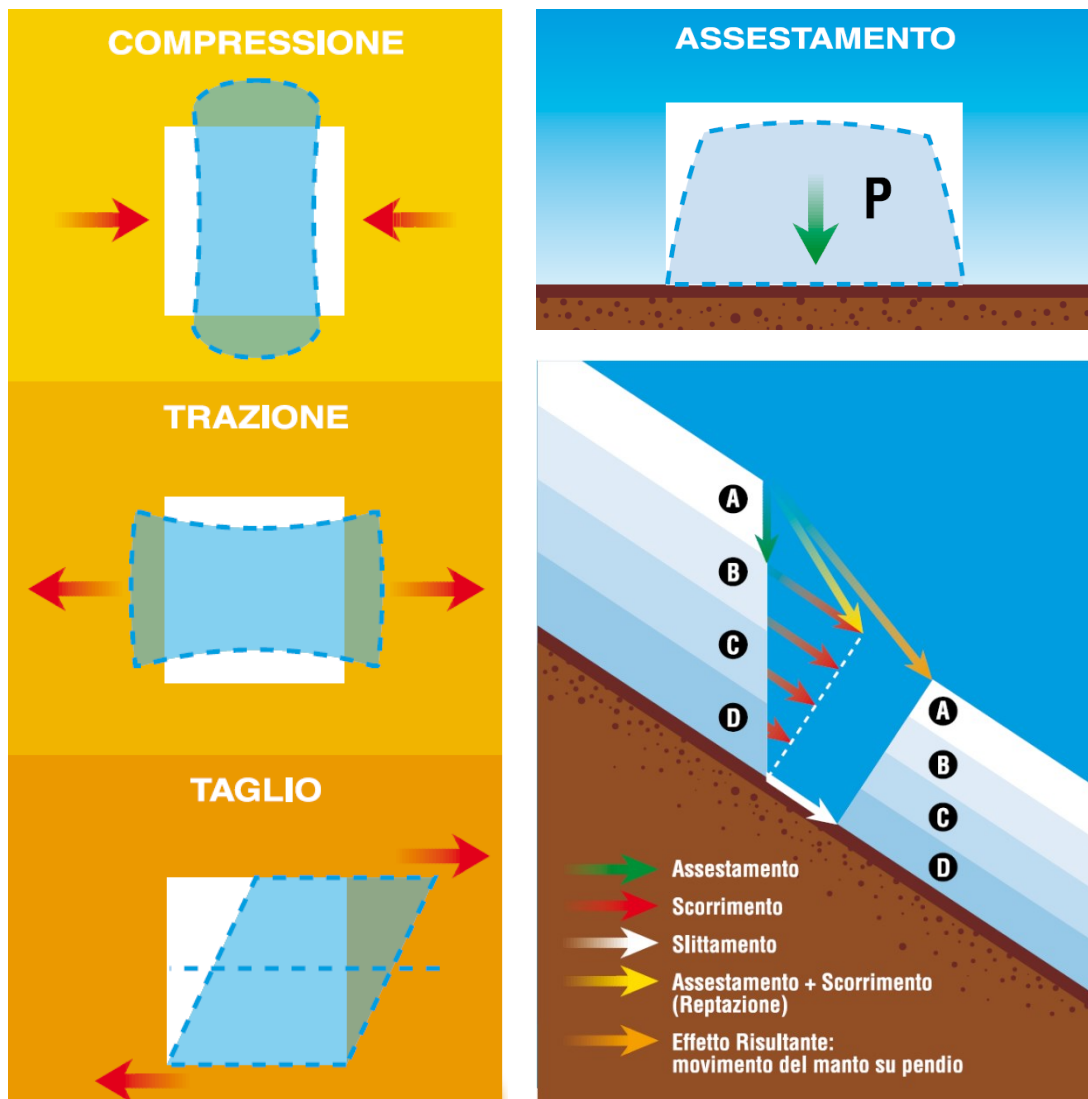
In figura 1 è possibile osservare l'evoluzione nella forma dei cristalli di neve al suolo.



*Figura 1: schema metamorfismo neve al suolo (fonte: D'Agostino, 2021)*

Il manto nevoso al suolo è soggetto a differenti sollecitazioni, tra le quali troviamo compressione, trazione e taglio. Tra queste, la compressione risulta essere ben sopportata dal manto nevoso, al contrario di trazione e taglio. Difatti la neve al suolo “subisce” il suo stesso peso, creando nel tempo il fenomeno dell’assestamento, ovvero un abbassamento per compattazione del manto.

Oltre all’assestamento, vi sono le dinamiche dello scorrimento e scivolamento dovuti principalmente all’effetto della pendenza del suolo (figura 2). La destabilizzazione del manto nevoso è ciò che può provocare i fenomeni di innesco valanghivo. La rottura della struttura nel caso della neve al suolo, in concomitanza con diversi fattori, comporta la dinamica della valanga. Per tal motivo la perimetrazione e studio della neve al suolo risultano fondamentali in quest’ambito (Barbolini et al., 2005).



*Figura 2: a sinistra le sollecitazioni sul manto nevoso, in alto a destra la deformazione per assestamento e in basso a destra i movimenti del manto nevoso (fonte: Praolini et al., 2005)*

In ogni fenomeno valanghivo è genericamente possibile riconoscere tre differenti zone:

- Zona di distacco: ove si origina il fenomeno. Genericamente è individuabile vicino a creste e dorsali. Queste zone si trovano solitamente al di sopra del limite della vegetazione forestale, oppure in luoghi dove la neve, a causa del trasporto eolico, si accumula
- Zona di scorrimento: è l'area compresa tra la zona di distacco e quella di arresto, punto in cui la valanga raggiunge la sua massima velocità. La causa di questa dinamica è dovuta alla presenza di forti pendenze o dalla quasi assenza di vegetazione arborea dovuta al susseguirsi di fenomeni valanghivi che ne impediscono la crescita;
- Zone di accumulo: area ove la massa nevosa progressivamente rallenta fino a fermarsi ed accumularsi. In genere si verifica a causa della diminuzione della pendenza per il raggiungimento di un ripiano, un fondovalle o il versante opposto di una vallata.

Nella figura 3 si può osservare uno schema delle tre differenti zone.



*Figura 3: individuazione zone di una valanga (fonte: Barbera et al., 2012)*

### **1.1.1 Fattori d’Innesco**

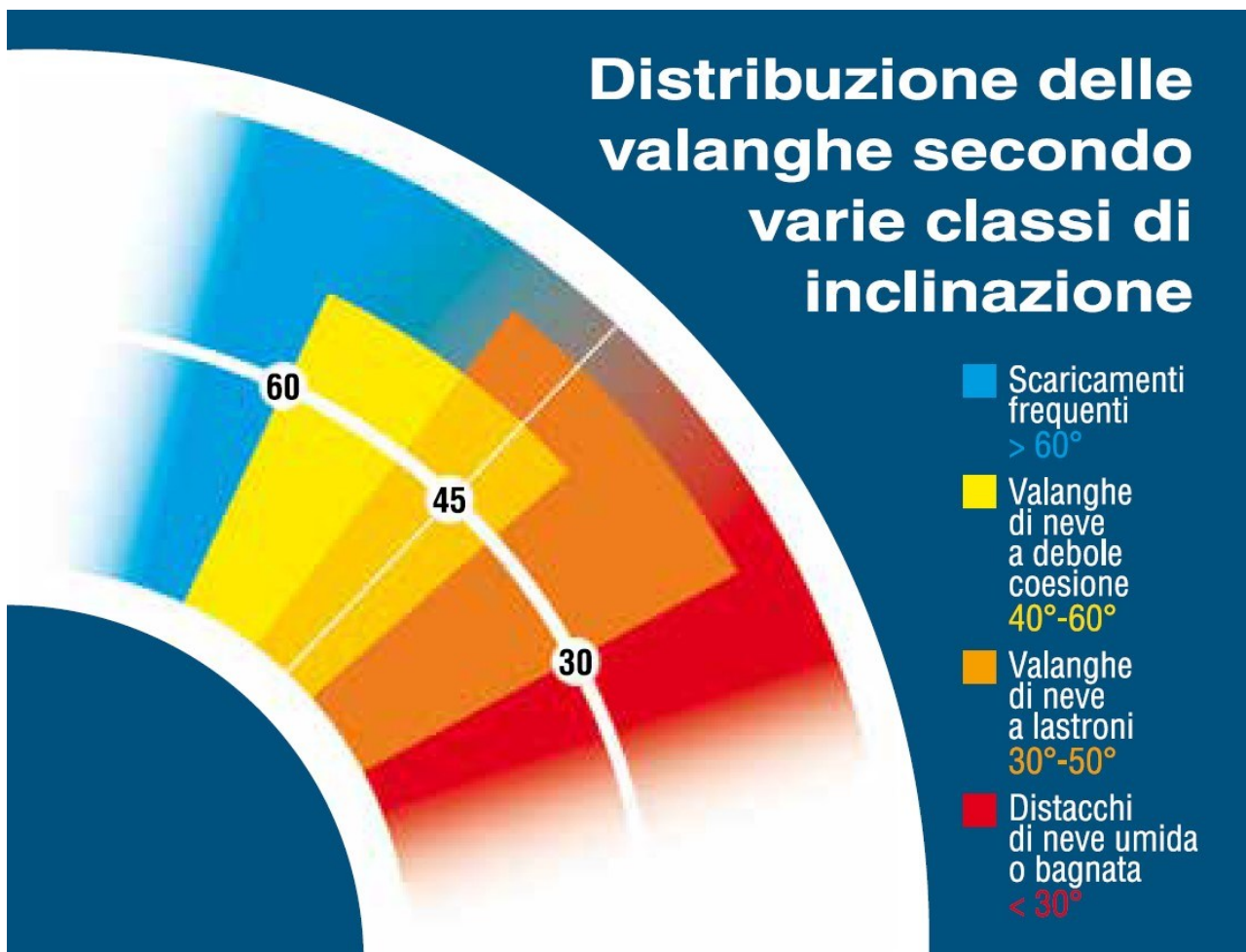
Esistono diversi fattori che causano l’innesco delle valanghe. I più comuni risultano essere la morfologia del terreno, la quota, la copertura vegetale ed il sovraccarico esterno.

La morfologia determina un forte impatto sulla possibilità di innesco e distacco valanghivo a partire dalla pendenza. Questa risulta essere la principale causa di distacco. Il fattore principale della pendenza è l’angolo di attrito statico, ovvero quell’angolo di attrito che permette al manto di rimanere stabile sul pendio. Esso dipende dalla temperatura, dall’umidità e dalla struttura della massa nevosa (figura 4). Per quanto riguarda la pendenza si possono distinguere tre classi influenti il distacco del manto nevoso

- Pendenza  $< 30^\circ$ : valanghe rare e in genere poco pericolose;
- Pendenza  $> 45^\circ$ : valanghe rare per mancato accumulo di neve;
- Pendenza  $30^\circ - 45^\circ$ : pendenza favorevole allo sviluppo delle valanghe.

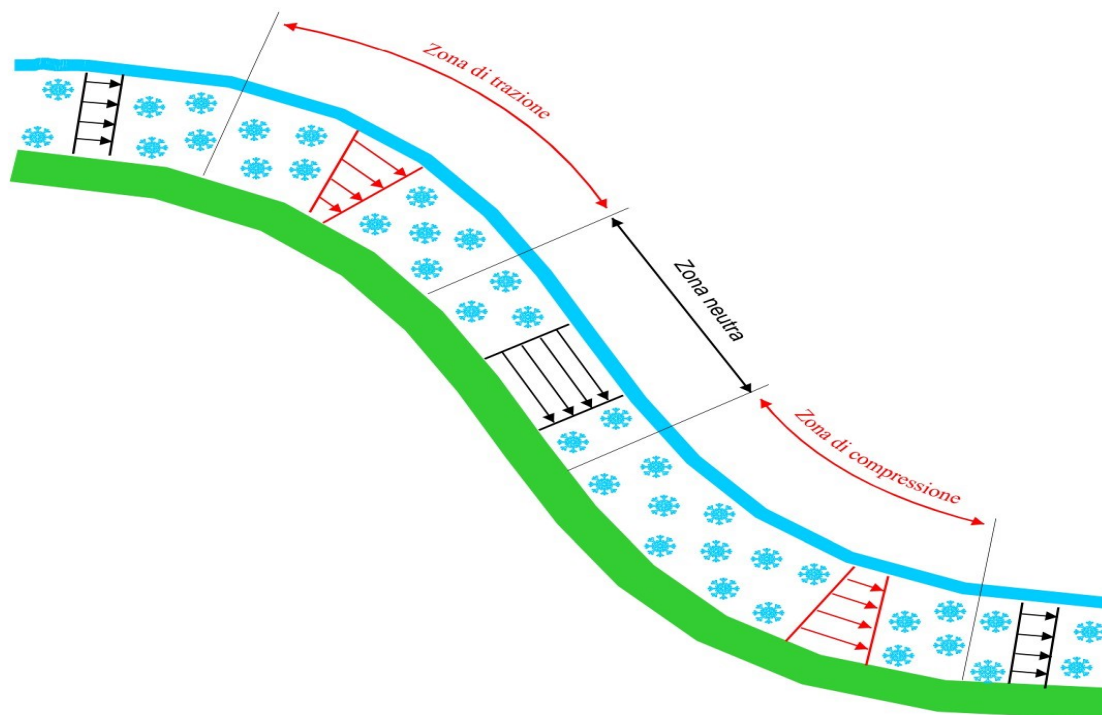
- La pendenza non influisce solo direttamente creando un piano inclinato utile al movimento della massa nevosa, ma anche indirettamente creando punti di trazione e compressione che, in base alla coesione del manto nevoso, rendono più o meno difficile il distacco (figura 5). Improvvisi aumenti di pendenza verso valle con curvature (convessità del terreno), causano trazione all'interno del manto tali da permettere la rottura del manto e la compromissione della sua stabilità. Diminuzioni improvvise della pendenza comportano un punto di compressione del manto, con conseguente maggior stabilità e coesione dei grani di neve.

Un altro fattore di innesco che agisce sulla stabilità del manto nevoso è la copertura del suolo. Questo si può definire come rugosità del terreno. Infatti, Pendii lisci di erba favoriscono lo slittamento rispetto pendii di roccia, ove proprio quest'ultimo favorisce l'ancoraggio del manto nevoso al suolo, modificando l'angolo di attrito statico.



*Figura 4: distribuzione valanghe secondo le diverse classi di inclinazione del terreno (fonte: Praolini et al., 2005)*





**Figura 5:** schema trazione e compressione su cambi di pendenza (fonte: D'Agostino, 2021)

Per lo stesso principio di trazione e coesione della neve, i punti che creano discontinuità all'interno dello strato di neve creano instabilità nella struttura dello stesso. Questo favorisce la rottura della struttura nevosa e facilita il distacco della valanga. Un esempio di discontinuità può essere la presenza di un arbusto o un albero solitario all'interno di una radura.

Anche la quota ha una funzione particolare in quanto strettamente correlata alle temperature, al quantitativo di neve e alla presenza di vegetazione arborea:

- Quota < 1800 – 2000 m s.l.m. valanghe rare per la presenza del bosco (salvo la presenza di radure);
- Quota > 3000 m s.l.m. valanghe rare per la presenza di pendii ripidi che limitano l'accumulo della neve;
- Quota compresa tra i 2000 e i 3000 m s.l.m. è l'intervallo di quota nel quale avvengono più comunemente i distacchi.

L'esposizione gioca un ulteriore ruolo nell'innescare valanghivo. Essa è correlata all'irraggiamento solare e quindi alla modificazione del manto nevoso a causa della temperatura. I versanti esposti a nord risultano essere quelli più soggetti a distacco valanghivo.

Infine, vi sono i fattori di sovraccarico esterno che aumentano il peso sullo strato di neve o creano uno sforzo di trazione o taglio su di esso. Il sovraccarico può essere causato dal peso della neve stessa

a causa di un'ulteriore nevicata, dalla caduta di un cornicione di neve o dal passaggio di uno sciatore (Lingua, 2021). Il taglio o la trazione sono in genere attribuibili alle dinamiche di metamorfismo della neve al suolo.

### **1.1.2 Classificazione**

La classificazione delle valanghe è da sempre uno degli aspetti più difficili da espletare. Questo è dovuto alle notevoli variabili che entrano in gioco durante un singolo evento valanghivo. Per questo motivo, esistono differenti classificazioni in funzione della variabile che si va ad analizzare:

- **Tipologia di distacco:**
  - Distacco puntiforme: esso si genera in un unico punto, generando una valanga a debole coesione;
  - Distacco lineare: il distacco si genera lungo una linea, spesso ortogonale al pendio, dando origine ad una valanga a lastroni.
- **Posizione della superficie di slittamento:**
  - Il piano di scivolamento è all'interno del manto nevoso, generando una valanga che non coinvolge l'intera altezza della neve a terra. Per tale motivo questa tipologia viene detta valanga di "superficie". Questa situazione è riscontrabile in situazioni in cui vi sia una marcata differenza tra le caratteristiche fisiche e meccaniche che compongono gli strati della neve al suolo;
  - il piano di slittamento è rappresentato dal terreno: la valanga coinvolge l'intero spessore di neve fino al suolo, creando una valanga che viene detta di "fondo". Questa situazione è associabile ai pendii lisci o dove vi è la formazione della brina di fondo.
- **Umidità della neve:**
  - Valanghe di neve umida o bagnata: sono valanghe che contengono acqua allo stato liquido a causa dello scioglimento della neve o per precipitazioni liquide all'interno del manto.
  - Valanghe di neve asciutta: sono dovute alle basse temperature che impediscono il metamorfismo della neve al suolo, con conseguente minor assestamento e coesione del manto. Queste possono sviluppare una componente polverosa o nubiforme.
- **Forma del percorso:**
  - Valanghe incanalate: valanghe che si sviluppano all'interno di un canale o di una gola;
  - Valanghe di versante: quando si sviluppano su un pendio aperto.
- **Tipo di movimento:**

- Valanga radente: valanga che avviene a stretto contatto con la superficie;
- Valanga nubiforme: quando a causa della pendenza e della velocità, la valanga (in genere asciutta) ingloba aria procedendo a velocità elevata come una “nuvola”.
- Valanga mista: possiede entrambi i moti sopra descritti.
- **Causa innescante:** si differenziano solo per la spontaneità dei fattori naturali (valanghe spontanee) o per l’azione umana (valanghe provocate). Le valanghe provocate, possono essere involontarie (uno sciatore su un pendio) o volute (per motivi di sicurezza).

### 1.1.3 La funzione delle foreste su neve e valanghe

La presenza di una copertura forestale esercita una significativa influenza sulle caratteristiche fisiche del manto nevoso sottostante (Letey et al., 2008). La principale è la diminuzione dell’altezza del manto nevoso al suolo tramite l’intercettazione delle chiome. Lo studio effettuato da Pomeroy e Brun nel 2001 ha stimato valori di intercettazione pari al 70 % per le precipitazioni intense e 30% di intercettazione per eventi a debole intensità.

L’efficienza di intercettazione delle chiome è rappresentata dal rapporto tra la quantità di neve caduta intercettata e l’intera precipitazione ed è legata a tre processi (Lingua, 2021):

- Elastic rebound, ovvero il rimbalzo dei cristalli di neve sulla chioma o sulla neve già trattenuta dalla chioma stessa;
- Branch bending, definito come il grado di curvatura dei rami sotto il carico della neve. All’aumentare del carico si riduce progressivamente la superficie orizzontale e quindi il grado di intercettazione. Per tal motivo la massima efficienza si registra all’inizio della nevicata;
- Strength, ovvero il grado di compattezza del manto nevoso sulla chioma. Un’elevata compattezza aumenta il periodo di permanenza del manto nevoso sulla chioma stessa e, di conseguenza, un aumento del grado di intercettazione.

La neve intercettata dalle chiome è fortemente soggetta a sublimazione, con valori che si aggirano intorno a 0,7 mm di SWE (Snow Water Equivalent) al giorno (Freppaz et al., 2008).

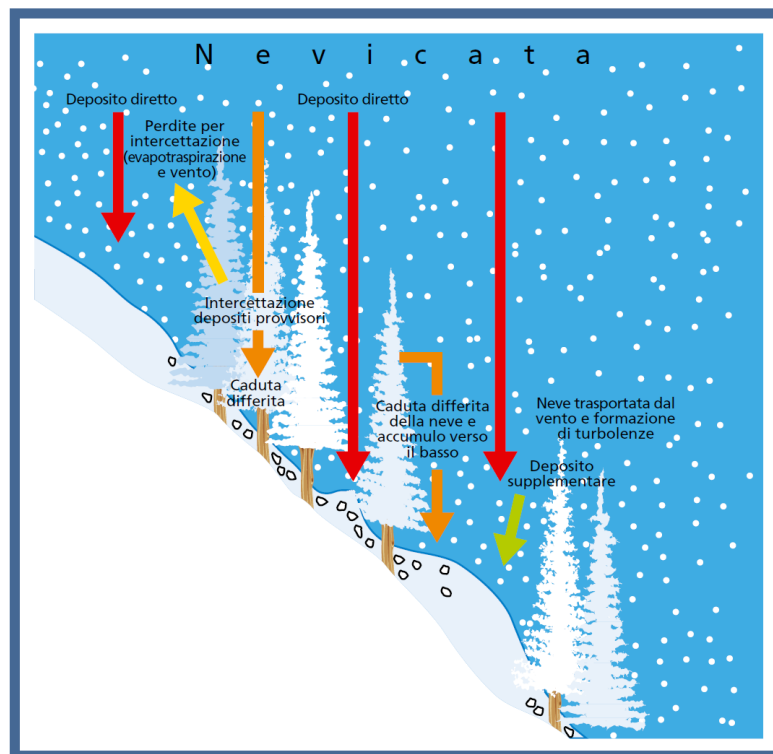
La presenza di copertura arborea determina un effetto mitigatore nei confronti della temperatura dell’aria libera. Infatti, vi sono minori gradienti termici del manto nevoso, con la prevalenza di cristalli arrotondati e ridotta presenza di cristalli sfaccettati, rispetto alle superfici non boscate.

Il vento è un fattore determinante per la distribuzione della neve al suolo. In corrispondenza di radure presenti all’interno della superficie boscata, esso può subire violente accelerazioni ed assumere moti turbolenti provocando accumuli importanti. Tuttavia, il rimaneggiamento del manto nevoso ad opera

del vento in foresta è in genere ridotto. In figura 6 è illustrato lo schema dell'influenza delle specie arboree.

In sintesi, i fattori che ostacolano la formazione di valanghe in bosco sono i seguenti:

- Il manto nevoso, in foresta ha uno spessore inferiore rispetto a quanto avviene nel terreno privo di vegetazione arborea;
- Irraggiamento solare, in foresta risulta minore, per lo più in boschi di conifere a foglia persistente. Per questo motivo il riscaldamento del manto è meno pronunciato di giorno e il raffreddamento è minore durante la notte;
- La velocità del vento nelle foreste è inferiore, pertanto anche l'accumulo sarà limitato;
- I tronchi e le ceppaie.



**Figura 6:** schema deposito neve con presenza di specie arboree (fonte: Letey et al., 2008)

Lo scivolamento della neve al di sotto delle coperture vegetali è quasi impercettibile, poiché la rugosità del terreno è generalmente superiore rispetto al suolo nudo, anche per la presenza di ceppaie o necromassa, capaci di contribuire positivamente all'ancoraggio e alla stabilità del manto nevoso. Anche la componente arbustiva può rivelare un, seppur limitato, potere stabilizzante ma ciò si esaurisce del tutto qualora la sua altezza venga superata dall'altezza della copertura nevosa (Letey et al., 2008). Infatti, questa condizione comporta la formazione di condense in corrispondenza delle

sacche d'aria che si originano tra neve e suolo, con la conseguente formazione di brina di fondo e metamorfismo costruttivo.

Nei pendii boscati, il distacco delle valanghe è in genere limitato a pendenze superiori ai 30° e alle caratteristiche della copertura forestale nella zona di distacco (Schneebeil and Bebi, 2004). Questa funzione è determinata dalle caratteristiche di copertura, struttura e composizione specifica del bosco. Nella zona di scorrimento della valanga, invece, la copertura forestale può rallentare e anche fermare valanghe di neve di piccola o al più media dimensione (Teich et al., 2012). È inoltre possibile che nelle zone laterali rispetto al tracciato principale (dette “buffer”) una fascia forestale possa contribuire a limitare l'estensione della superficie interessata alla valanga.

Per i tali motivi, le foreste ricoprono un ruolo fondamentale nella mitigazione del pericolo da valanga, stabilizzando e impedendo il distacco di masse nevose, svolgendo una funzione protettiva di tipo attiva. Le foreste di protezione sono quelle aree dei versanti in cui l'assenza della copertura forestale porterebbe all'instaurarsi di moti valanghivi. In Italia si è utilizzato il termine “foresta di protezione” per tutte quelle foreste che non svolgono una prioritaria funzione produttiva (Roberta Berretti et al., 2006). Ad oggi sono considerate le aree boscate che offrono una protezione diretta, generica o indiretta. La protezione diretta è quella che svolge nei confronti di pericoli naturali (valanghe, frane etc.), mentre quella generica o indiretta è atta alla conservazione del suolo dall'erosione diffusa o incanalata. In tabella 1 è possibile osservare le esigenze forestali per le valanghe.

**Tabella 1:** valanghe in bosco: esigenze di stabilità (fonte: Berretti et al., 2006)

ZONE	PARAMETRI	ESIGENZE MINIME	ESIGENZE IDEALI
Zona di scivolamento	Composizione (in funzione della pendenza)	La tabella prende in considerazione: <ul style="list-style-type: none"> <li>- I Lariceti a partire da 30° (58%) di pendenza;</li> <li>- Le foreste di conifere ad aghi persistenti a partire da 35° (70%) di pendenza;</li> <li>- Le foreste di latifoglie e miste (con conifere) del piano montano superiore e inferiore a partire da 35° (70%) di pendenza;</li> </ul>	
	Densità	N° piante/ha	Ø < 8 cm <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pendenza tra 30° (58%) e 40° (84%): almeno 500 piante/ha</li> <li>- Pendenze &gt;40 (84%): almeno 1.000 piante/ha *</li> <li>- Rispettando il parametro% di copertura</li> </ul>
		% di copertura	> 50 %

	Struttura	<b>Aperture **</b> (lungo la linea di massima pendenza)	$\geq 30^\circ$ (58%) - < 60 m $\geq 35^\circ$ (70%) - < 50 m $\geq 40^\circ$ (84%) - < 40 m $\geq 45^\circ$ (5100%) - < 30 m	$\geq 30^\circ$ (58%) - < 50 m o 2 altezze d'albero $\geq 35^\circ$ (70%) - < 40 m $\geq 40^\circ$ (84%) - < 30 m $\geq 45^\circ$ (5100%) - < 30 m
			Se la lunghezza delle aperture supera le indicazioni, la larghezza deve essere < 15 m	
	Elementi di stabilità	<b>Ancoraggio</b>	> 80 % piante con buona radicazione evidente	> 90 % piante con buona radicazione evidente
<b>Note:</b>				
* definite al fine di assicurare una struttura paragonabile a quella paravalanghe.				
** aperture: misurate tra le proiezioni delle chiome (esclusi gli stadi giovanili) favorendo la rugosità del terreno sui limiti dei canali di scorrimento nelle aperture e sui limiti di scorrimento delle valanghe, si può ridurre il distacco delle stesse.				
** nel caso in cui la rugosità nelle zone aperte sia sufficiente, si possono utilizzare come riferimento i valori indicati nelle "esigenze minime" anche nella colonna delle "esigenze ideali"				

### 1.1.4 Il rischio valanghivo

In Italia i dati sugli incidenti da valanga sono raccolti da diverse organizzazioni di soccorso e prevenzione. La banca dati più completa è quella messa a disposizione dall' AINEVA che contiene i dati degli incidenti noti dal 1984. Lo studio delle caratteristiche e delle dinamiche degli incidenti da valanga e della loro evoluzione negli ultimi decenni consente di ottenere delle importanti informazioni al fine della prevenzione e della sicurezza (Valt, 2015).

Lo studio delle caratteristiche morfologiche dei distacchi delle valanghe naturali e/o provocate può fornire delle indicazioni sulle caratteristiche regionali delle valanghe molto importanti anche al fine della prevenzione. Per questo motivo risulta fondamentale la mappatura del rischio e del pericolo valanghivo.

Il rischio è la probabilità che si verifichino conseguenze negative derivanti dall'interazione tra la dinamica di eventi naturali e aree antropizzate. Uno dei fondamenti per il calcolo di quest'ultimo è il pericolo. Per pericolo si intende la circostanza o complesso di circostanze da cui si teme che possa derivare un danno (AINEVA).

Di seguito vi è la formula per il calcolo della matrice del rischio:

$$R = H X E X V \quad (1)$$

R = rischio;

H = pericolosità;

E = valore del bene;

V = vulnerabilità.

La matrice delle classi di rischio deriva direttamente da quella delle classi di pericolo qui in seguito riportata come formula:

$$\mathbf{H = Fen \times Tr \times I} \quad (2)$$

H = classe di pericolo;

Fen = fenomeno/processo;

Tr = probabilità di accadimento (indicata come tempo di ritorno);

I = intensità.

Le classi di pericolosità vengono definite tramite delle soglie.

In campo urbanistico, la prevenzione del rischio valanghivo, va attuata per progressivi livelli di approfondimento in relazione alla natura del Piano ed alla sua scala territoriale (Barbolini et al., 2005). Difatti l'attività di prevenzione è funzionale al grado di conoscenza dei fenomeni, ed attuata con approcci diversi in relazione alla disponibilità di dati ed informazioni. Questi derivano da documenti (storici e non) censiti nel catasto valanghe e riportati nella Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe (C.L.P.V.). Questo documento riporta la localizzazione delle valanghe passate in base alle aree individuate a seguito di indagini sul terreno.

In Veneto, le C.L.P.V. riportano i siti valanghivi individuati sia in loco sulla base di testimonianze oculari e/o d'archivio, sia mediante l'analisi dei parametri permanenti che contraddistinguono una zona soggetta a caduta valanghe, desunti dalle fotografie aeree stereoscopiche (Arpav, 2010).

La C.L.P.V. rappresenta un documento informativo di consultazione perché consente di acquisire in maniera immediata e generalizzata le informazioni dei siti valanghivi. Essendo un documento creato in maniera speditiva e vista la mancanza di informazioni a livello previsionale all'interno della carta stessa (utili al recepimento della dinamica e della frequenza di caduta) la C.L.P.V. non può essere considerata come una carta di rischio. In figura 7 è possibile osservare un esempio di C.L.P.V. con legenda.

**ESEMPIO DI CLPV e LEGENDA:**



ARANCIO= da fotointerpretazione VIOLA= da inchiesta

valanghe



zone pericolose



pericolo localizzato



zone presunte pericolose



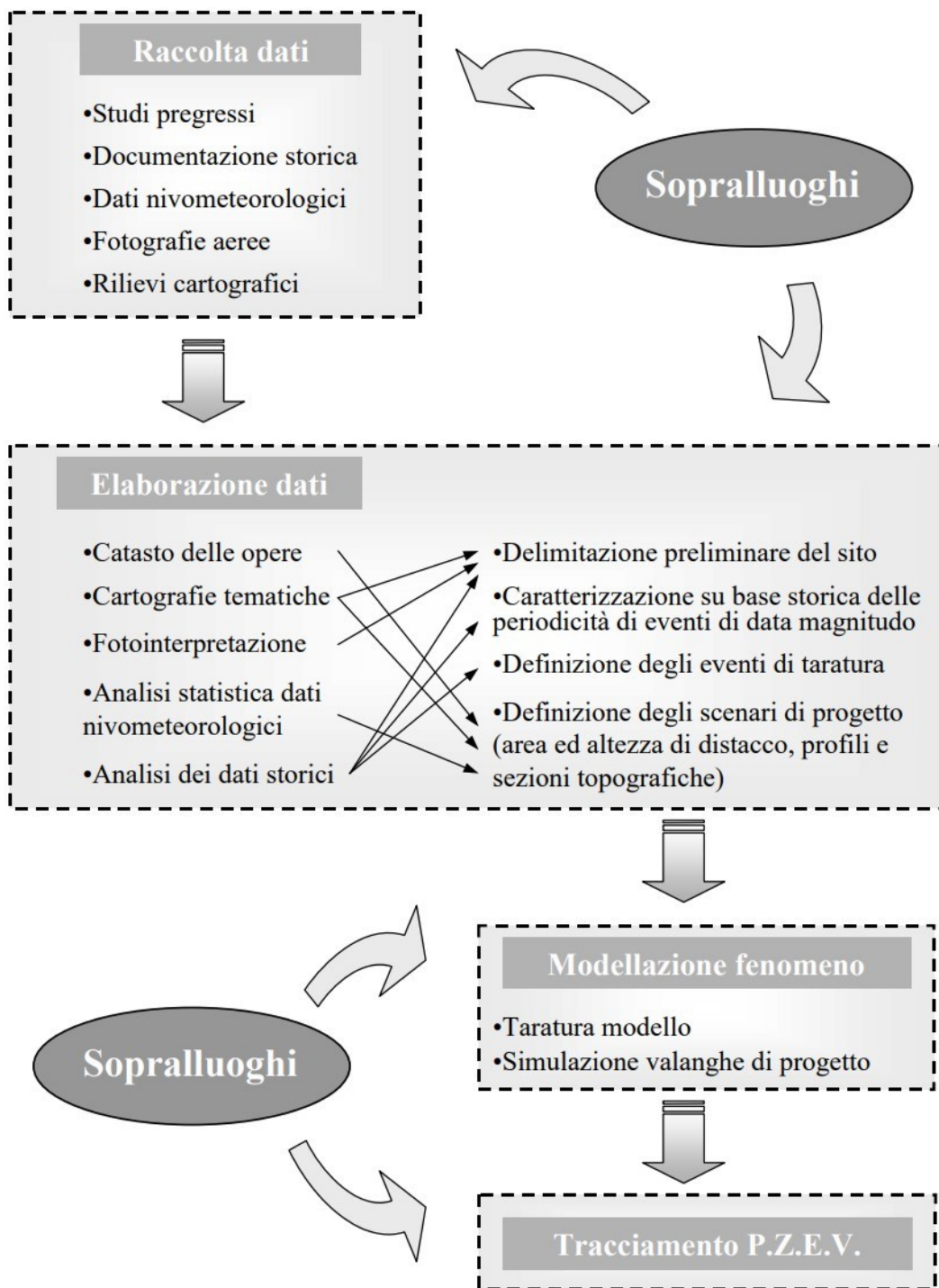
collegamenti di valanghe



*Figura 7: esempio di C.L.P.V. con relativa legenda (fonte: ARPAV, 2010)*

Da quasi un anno, l'A.R.P.A.V. ha messo a disposizione un web-GIS per la consultazione delle valanghe storiche (in riferimento alle C.L.P.V), utile all'identificazione delle aree soggette a rischio. In seguito alle C.L.P.V. vengono redatti i Piani delle Zone Esposte alle Valanghe (P.Z.E.V.). Questi vengono redatti a seguito ad un articolato processo di analisi che concorrono all'identificazione del grado di esposizione al pericolo di aree soggette a caduta valanghe. Questo procedimento è schematizzabile in quattro fasi distinte (figura 8).





**Figura 8:** schema fasi per la redazione delle P.Z.E.V. (fonte: Tecilla, 2007)

Come si può osservare in figura 8, le prime due fasi rappresentano i processi per la redazione delle C.L.P.V. I passaggi successivi derivano dal calcolo tramite modelli e simulazioni per la previsione valanghiva. Per associare un futuro evento valanghivo a un determinato tempo di ritorno (o probabilità di accadimento) è necessario effettuare l'analisi e l'elaborazione statistica dei seguenti dati nivometeorologici:

- Precipitazione nevosa su 3 giorni consecutivi ( $DH_{3gg}$ ), parametro critico per la stima dell'altezza di distacco;
- Altezza di neve al suolo;
- Vento.

È inoltre necessario determinare le altezze di distacco relative ai tempi di ritorno, tramite procedimenti di distribuzione statistica (come Gumbell). I risultati vengono espressi in base ai fattori di pericolosità espressi da delle soglie che la suddividono in classi. Il criterio di AINEVA prende in considerazione tre differenti possibilità:

	<b>Criteri da Normativa</b> (cfr. Parte 1, § 1.2.2.1 ÷ 1.2.2.4)	<b>Criterio pratico per valanghe dense</b>	<b>Criterio pratico per valanghe polverose</b>
<b>ZONA ROSSA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>T=30</math>anni; <math>P \geq 3</math>kPa</li> <li>- <math>T=100</math> anni; <math>P \geq 15</math>kPa</li> </ul>	Il limite della zona rossa può essere fatto coincidere con la distanza di arresto dell'evento trentennale o con la soglia di pressione pari a 15kPa per l'evento centennale	Il limite della zona rossa è dato dalla condizione più conservativa tra la soglia di pressione pari a 3kPa per l'evento trentennale e la soglia di pressione pari a 15kPa per l'evento centennale.
<b>ZONA BLU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>T=30</math>anni; <math>0 \text{ kPa} \leq P &lt; 3 \text{ kPa}</math></li> <li>- <math>T=100</math> anni; <math>3 \text{ kPa} \leq P &lt; 15 \text{ kPa}</math></li> </ul>	Il limite della zona blu può essere fatto coincidere con la distanza di arresto dell'evento centennale	Il limite della zona blu è dato dalla condizione più conservativa tra la soglia di pressione pari a 0,5 kPa per l'evento trentennale e la soglia di pressione pari a 3 kPa per l'evento centennale.
<b>ZONA GIALLA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>T=100</math> anni; <math>0 \text{ kPa} \leq P &lt; 3 \text{ kPa}</math></li> <li>- Aree interessate dall'arresto di eventi valanghivi di natura "eccezionale" (per i quali si può assumere indicativamente, ma non necessariamente, <math>T=300</math>anni)</li> </ul>	Il limite della zona gialla è delimitato con riferimento al limite massimo di espansione di eventi a carattere "eccezionale" (ovvero con tempi di ritorno superiori al secolo, per i quali si può assumere indicativamente, ma non necessariamente, $T=300$ anni); tale limite può essere desunto mediante indagini storiche, aerofotogrammetriche, dendrocronologiche, e più in generale mediante attività di studio ed indagine sul campo che non prevedono necessariamente l'ausilio di modelli di calcolo.	Il limite della zona gialla è dato dalla soglia di pressione pari a 0,5 kPa per l'evento centennale; potranno altresì essere delimitate in giallo anche le zona riconosciute come interessate da danneggiamenti prodotti da valanghe polverose eccezionali (ovvero con tempi di ritorno superiori al secolo, per i quali si può assumere indicativamente, ma non necessariamente, $T=300$ anni)

*Figura 9: criteri di pericolosità di AINEVA (fonte: Barbolini et al., 2005)*

I colori in figura 9 rappresentano il livello di pericolosità elevato (colore rosso), medio (azzurro) e basso (giallo). È possibile notare all'interno della stessa figura, i due parametri che definiscono la pericolosità:

- Il tempo di ritorno di una valanga ( $T$  o  $Tr$ ), ovvero il numero di anni che intercorre, mediamente, tra due eventi valanghivi di uguale magnitudo in grado di interessare una porzione di territorio;
- La pressione della valanga espressa in kilopascal (kPa), ovvero la forza per unità di superficie esercitata dalla valanga su di un ostacolo piatto di grandi dimensioni, disposto perpendicolarmente rispetto all'avanzamento della massa nevosa (Tecilla, G., 2007).

La forza distruttiva delle valanghe, infatti, può creare seri danni o la distruzione completa di opere antropiche o, nel peggiore dei casi, la perdita di vite umane.

Riporta che in tale modo si ottiene una mappatura del pericolo e quindi del rischio. E che inoltre questa deve essere aggiornata in cui le condizioni di innesco mutino (così ti allacci al discorso di Vaia). Uno degli strumenti essenziali per assolvere il compito di prevenzione dei pericoli derivanti dalle valanghe, in particolare durante la stagione invernale, è il bollettino nivometeorologico emesso dalle varie istituzioni locali tramite i propri organi competenti (Barbera et al., 2012). In Italia sono diverse le organizzazioni che pubblicano il bollettino valanghe, seppur con finalità diverse (Chiambretti and Bartoli, 2010). Il bollettino serve a fornire un quadro sintetico sull'innescamento e lo stato del manto nevoso. Nel momento della sua emissione indica il pericolo valanghe in un determinato territorio al momento stesso, insieme a quello atteso per l'immediato futuro, sulla base delle previsioni meteorologiche e dell'evoluzione del manto. Questo sistema è stato creato per contrastare i possibili incidenti derivanti dal distacco di valanghe. Per il comune cittadino, quindi, risulta un documento utile nel prendere decisioni riguardanti l'incolumità propria ed altrui nei confronti del rischio rappresentato dai fenomeni valanghivi.

### **1.1.5 Opere di protezione**

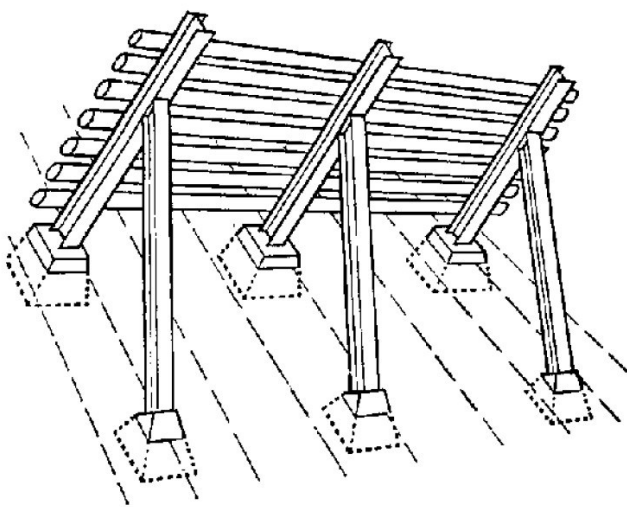
La necessità di salvaguardare i territori ha portato l'uomo alla costruzione di molteplici sistemi di difesa (D'Agostino et al., 2000). Le strutture di difesa dalle valanghe vengono utilizzate laddove non è possibile evitare il distacco, o valanghe da distacco artificiale ("Risques naturels en montagne," 2000).

Le opere di protezione dal rischio valanghivo si suddividono in opere attive e passive (Naaim-Bouvet and Richard, 2015).

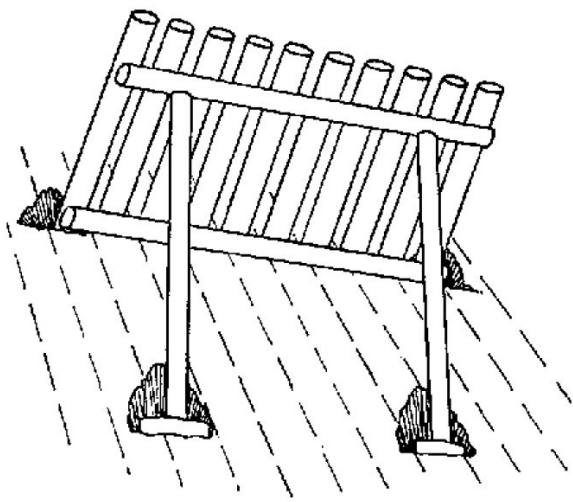
Per le opere attive la mitigazione del rischio viene ottenuta evitando la formazione della valanga (funzione fondamentale del bosco), stabilizzando il manto nevoso nella zona di distacco (Scotton and Moro, 2018). Gli interventi strutturali più importanti e frequentemente applicati nella zona di innesco delle valanghe sono le strutture portanti la neve. Utilizzando diverse tipologie costruttive, il manto

nevoso viene stabilizzato, riducendo notevolmente la probabilità di distacco di valanghe (Rudolf-Miklau et al., 2015). Tra queste le più comuni sono (osservabili in figura 10 e 11):

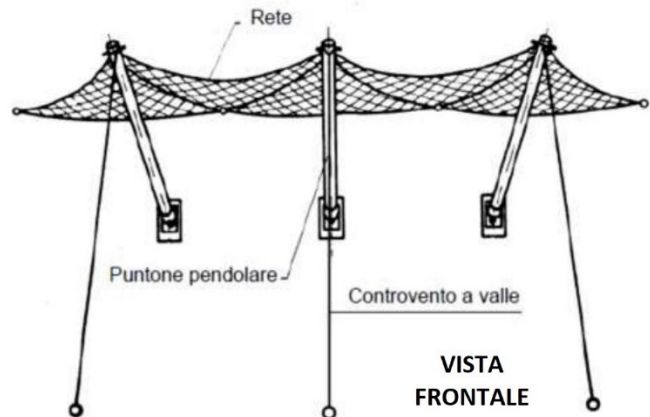
- Ponti da neve;
- Rastrelliere;
- Reti da neve;
- strutture in legno o acciaio (cavalletti/tripodi).



Ponti da neve

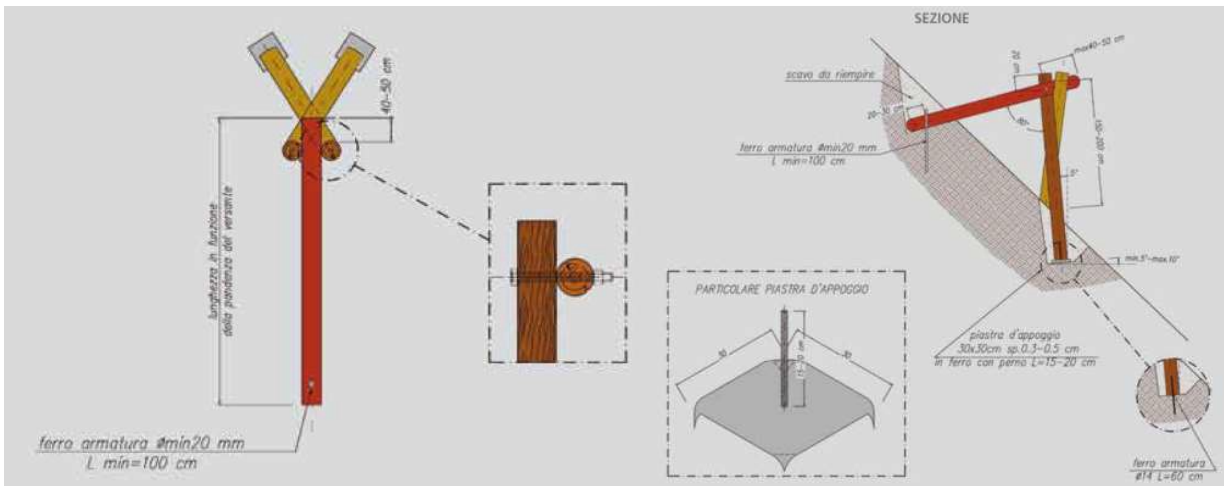


Rastrelliere



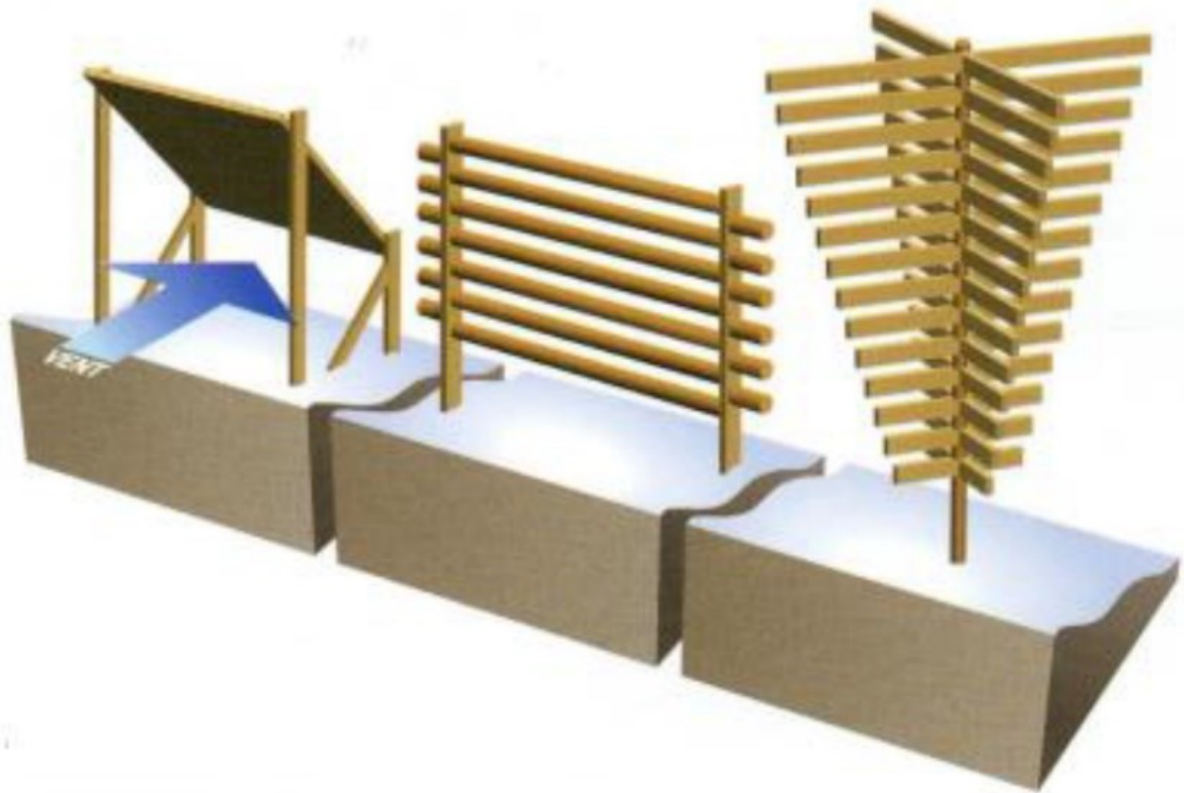
Reti da neve

*Figura 10: alcune opere per la stabilizzazione del manto nevoso (fonte: D'Agostino, 2021; Leuenberger, 1992)*



**Figura 11:** treppiedi/tripodi per ancoraggio manto nevoso (fonte: D'Agostino, 2021)

Le opere di sostegno hanno l'obiettivo di contrastare lo scorrimento ed eventualmente lo slittamento della coltre nevosa, rispetto ad una superficie di sostegno ancorata nel terreno, più o meno perpendicolare al pendio e con un'altezza almeno pari a quella della neve. Questa azione comporta uno sbarramento, e le possibilità di scorrimento e di slittamento si riducono man mano che la neve si avvicina all'ostacolo (Margreth, 2007). In caso di frattura le opere di sostegno impediscono il distacco della vecchia coltre nevosa e limitano la superficie della zona in cui possono propagarsi le fratture di taglio. Per questo le opere di sostegno nella zona di rottura, devono estendersi in larghezza in modo tale da coprire un'intera unità di terreno, appoggiandosi lateralmente a delimitazioni naturali (costoni).



**Figura 12:** opere di difesa dal vento, da sinistra: tetto ad ugello, barriera da neve e girandola (fonte: Naaim-Bouvet and Richard, 2015)

Nelle opere per la difesa attiva, rientrano anche le barriere frangivento e deflettori (figura 12) che modificano il flusso del vento limitando la formazione di cornici in punti particolarmente critici. Infine vanno menzionate le opere di modifica del suolo generalmente come il rimboschimento e la creazione di terrazzamenti che, aumentando la rugosità del suolo, frenano lo slittamento della neve (D'Agostino, 2021).

Le opere passive invece sono quelle che offrono una difesa diretta del bene da proteggere e vengono quindi posizionate immediatamente a monte di quest'ultimo (Provincia autonoma di Bolzano, 2022). L'obiettivo di queste opere è finalizzato al rallentamento, l'arresto o il cambio di direzione della valanga (D'Agostino, 2021). Le opere di deviazione sono sbarramenti disposti in modo parallelo alla direzione prevista della valanga, con lo scopo di impedirne l'estensione e il mutare della direzione del moto (Soranzo and Menegus, 1986). Un esempio sono i muri di deviazione e i cunei frangi valanga, dighe di deviazione, gallerie o By-Pass (figura 13). Le opere di rallentamento invece riducono la distanza di arresto delle valanghe radenti, aumentando l'attrito superficiale e modificandone le caratteristiche di scorrimento (Mears, 1989).



**Figura 13:** opere di deviazione della valanga. A sinistra schema funzionamento diga di deviazione (fonte: Mears, 1989), in centro foto di un cuneo frangi valanga e a destra foto di un By-Pass (fonte: D'Agostino, 2021).

Infine, vi sono i metodi di distacco controllato. Questi prevedono il distacco artificiale (in genere tramite esplosivi) per generare piccole valanghe controllate all'interno dell'area a rischio (Moro, 2009).

## 1.2 Le tempeste di vento

Da diversi anni ormai grazie a studi e prove scientifiche, sono stati appurati i cambiamenti climatici per il nostro pianeta, con effetti diretti sugli eventi meteorologici a scala globale e regionale (Rianna et al., 2016; Stocker et al., 2013). La magnitudo e la frequenza di eventi meteorologici di forte intensità stanno infatti cambiando a causa di essi (Seidl et al., 2017). Di conseguenza gli impatti sulle comunità naturali risulteranno sempre più gravi nella zona alpina e i relativi effetti ecologici, diventeranno sempre più comuni (Paine et al., 1998).

In particolare, i danni causati dal vento agli ecosistemi forestali stanno aumentando nel continente europeo, anche a latitudini che fino a qualche decennio erano interessate solo in maniera marginale da questi eventi (Gardiner et al., 2020; Motta et al., 2018).

## 1.3 Zone di bosco schiantato e rischio valanghivo

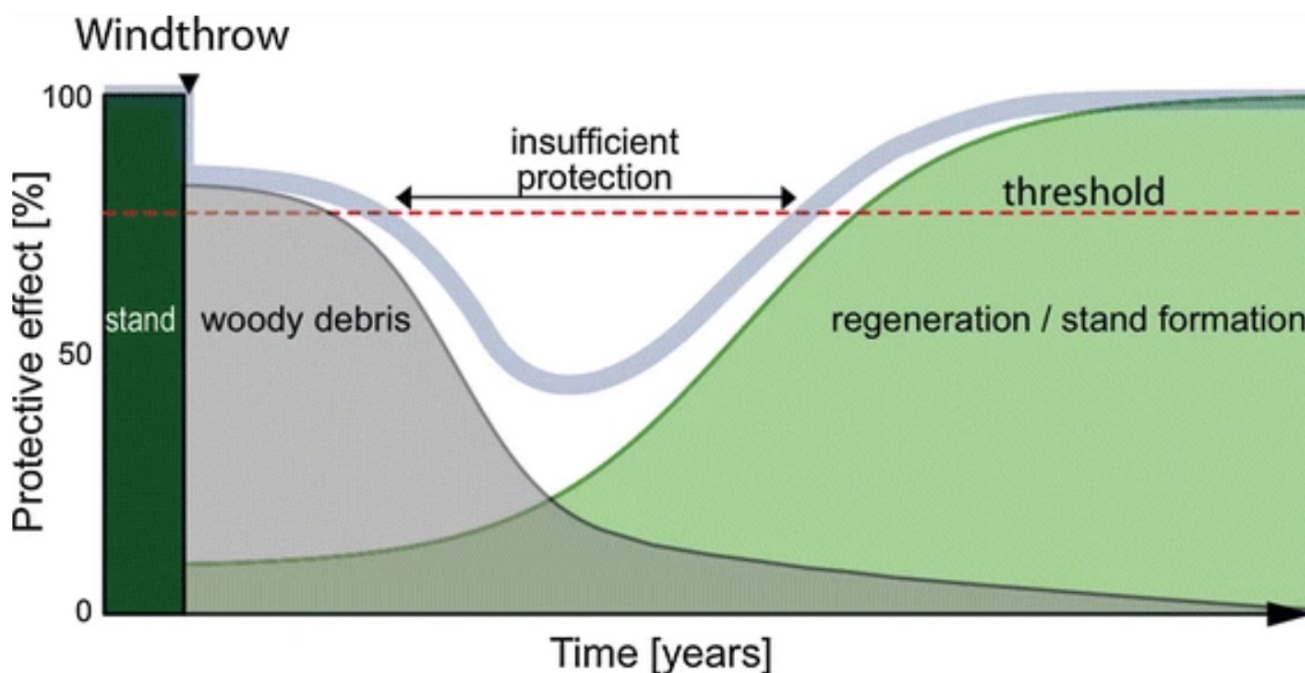
Quando un sistema forestale subisce un disturbo, la sua funzione protettiva diminuisce o viene annullata in base alla magnitudo del disturbo (Berger and Rey, 2004). Con l'alterazione della copertura forestale pericoli naturali come valanghe, frane e caduta massi possono diventare frequenti in zone che precedentemente erano pressoché assenti.

In passato, eventi come la tempesta Vivian del 1990 e Lothar del 1999 scaturite nell'Europa settentrionale, venivano trattati con incertezze a livello scientifico per i rischi derivati dalle aree

soggette a schianto e sulla gestione del legname abbattuto da questi due eventi. Al fine di ridurre gli elevati rischi da pericoli naturali nelle foreste di protezione schiantate dal vento, queste venivano subito sgomberate del legname a terra e rinnovate artificialmente per ottenere una nuova copertura in tempi ridotti. Infine, per garantire la protezione venivano installate barriere artificiali contro valanghe e caduta massi (Stucki et al., 2014).

Per quanto riguarda il pericolo da valanghe, l'assenza della superficie boscata comporta una differente distribuzione delle precipitazioni di neve sulla superficie, un mancato ancoraggio ed una differente stabilità del manto nevoso a causa delle temperature e della necromassa.

Tuttavia, anche il legname a terra svolge una funzione protettiva (Wohlgemuth et al., 2017). Essa crolla drasticamente a seguito del disturbo e diminuisce progressivamente a causa della decomposizione della necromassa a terra. Con il tempo però vi è la rigenerazione del bosco, grazie alla rinnovazione, la quale comporta un progressivo aumento della funzione protettiva. Il punto di incontro tra l'aumento della protezione per la rigenerazione del bosco e il decremento della protezione per la necromassa a terra, mostra il punto ove si ha la minor protezione (figura 14).



**Figura 14:** grafico andamento nel tempo della funzione protettiva di un bosco in seguito ad un disturbo da vento (fonte: Wohlgemuth et al., 2017)

Osservando la figura si può notare come per un certo periodo di tempo, il bosco post disturbo apporta una funzione protettiva insufficiente ai possibili disturbi naturali. Uno studio sviluppato sulle tempeste Lotar e Vivian nel 2017 ha stimato un decremento in altezza della necromassa di 1,3 m in 20 anni, equivalente a circa 6,5 cm all'anno.



Nei siti colpiti da una tempesta la scabrezza della superficie creata dalla biomassa a terra fornisce comunque una protezione contro il distacco di valanghe (Schönenberger et al., 2005). Gli elementi in legno incrociati tendono ad ancorare il manto nevoso al suolo impedendo la formazione di strati di neve regolari. Tuttavia, sui pendii estremamente ripidi e nelle regioni innevate, in caso di un notevole accumulo di neve, le strutture in legno potrebbero muoversi assieme alla massa nevosa. Questo deve essere preso in considerazione in situazioni con un elevato potenziale di rischio. Esboscare il legname a terra significa aumentare il rischio di valanghe e caduta massi.

## 2. Obiettivi

L'obiettivo della tesi consiste nel verificare la propensione alle condizioni di innesco di fenomeni valanghivi nelle aree a copertura forestale colpite dalla tempesta Vaia.

Lo studio si sviluppa a partire dalla perimetrazione delle aree soggette a schianti all'interno della valle Agordina (BL). In base alla disponibilità dei dati, sono state individuate alcune aree pilota a cui è stata associata una stazione nivometrica di riferimento. Tramite analisi statistico probabilistica si è quindi sviluppata una relazione tra tempo di ritorno e altezza di neve. Tale dato è stato successivamente confrontato con il risultato di un algoritmo che mira a definire la capacità di trattenuta del manto nevoso all'interno di aree schiantate.

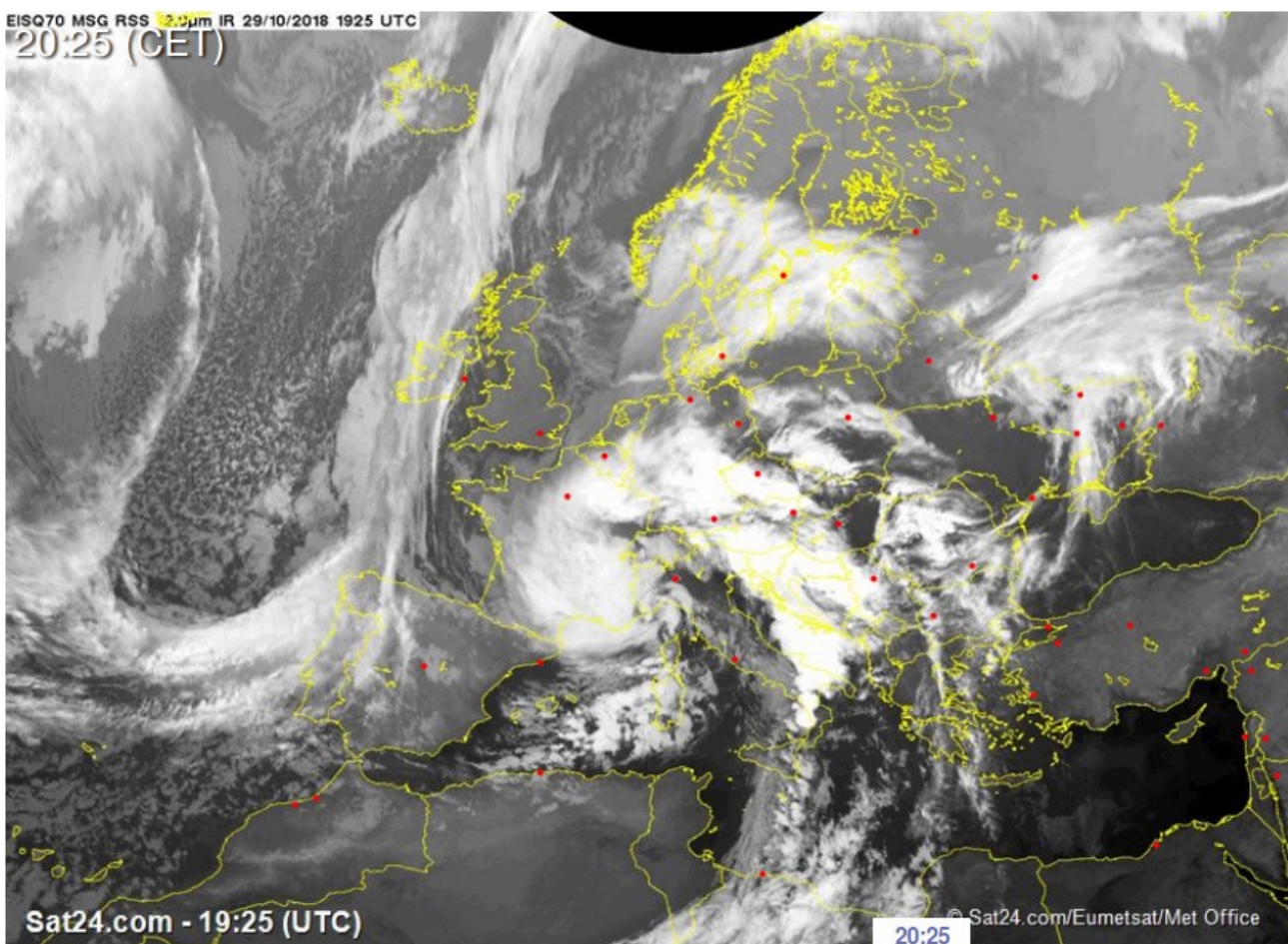
L'obiettivo finale dell'elaborato è l'implementazione di una procedura di valutazione della stabilità del manto nevoso in aree schiantate tramite sviluppo di una relazione tra altezza di neve attesa e caratteristiche della biomassa presente sul terreno. Tale procedura ha la potenzialità di essere applicata su larga scala anche al di fuori dell'area di interesse andando a creare una mappa di propensione del distacco di valanghe in aree forestali colpite da schianti

### 3. Area studio

#### 3.1 La tempesta Vaia

##### 3.1.1 L'evento

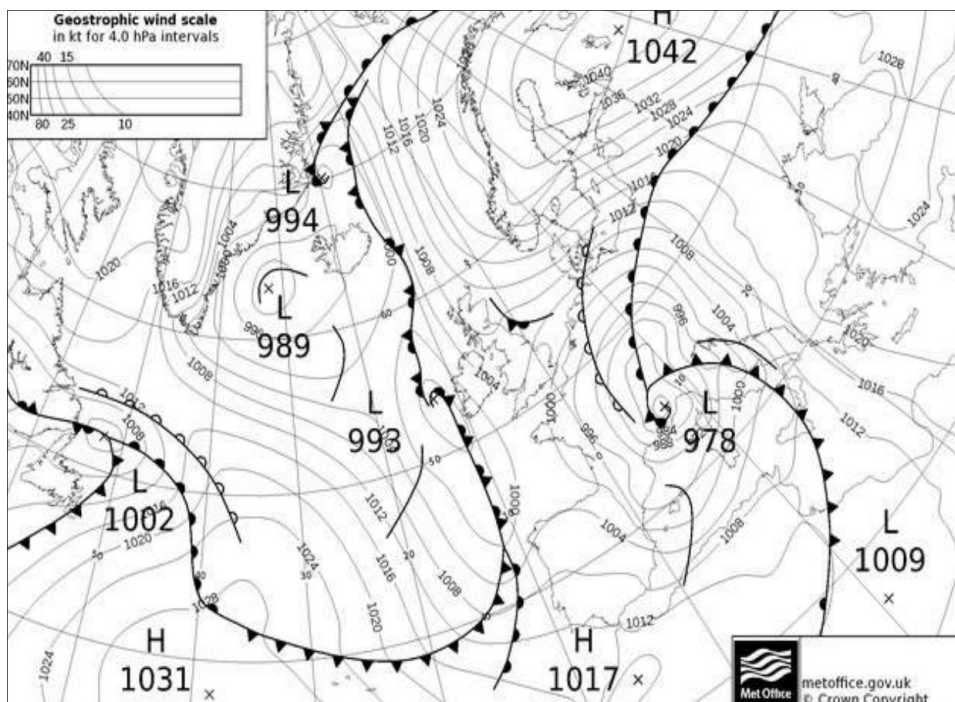
Tra sabato 27 e le prime ore di martedì 30 ottobre 2018 l'Italia è stata interessata dagli effetti di una profonda depressione denominata “Vaia” (figura 15) che, soprattutto lunedì 29, ha determinato violentissime raffiche di Scirocco, mareggiate, straordinarie onde di marea sull'alto Adriatico, e piogge alluvionali soprattutto sulle Alpi orientali (Chirici et al., 2019).



*Figura 15: tempesta Vaia dal satellite Meteosat il 29 ottobre 2018 alle ore 19.25 (fonte: EUMETSAT)*

Il 26 ottobre, una cresta di pressione si estendeva a nord ovest del bacino del Mediterraneo, confinando l'attività ciclonica ad elevate latitudini, ben al di sopra dei 50° N (Giovannini et al., 2021). Nel corso della giornata, però, la pressione ha iniziato a svilupparsi nell'atlantico orientale, espandendosi dalla penisola scandinava oltre il Regno Unito e la Penisola Iberica. Durante il 27 ottobre la depressione, centrata sul golfo di Biscaglia, si è intensificata ulteriormente. Una corrente del nord ha attraversato il Golfo del Leone, innescando una ciclogenesi esplosiva (Cavaleri et al.,

2019) con pressione centrale stimata attorno ai 984 hPa (Zaramella et al., 2019). Quest'ultima, ha passato la catena dell'Appennino, riversandosi nell'Adriatico. Il 28 ottobre la depressione e la circolazione ciclonica nella media troposfera si intensificarono evolvendosi lentamente verso est ed estendendosi a sud dell'Africa settentrionale. Nella seconda parte della giornata, un ciclone orograficamente profondo è apparso nella catena montuosa dell'Atlante e, spinto dalla grande circolazione ciclonica si è spostato attraverso l'Algeria raggiungendo il mar Mediterraneo a fine giornata. Il campo di pressione sulla superficie è rimasto invariato provocando una persistente avvezione di aria calda e umida da sud-ovest. Il contrasto tra quest'aria calda proveniente da sud-est e il focolaio di aria fredda proveniente dal maestrale, indussero il vento di Scirocco a muoversi violentemente da sud-est verso nord. L'intera evoluzione tra il 27 ed il 29 ottobre può essere interpretata come lo sviluppo di un'onda baroclina di grande ampiezza, la quale ha determinato un aumento del gradiente di pressione tra i minimi valori sul Mediterraneo occidentale e gli alti valori su quello orientale. Nella figura 16 è possibile osservare la tempesta Vaia con la sua profonda depressione.



*Figura 16: mappa della pressione al 29 ottobre 2018 (fonte: Chirici et al., 2019)*

### 3.1.2 Distribuzione

Il rapido movimento dello Scirocco, indotto dal Maestrale verso nord, ha creato raffiche di vento superiori ai 200 km/h nel versante meridionale delle Alpi orientali. Il vento, suddiviso in due diverse

ondate, si è incanalato nelle valli distruggendo intere porzioni di foreste nelle regioni del Friuli Venezia-Giulia, del Veneto, della Lombardia e delle province autonome di Trento e Bolzano.

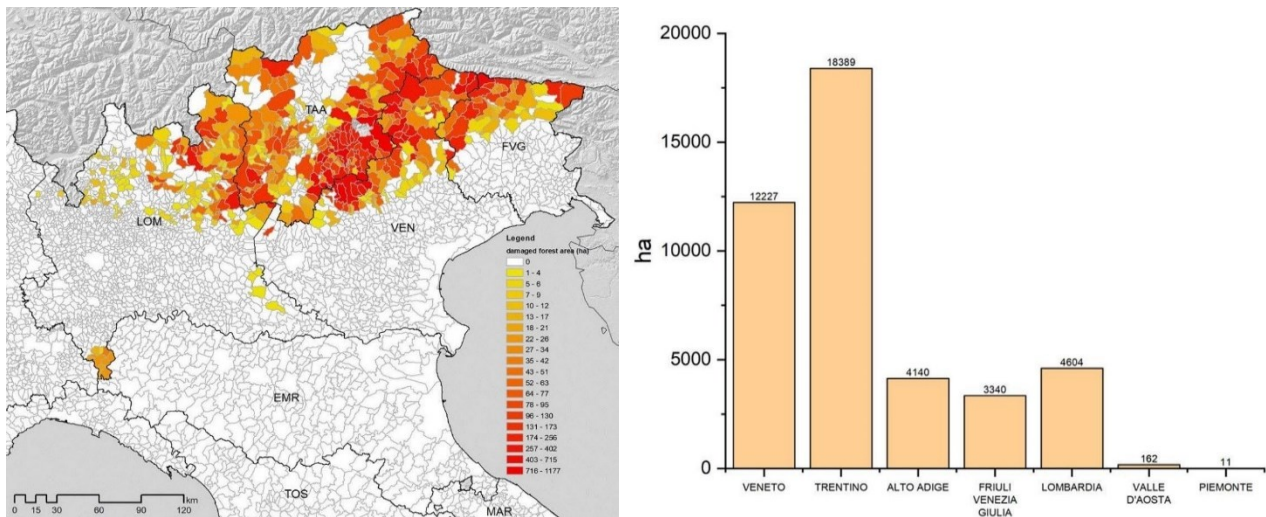
Oltre al vento, durante il periodo che va dal 27 al 30 ottobre, sono state registrate due differenti fasi di precipitazione distanziate da una “pausa” causata dai forti venti. Queste precipitazioni hanno colpito in maniera intensa il Veneto, il Friuli e le province autonome di Trento e Bolzano. La prima fase di precipitazione, compresa tra le 6.00 del 27 ottobre e le 18.00 del 28 ottobre, era associata ad un fronte caldo stazionario caratterizzato da piogge orografiche. Dopo i forti venti e raffiche provocate dalla depressione, la seconda fase di precipitazione, compresa tra le 4 e le 21 del 29 ottobre, ha visto valori di precipitazioni cumulate inferiori alla prima fase, ma con intensità maggiore rispetto alla stessa.

### **3.1.3 Conseguenze**

Tra gli effetti della tempesta si contano 16 vittime in totale, dal Trentino alla Campania (in gran parte per la caduta di alberi), danni dell'ordine di miliardi di euro, decine di migliaia di utenze senza elettricità a due giorni dall'evento, soprattutto tra Trentino, Veneto e Friuli (Berro et al., 2018).

Per quanto concerne le precipitazioni, esse hanno causato forti problematiche ai bacini montani creando notevoli inondazioni in diversi bacini del nord-est Italia (Brenna et al., 2020). Difatti, la prima fase delle precipitazioni, ha saturato gli orizzonti di suolo sopra la roccia madre, diminuendo drasticamente la ritenzione idrica del suolo stesso e aumentandone il deflusso. Le precipitazioni intense nella seconda fase si sono così trasformate quasi totalmente in deflusso e, data la forte intensità, esse hanno causato forti ondate di piena sulla maggior parte dei bacini montani delle zone sopraccitate (Brenna et al., 2020). Il forte deflusso ha causato intensi fenomeni di erosione danneggiando molteplici opere di idraulica forestale, erodendo argini e cambiando la morfologia di alcuni letti dei torrenti. In alcuni punti si sono verificati differenti danni ad opere antropiche e a centri abitati.

Per quanto riguarda invece le forti raffiche di vento, esse hanno creato ampi danni al patrimonio forestale delle Alpi orientali. Le masse d'aria canalizzate nelle valli hanno distrutto parti di foreste, creando una distruzione disomogenea della copertura forestale in base alla topografia. Il rapporto tecnico pubblicato sulla rivista “Forest@” nel 2019, tramite l'utilizzo di immagini satellitari, ha perimetrato le zone di schianto, stimando le percentuali di danni sull'area colpita dalla tempesta. la figura 17 mostra la mappa dei danni apportati dalla tempesta.



**Figura 17:** a sinistra la mappa ettari di bosco distrutti da Vaia, a destra gli ettari distrutti per regione/provincia autonoma (fonte: Chirici et al., 2019)

Come si può osservare dalle immagini, lo studio ha evidenziato danni consistenti o la completa distruzione di aree pari a 42,525 ha (figura 12) per un totale di circa 8,5 milioni di m<sup>3</sup> di legname a terra. Nei 494 comuni interessati dall'evento, i danni hanno interessato complessivamente il 3% della superficie forestale, sebbene in alcune aree i danni abbiano complessivamente interessato fino al 47% della superficie forestale comunale (Chirici et al., 2019).

I danni da vento sono stati rilevati su piccole macchie o a scala di paesaggio, e la scala del danno è direttamente relazionata all'intensità dell'evento (Dalponte et al., 2020).

In genere i fattori che influenzano il verificarsi di danni forestali di tale intensità da parte del vento sono essenzialmente quattro:

- Condizioni meteorologiche;
- Condizioni stazionali;
- Topografia;
- Struttura del popolamento forestale.

La struttura del popolamento forestale può giocare un ruolo fondamentale, in quanto vi sono specie più o meno resistenti a troncature e ribaltamenti. Tuttavia, nel caso di Vaia la copertura forestale non possedeva una resistenza tale da evitare i danni, in quanto le forze di resistenza dell'albero vengono meno nel caso di venti che superino la soglia di 94 – 100 km h<sup>-1</sup> (Motta et al., 2018).

## **3.2 Area montana dell'alto Agordino**

### **3.2.1 Inquadramento climatico**

Il clima dell'alto Agordino è fortemente influenzato dalla topografia dei rilievi montuosi. Su scala continentale le Alpi sono localizzate nell'area di sovrapposizione tra il flusso umido-moderato del Nordovest atlantico, quello secco con inverni freddi ed estati calde dell'est continentale e quello caldo, con inverni umidi ed estati asciutte del Sud Mediterraneo (Adler et al., 2015). La catena montuosa in quest'area tende a ostacolare la penetrazione diretta delle correnti d'aria, deviandone il percorso. La deviazione più nota è il Fohn o venti di Favonio, un vento di caduta, caldo e secco, che discende lungo le montagne. Nelle Alpi è generato dalla tensione fra zone di alta e di bassa pressione separate dalla catena alpina (Stadler, 2011).

Le precipitazioni in tale area risentono in modo spiccato dell'effetto barriera prodotto a sud dalle Dolomiti Bellunesi, le quali intercettano le masse d'aria umida di origine mediterranea e danno luogo ad un massimo pluviometrico di oltre 1600 mm. A nord di tali barriere si riscontra invece un tipico effetto endoalpino, con valori progressivamente decrescenti fino ai minimi di circa 1000 mm/anno dell'Alto Agordino, ad altitudini intorno ai 1500 m (Mariani et al., 2013).

La maggior parte dell'areale alpino e prealpino è caratterizzato da clima temperato fresco alle quote comprese tra i 500 e i 1200 m .s.l.m (con temperature medie annue tra i 6 e 9.9 C°) o clima temperato freddo nelle quote comprese tra i 1200 e i 1800 m s.l.m. (temperature medie annue tra i 3 e 5.9 C°) mentre il clima freddo tra i 1900 e i 2500 m s.l.m. (temperature medie annue inferiori ai 3 C°) è reperibile nelle aree alpine culminanti (Barbi et al., 2008) La mappa della climatologia veneta è osservabile in figura 18, mentre lo schema dei regimi pluviometrici è riportato in figura 19.

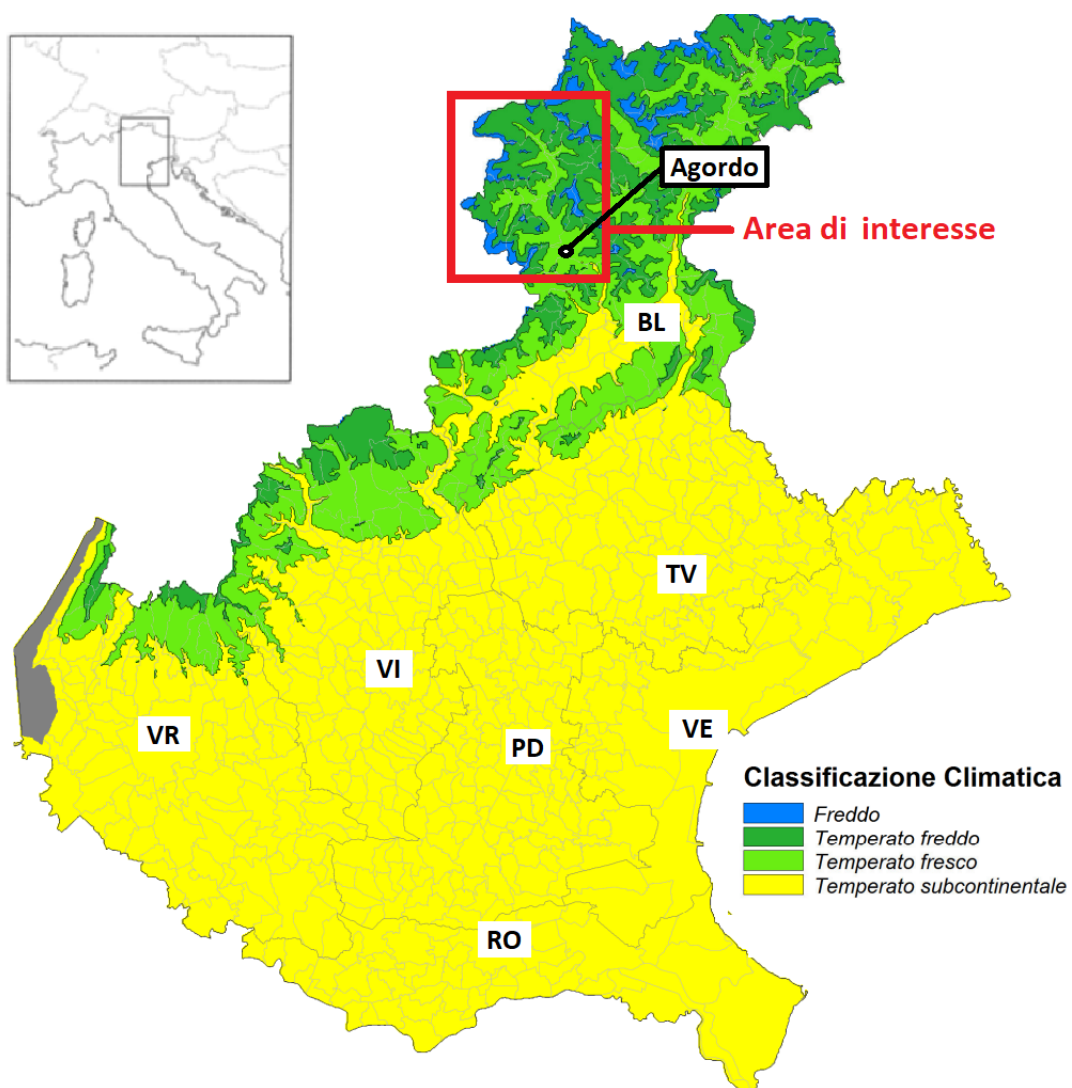


Figura 18: mappa climatologia Veneto (fonte: Barbi et al., 2008) con inquadramento dell'area di interesse

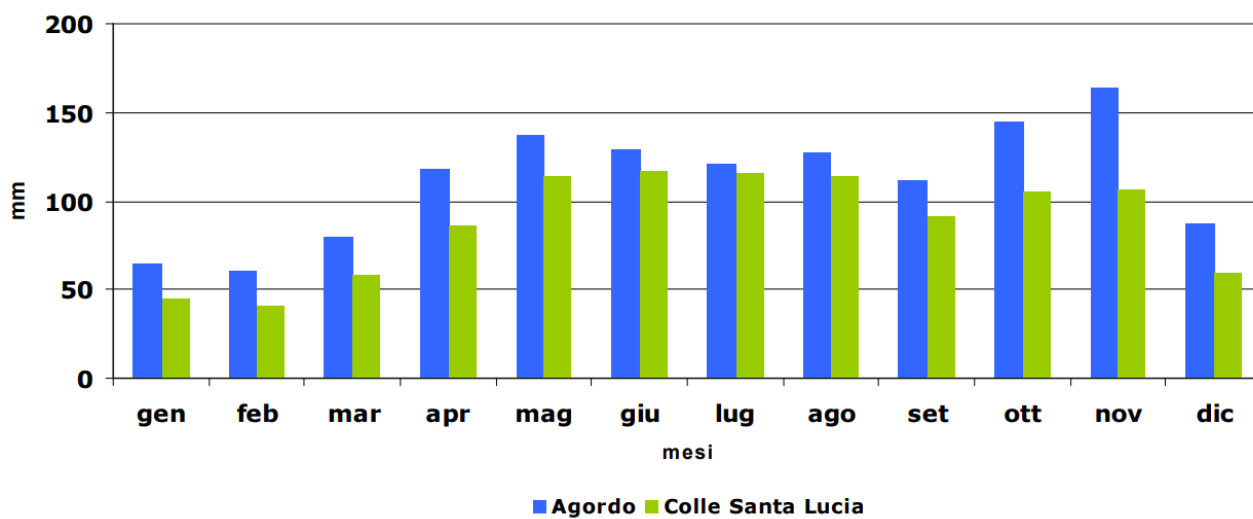


Figura 19: regime pluviometrico mensile per due stazioni di riferimento dell'agordino (Fonte: Mariani et al., 2013)



### 3.2.2 Inquadramento categorie forestali

Nella zona delle Dolomiti, il limite naturale del bosco tende ad essere compreso tra i 1900 e i 2000 m s.l.m. La zona di interesse dello studio è caratterizzata da due principali regioni climatiche (figura 20) con le rispettive conformazioni forestali tipiche: il distretto Mesalpico e quello Endalpico (Del Favero et al., 1990).

Il distretto mesalpico è l'area tipica delle faggete montane, degli abieteti e dei piceo-faggeti (rappresentanti le formazioni forestali di maggior interesse per il Veneto per diffusione). I limiti di questa zona sono facilmente individuabili poiché marcati dalla progressiva scomparsa del carpino nero, e salendo di quota dalla rarefazione del dell'abete bianco e del faggio.

L'alta provincia di Belluno, che comprende l'alta valle del Cordevole, è inquadrata nell'altro distretto climatico, denominato endalpico. In questo distretto, al di sopra dei 1600 metri di quota vi è la presenza di pino cembro, assieme a lariceti e peccete, che discendono però anche a quote inferiori.

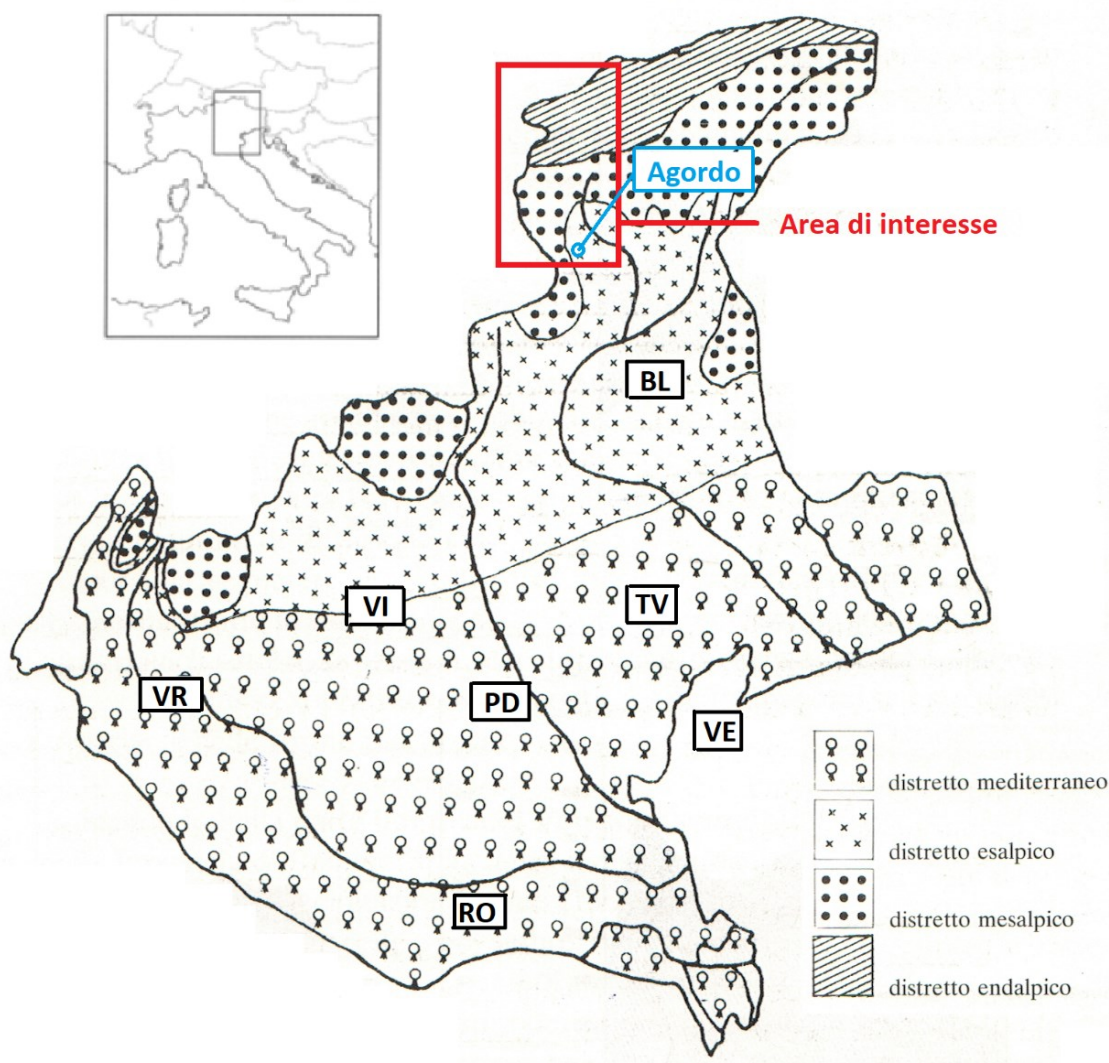


Figura 20: zone climatiche Veneto (fonte: Del Favero et al., 1990) con inquadramento area d'interesse

### 3.2.3 Inquadramento tipologie di suolo e geologia

Dal punto di vista dei suoli, il Veneto è suddiviso in distretti (figura 21). Nella zona di studio abbiamo la prevalenza di tre distretti facenti principalmente parte dei rilievi di rocce calcaree, rilievi di rocce silicatiche (distribuiti eterogeneamente) e i fondovalle alpini (occupanti solo in aree di minore estensione lungo il fondovalle del Cordevole e i suoi affluenti) (ARPA Veneto, 2020). La geologia dell'alto Cordevole è composta principalmente da dolomia. Oltre ad essa vi è la presenza di tufi e conglomerati tufacei, breccie ed elementi calcarei, porfiriti augitiche e melafiri ed infine arenarie scure (Accordi, 1959).

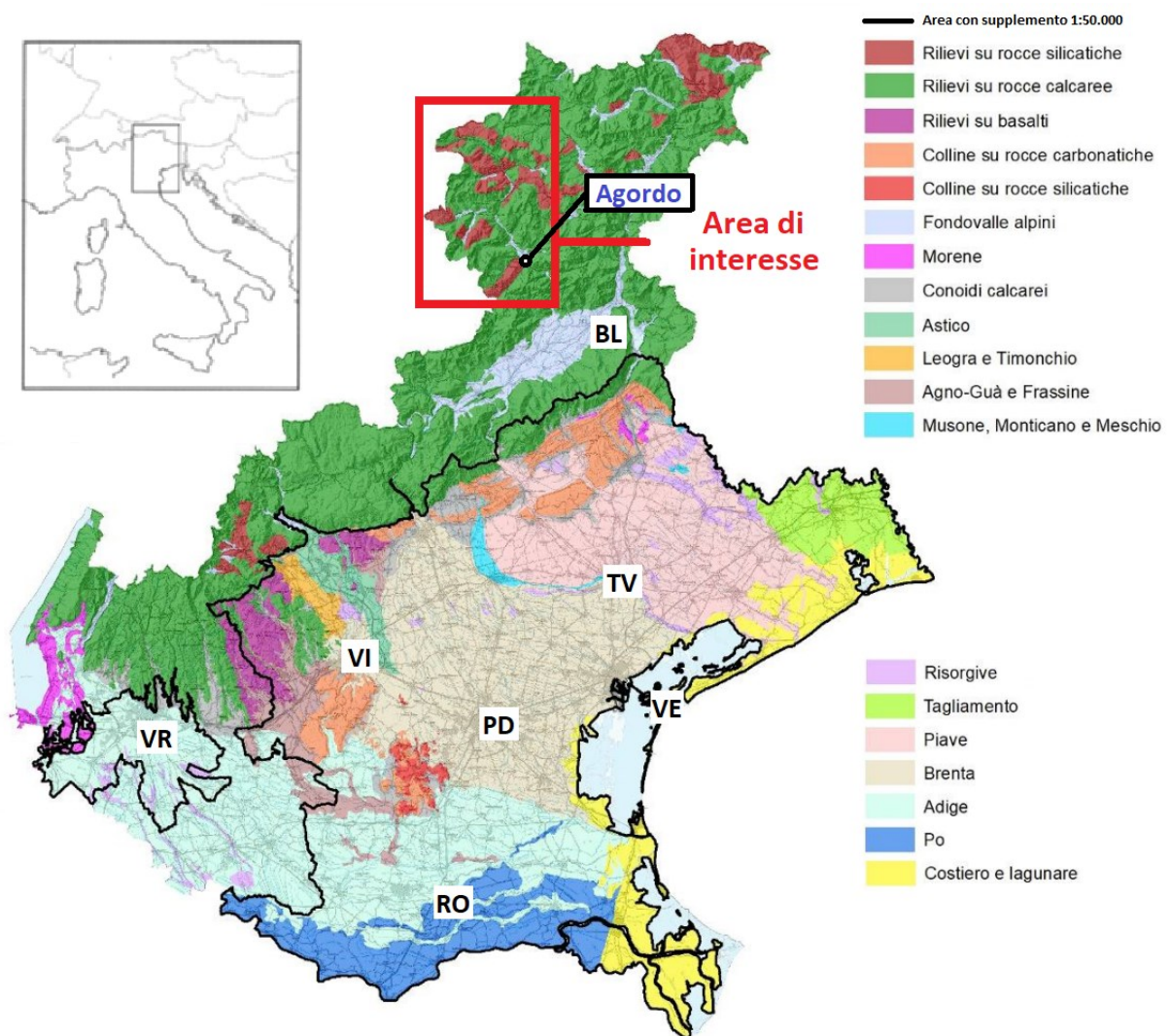


Figura 21: mappa dei distretti di suolo del Veneto (fonte: ARPA Veneto, 2020) e l'area di studio

## 4. Materiali e Metodi

Il procedimento e le fasi dello studio vengono mostrati in figura 22. Lo schema generale è basato sull'individuazione di alcune stazioni nivometriche di riferimento con delle aree test correlate per l'analisi dei dati storici. L'analisi di distribuzione statistica dei dati a fine febbraio riporta la tendenza dei valori in quel periodo, mentre il DH3gg calcolato nei mesi di marzo aprile e maggio è atto a simulare una nevicata successiva, per la verifica della copertura delle aree soggette a schianto da Vaia da parte del manto nevoso.

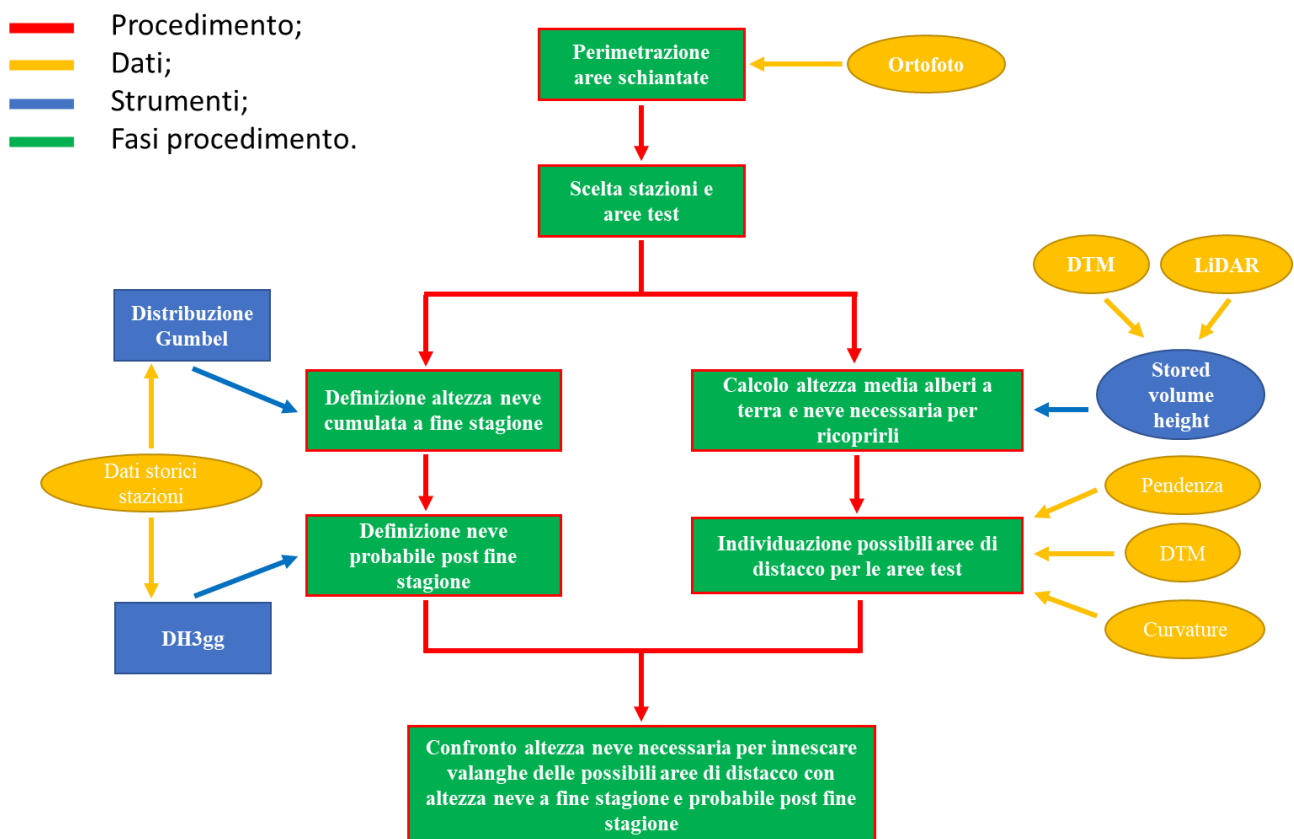
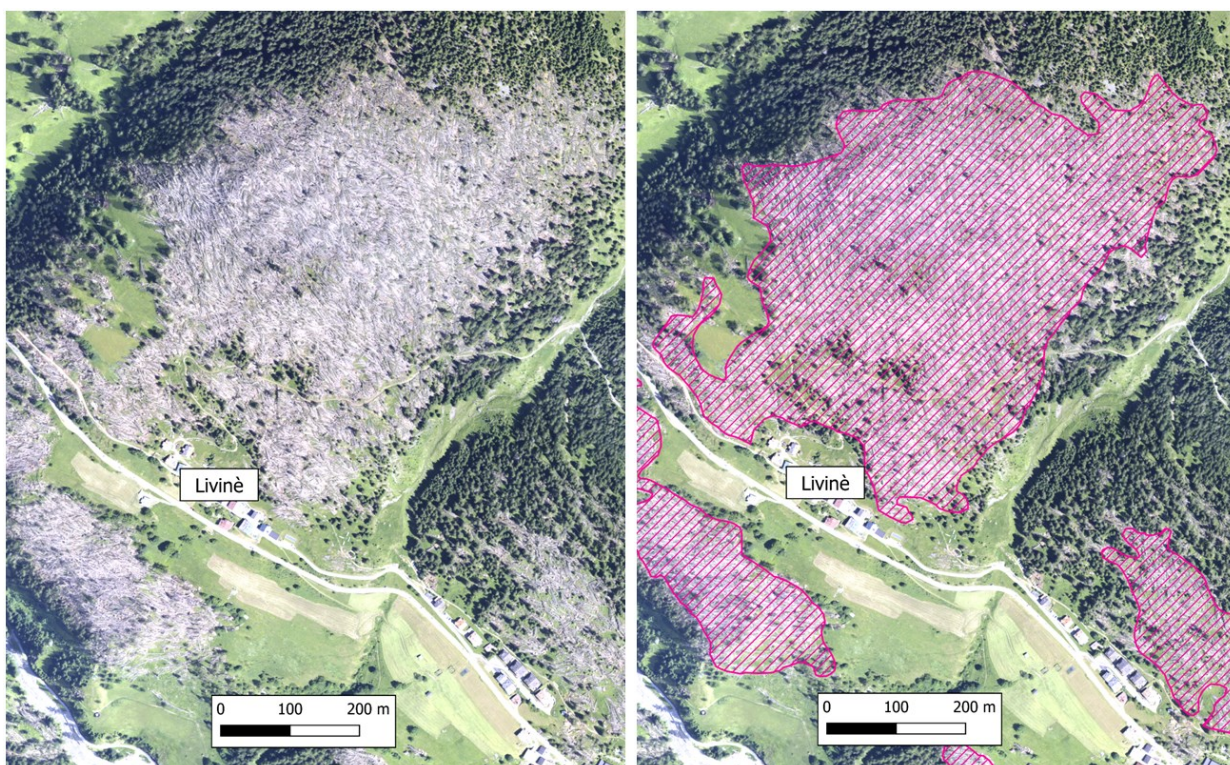


Figura 22: schema procedimento

### 4.1 Perimetrazione schianti tempesta Vaia

La perimetrazione delle aree schiantate è stata effettuata durante il tirocinio universitario conseguito presso l'ente ARPAV di Belluno tra ottobre e novembre 2021, sotto la supervisione del dott. Fabrizio Tagliavini e la dott.ssa Roberta Dainese. Questa procedura ha previsto l'utilizzo di software GIS utilizzando come base le ortofoto ad alta risoluzione acquisite nell'estate del 2019 (AVEPA, 2019a). I dati sono stati forniti dall'ARPAV, e sono stati registrati dall'Agenzia Veneta per i Pagamenti (AVEPA). Oltre alle ortofoto, l'ente ha rilevato dati territoriali tramite tecnologia ad impulso luce. Questo rilevamento ha previsto un volo di scansione laser LiDAR (Light Detection And Ranging)

(AVEPA, 2019b). L'ultimo decennio ha visto un crescente interesse per l'uso delle tecnologie di rilevamento tramite luce (LiDAR) nelle applicazioni forestali (Roberts et al., 2005). La maggior parte dei sensori topografici LiDAR emettono fasci di luce infrarossa e misurano il tempo impiegato dall'energia irradiata per essere riflessa al sensore (Baltsavias, 1999). La posizione e l'altezza della superficie riflettente sono calcolate in base alla velocità della luce (Hall et al., 2005).



*Figura 23: esempio perimetrazione manuale su ortofoto ad alta risoluzione in località Livinè (BL)*

Le ortofoto ad alta risoluzione (0,2 m) hanno permesso di individuare le maggiori aree soggette a schianto all'interno della provincia di Belluno tramite una perimetrazione precisa effettuata manualmente. In figura allegata è possibile osservare l'inquadramento dell'area di studio. In figura 23 viene riportato un esempio di perimetrazione su un'ampia area schiantata in località Livinè (BL). I limiti derivanti da questo metodo sono correlati dall'errore umano riferito all'impossibilità di evidenziare piccole aree.

Questo procedimento ha riportato i seguenti risultati:

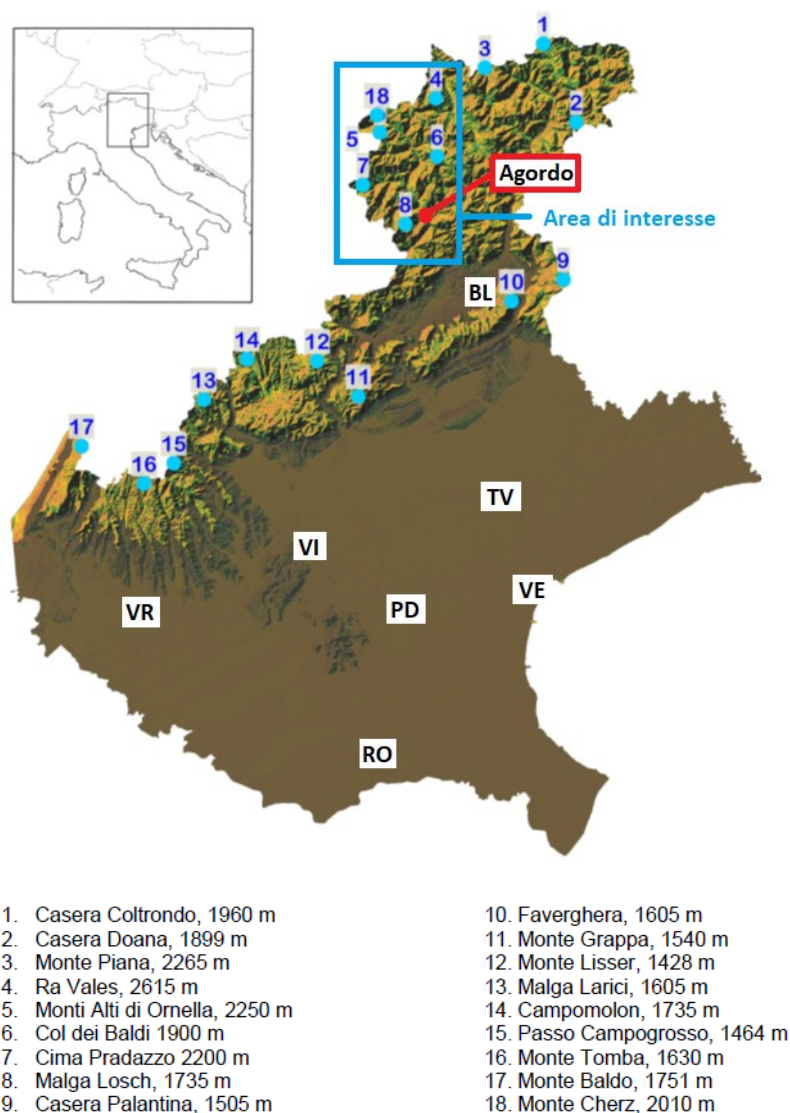
*Tabella 2: risultati perimetrazione manuale aree schiantate*

<b>Aree Schiantate</b>	311	<i>n°</i>
<b>Superficie minima aree</b>	0,05	<i>ha</i>
<b>Superficie massima aree</b>	93,77	<i>ha</i>
<b>Superficie totale</b>	1173	<i>ha</i>

## 4.2 Aree studio

### 4.2.1 Scelta aree

Per la scelta delle aree studio si è cercata la maggiore similarità tra le caratteristiche delle aree schiantate e quelle della posizione delle stazioni nivometriche disponibili. La rete di stazioni nivometeorologiche automatiche è un sottoinsieme di stazioni afferenti alla rete regionale integrata di monitoraggio meteo-idro-nivo-meteorologico. È costituita da 17 stazioni automatiche (figura 24) situate in zone di media e alta quota delle Dolomiti e delle Prealpi Venete (“Stazioni automatiche” 2010).



**Figura 24:** rete stazioni nivometriche automatiche ARPAV (Valt and Crepaz, 2021)

Il nivometro per ogni stazione è installato su una staffa a 7 m dal suolo. Il principio di funzionamento si basa su un trasduttore piezoelettrico che misura emettendo brevi impulsi di frequenza ultrasonica

verso la superficie del manto nevoso, rilevando gli echi di ritorno. Possiede inoltre un sistema di autocorrezione della misura tramite un sensore di temperatura integrato che, tramite densità dell'aria, tiene conto della variazione di velocità del suono (Valt and Crepaz, 2021). Le caratteristiche intrinseche del sensore sono:

- Accuratezza:  $\pm 1$  cm;
- Sensibilità: 0.5 cm;
- Temperatura di funzionamento: da -20 a +65 °C.

L'altezza neve espressa in centimetri viene registrata in maniera istantanea dalle stazioni con un intervallo di interrogazione di 30 minuti. Nel nostro caso, i valori medi giornalieri vengono calcolati in maniera ponderale tenendo conto dell'intervallo di registrazione.

Nella zona perimetrata manualmente sono state selezionate due stazioni a cui far riferimento, appartenenti alla rete ARPAV. I dati relativi alle stazioni sono visibili in tabella 3.

**Tabella 3:** dati stazioni nivometriche di riferimento

Nome	Quota (m.s.l.m.)	Esposizione	Anno Installazione	Coordinate	
				EPSG:4258 X	ETRS89 Y
<b>Monte Ornella</b>	2250	NE	19/12/1984	11,88627778	46,47569444
<b>Col dei Baldi</b>	1900	SO	27/11/1985	12,07313333	46,41521667

Il criterio di scelta per questo studio, prevede che le aree test (schiantate dalla tempesta) possiedano caratteristiche il più simili possibile a quelle delle stazioni di riferimento (soprattutto in termini di quota ed esposizione) per diminuire la differenza di misura sullo spessore del manto nevoso. Infatti, esso varia in base alla quota (per le differenti precipitazioni nevose) e ai fattori stazionari (capitolo 1). Le stazioni infatti sono installate a quote mediamente maggiori rispetto alle aree schiantate.

Sono comunque state identificate quattro aree “test” per le due stazioni di riferimento della vallata agordina. I dati delle aree sono riportati in tabella 4. In figura 25 è possibile osservare le aree selezionate con le relative stazioni di riferimento.

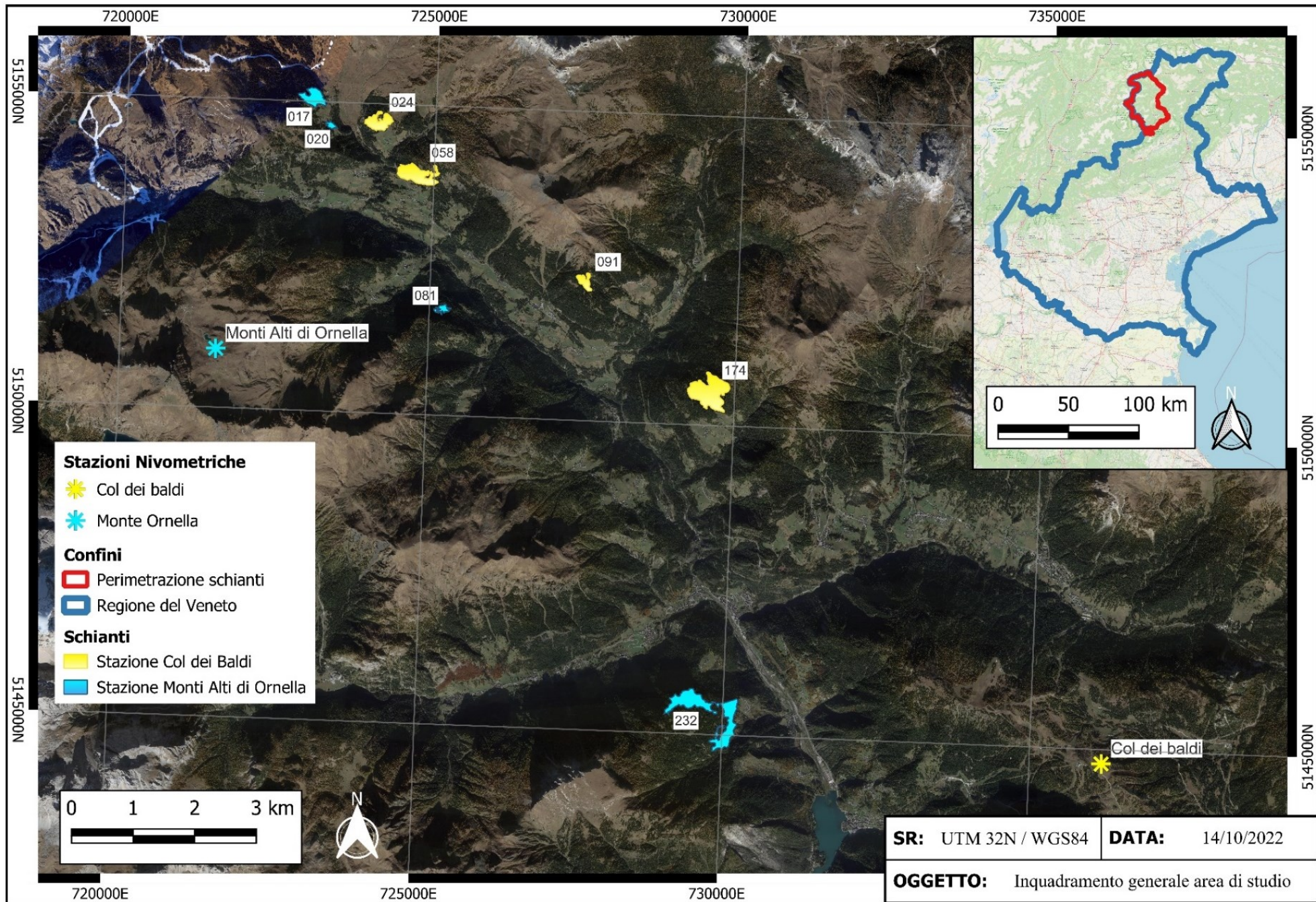


Figura 25: inquadramento aree test selezionate con stazioni nivometriche di riferimento

## 4.2.2 Descrizione singole aree

I dati topografici delle aree sono riportati in tabella 4 per quelle che fanno riferimento alla stazione “Monti Altì di Ornella” e in tabella 5 per la stazione “Col dei Baldi”. I dati inerenti alle tipologie forestali (Regione del Veneto, 2013) e distretto di suolo (ARPA Veneto, 2020, 2022) sono stati incrociati alle aree tramite strumenti GIS.

**Tabella 4:** dati topografici aree riferite alla stazione “Monti Altì di Ornella”

		Monti Altì di Ornella			
		017	020	081	232
Area	<i>m<sup>2</sup></i>	77.472,80	11.890,27	19.137,29	340.786,62
Perimetro	<i>m</i>	1.514,20	601,95	1.233,32	6.764,03
Quota media	<i>m s.l.m.</i>	1.867,93	1.820,21	1.672,09	1.555,42
Quota minima	<i>m s.l.m.</i>	1.824,78	1.804,49	1.633,77	1.339,91
Quota massima	<i>m s.l.m.</i>	1.921,51	1.837,39	1.716,22	1.762,57
Pendenza media	<i>%</i>	40,21	48,30	35,62	59,90
Esposizione principale	<i>cardinale</i>	est	est	nord-est	est

- **ID 017:**

L’area è localizzata nella parte settentrionale comune di Livinallongo del Col di Lana a nordovest della località di “Cherz”. È la seconda area schiantata più grande in riferimento alla stazione di Ornella. In tutta l’area risulta esserci una pecceta con copertura pari al 70-100%. Il suolo risulta essere silicatico arenaceo-siltitico e arenaceoargillitico.

- **ID 020:**

Quest’area danneggiata è situata 300 m a sud-est rispetto alla 017, nella medesima località e comune. Anche in questo caso la tipologia vegetazionale risulta essere pecceta ad elevata copertura. Il materiale del suolo è silicatico arenaceo-siltitico.

- **ID 081:**

Quest’area è situata nella parte centro-meridionale del comune di Livinallongo del Col di Lana, nelle vicinanze della località denominata “Roncat”. Anche in questo caso vi è la presenza di una pecceta, con suoli aventi materiale silicatico arenaceo-siltitico.

- **ID 232:**



Questa risulta essere l'area più distante dalla stazione nivometrica di riferimento (circa 10 km topografici) e la più estesa rispetto a tutte le aree test. È localizzata nel comune di Rocca Pietore, nella località di "Caracoi Agoin". Oltre alla tipica pecceta densa, vi è la presenza di lariceti e larici-cembreti, che incontrano una piccola parte di acero-frassineti verso valle. Il suolo è composto da materiale silicatico arenaceo-siltitico.

**Tabella 5:** dati topografici aree riferite alla stazione "Col dei Baldi"

		Col dei Baldi			
		024	058	091	174
<b>Area</b>	<i>m<sup>2</sup></i>	77.560,15	134.121,07	35.465,90	236.294,10
<b>Perimetro</b>	<i>m</i>	1.774,95	2.566,35	1.113,66	2.686,20
<b>Quota media</b>	<i>m s.l.m.</i>	1.854,73	1.847,04	1.961,41	1.851,12
<b>Quota minima</b>	<i>m s.l.m.</i>	1.780,51	1.742,07	1.902,72	1.748,46
<b>Quota massima</b>	<i>m s.l.m.</i>	1.914,57	2.000,87	2.058,96	1.967,77
<b>Pendenza media</b>	<i>%</i>	68,61	80,35	72,45	47,80
<b>Esposizione principale</b>	<i>cardinale</i>	sud	sud	sud	sud

- **ID 024:**

Quest'area dista meno di un km dalle aree 017 e 020 della stazione Monti Alti di Ornella, motivo per cui possiede caratteristiche stazionari simili. Oltre alla pecceta, vi è anche la presenza in minor percentuale di larico-cembreti.

- **ID 058:**

Anche quest'area è localizzata nel comune di Livinallongo di Col di Lana, 600 metri a sud-est dell'area 024. Come la precedente, possiede caratteristiche simili, composta da pecceta densa.

- **ID 091:**

Localizzata in prossimità del paese di Livinallongo, è composta principalmente da una pecceta densa, con la diffusione di lariceti e larici-cembreti nella parte esposta a sud-est. Come tutte le altre aree possiede un suolo composto da silicatico arenaceo-siltitico.

- **ID 174:**

Area situata verso il confine sud-est del comune di Livinallongo di Col di Lana, in località "Còl de Larcionei" risulta essere l'area più vicina alla stazione di riferimento. Come le altre è composta principalmente da pecceta, con diffusione di lariceti ad est. Il è differente rispetto

alle altre aree, con la composizione di elementi calcareo-marnoso e secondariamente dolomitico e silicatico arenaceo-siltitico.

### 4.3 Analisi serie storica

L'analisi delle serie storiche riveste un ruolo di primaria importanza nell'ambito delle metodologie statistiche in quanto ha come oggetto lo studio dell'evoluzione temporale di fenomeni climatici (Dagum, 2001). In ambito nivale, i dati storici forniscono le tendenze principali dei periodi considerati (Fратиanni et al., 2010)

#### 4.3.1 Distribuzione di Gumbel

Per l'analisi dei dati nivometrici sono state richieste le rilevazioni dalle due stazioni nivometriche selezionate, all'ente Arpa Veneto.

Per l'analisi statistico probabilistica degli estremi è stata adottata la distribuzione di Gumbell viene spesso utilizzato per modellare un'ampia varietà di dati provenienti da scienze ambientali, ingegneristiche e attuariali (Cooray, 2010) ed è anche noto come distribuzione di valori estremi (Nadarajah and Kotz, 2004). Questa tipologia di distribuzione è composta da due differenti parametri ( $\alpha$  e  $\mu$ ). La funzione di densità di probabilità viene illustrata nelle equazioni 3 e 4 (Borga, 2021):

$$f_{(x)} = \frac{1}{\alpha} e^{\left[ \frac{x-\mu}{\alpha} - e^{\left( \frac{x-\mu}{\alpha} \right)} \right]} \quad (3)$$

$$F_{(x)} = e^{\left[ -e^{\left( \frac{x-\mu}{\alpha} \right)} \right]} \quad (4)$$

$\alpha$  = parametro distribuzione;

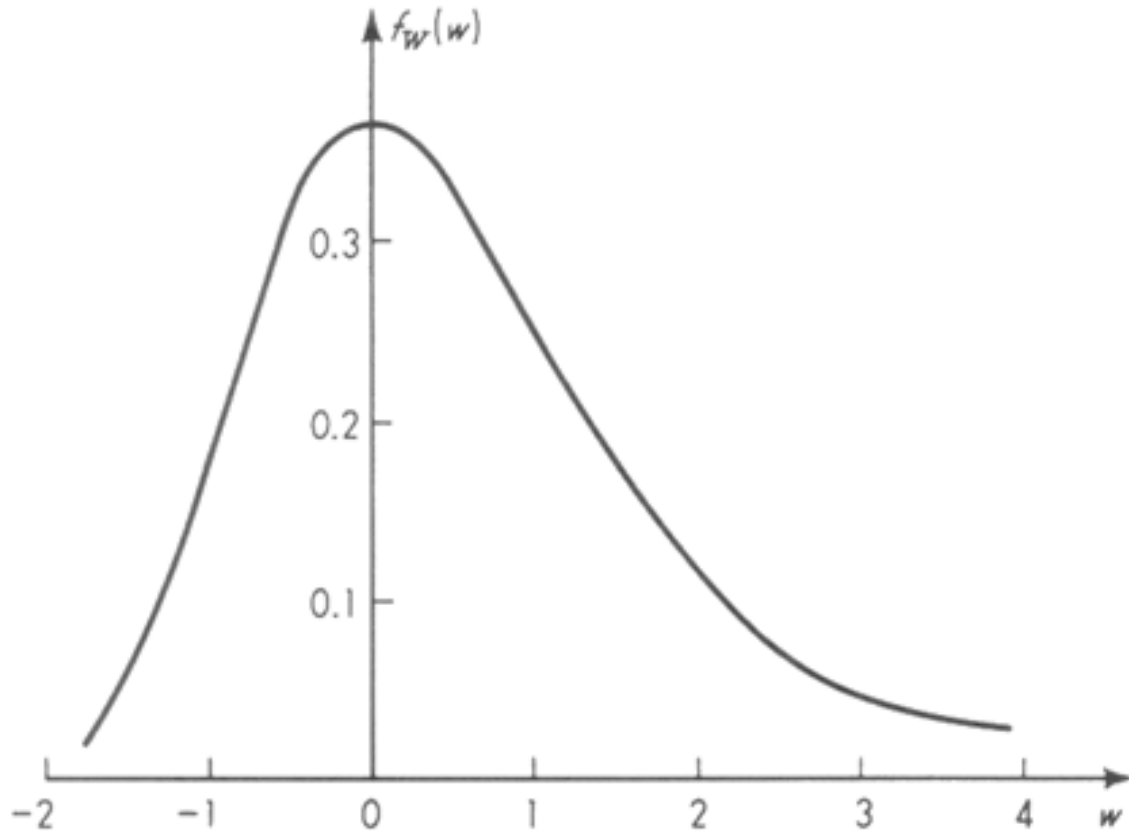
$\mu$  = parametro distribuzione.

Le funzioni possono comunque venire espresse tramite la variabile ridotta (equazione 5).

$$w = \frac{x-\mu}{\alpha} \quad (5)$$

w = variabile ridotta.

La distribuzione di densità di probabilità rispetto all'equazione 5 è mostrata in figura 26



**Figura 26:** distribuzione di Gumbel riferita alla variabile ridotta  $w$  (Borga, 2021)

I parametri vengono calcolati attraverso il metodo dei momenti, assumendo che essi coincidano con quelli del campione, in funzione dei parametri statistici della popolazione (Borga, 2019). Il calcolo dei parametri è mostrato nelle equazioni 6 e 7.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} s}{\pi} \quad (6)$$

$$\mu = x - 0,5772 \alpha \quad (7)$$

$S$  = deviazione standard.

Riprendendo il concetto del tempo di ritorno di un evento di assegnata intensità, esso risulta:

- Il numero di anni che separa in media il verificarsi di due eventi di intensità eguale o superiore a quella assegnata;
- Numero di anni ove l'evento di intensità assegnata viene eguagliato o superato in media una volta.

L'equazione per esprimere il tempo di ritorno risulta quindi essere:

$$T = \frac{1}{P(X \geq X_T)} \quad (8)$$

$X_T$  = variabile caratterizzata da un tempo di ritorno  $T$ .

L'equazione 4 può essere espressa tramite la variabile ridotta ( $w$ ) nel seguente modo:

$$F_{(x)} = e^{[-e^{(-w)}]} \quad (9)$$

$$w = -\ln \left[ \ln \left( \frac{1}{F_{(x)}} \right) \right] \quad (10)$$

Tramite la definizione di tempo di ritorno è possibile fare il seguente ragionamento:

$$\frac{1}{T} = P(X \geq X_T) = 1 - P(X < X_T) = 1 - F_{(X_T)} \quad (11)$$

$$F_{(X_T)} = \frac{T-1}{T} \quad (12)$$

Ne consegue che è possibile ricavare il valore della variabile dato un determinato tempo di ritorno e viceversa:

$$w_T = -\ln \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (13)$$

$$X_T = \mu + \alpha w_T \quad (14)$$

Considerando l'obiettivo dello studio quello di analizzare i valori cumulati verso la fine del periodo invernale, considerato come periodo di maggior accumulo dei fenomeni di precipitazione nivale, è stata presa in considerazione la media dei giorni che vanno dal 24 al 27 febbraio di ogni anno.

L'affidabilità della distribuzione di Gumbel è stata convalidata dal test di Matalas. Questo test serve a comparare la serie storica da quella teorica tramite il coefficiente di asimmetria (Matalas et al., 1975). L'asimmetria viene ricavata tramite:

$$G = N^{\frac{1}{2}} \frac{\sum_{i=1,N} (X_i - X_m)^3}{[\sum_{i=1,N} (X_i - X_m)^2]^{\frac{3}{2}}} \quad (15)$$

G = asimmetria del campione;

N = numerosità del campione.

Per validare il test viene verificata la disequazione:

$$|G - E_{(y)}| < 2\sigma_{(y)} \quad (16)$$

G = asimmetria del campione;

$E_{(y)}$  = media delle asimmetrie per distribuzioni con numerosità N;

$\sigma_{(y)}$  = deviazione standard delle asimmetrie per distribuzioni con numerosità N.

La media e la deviazione standard vengono ricavate dalla tabella della variazione in base alla numerosità del campione, per la distribuzione di Gumbel (figura 27).

Distribution	$\gamma$	Mean and Standard Deviation	$n$									
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	
Normal	0	$\bar{\mu}(G)$	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
		$\bar{\sigma}(G)$	0.578	0.473	0.405	0.359	0.327	0.301	0.280	0.264	0.249	0.249
Uniform	0	$\bar{\mu}(G)$	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
		$\bar{\sigma}(G)$	0.471	0.330	0.267	0.230	0.206	0.187	0.174	0.161	0.152	0.152
Gumbel	1.14	$\bar{\mu}(G)$	0.525	0.740	0.841	0.898	0.937	0.964	0.986	1.002	1.015	1.015
		$\bar{\sigma}(G)$	0.625	0.586	0.555	0.526	0.504	0.485	0.468	0.452	0.437	0.437
Pareto	3	$\bar{\mu}(G)$	1.093	1.535	1.764	1.911	2.022	2.106	2.173	2.230	2.279	2.279
		$\bar{\sigma}(G)$	0.647	0.721	0.764	0.794	0.817	0.835	0.851	0.861	0.871	0.871
	4	$\bar{\mu}(G)$	1.155	1.647	1.915	2.094	2.234	2.342	2.430	2.508	2.575	2.575
		$\bar{\sigma}(G)$	0.661	0.764	0.833	0.886	0.931	0.968	1.001	1.027	1.053	1.053
	5	$\bar{\mu}(G)$	1.190	1.711	2.004	2.203	2.360	2.484	2.587	2.677	2.757	2.757
		$\bar{\sigma}(G)$	0.668	0.787	0.871	0.937	0.995	1.043	1.088	1.124	1.160	1.160
10	$\bar{\mu}(G)$	1.254	1.831	2.169	2.407	2.600	2.755	2.887	3.005	3.110	3.110	
	$\bar{\sigma}(G)$	0.681	0.826	0.936	1.026	1.106	1.176	1.240	1.296	1.350	1.350	
15	$\bar{\mu}(G)$	1.273	1.866	2.218	2.469	2.673	2.838	2.979	3.105	3.219	3.219	
	$\bar{\sigma}(G)$	0.684	0.837	0.954	1.051	1.137	1.213	1.283	1.345	1.404	1.404	

Figura 27: media e deviazione standard delle asimmetrie sulla numerosità del campione (Matalas et al., 1975)

### 4.3.2 DH3gg

Per poter invece simulare il quantitativo di neve atteso di una possibile nevicata al di sopra dello strato nevoso caduto durante l'inverno, si è utilizzato il DH3gg. Questo parametro rappresenta lo

spessore di neve al suolo atteso per tre giorni (Cappellari et al., 2015; Raviglione and Iori, 2012; Barbolini et al., 2005). In questo studio si è provveduto nel calcolare questo parametro per il periodo che va da marzo a fine maggio, ovvero i mesi successivi a quelli dell'analisi degli estremi fatta tramite il metodo di Gumbel. In questo modo si è così costruito uno degli scenari più sfavorevoli possibili per le possibili zone di innesco sui versanti con bosco schiantato, ovvero valori cumulati a fine inverno (paragrafo 4.3.1) ai quali si sovrappone una nevicata tardo-invernale-primaverile. A differenza del valore di altezza neve cumulata a fine stagione, per il DH3gg è stata effettuata una media degli eventi nevosi annuali registrati dalle due stazioni di riferimento. Tale valore serve a identificare l'altezza di neve che potrebbe produrre un fenomeno valanghivo solo nel caso in cui la neve cumulata a fine stagione invernale riesca ad uniformare la superficie irregolare generata dalla biomassa a terra.

### 4.3.3 Correzione quota

Lo spessore di neve a fine inverno ed il DH3gg forniscono risultati riferiti alle stazioni nivometriche scelte. Per poter relazionare i dati ricavati alle aree studio schiantate prese in analisi bisogna operare una correzione di quota (Barbolini et al., 2005). Per questo si è provveduto all'utilizzo di un'equazione che fa riferimento all'SWE (Snow Water Equivalent), ovvero all'equivalente in acqua della neve, tramite un modello di regressione lineare testato nelle Alpi Centrali (Bavera and De Michele, 2009). L'equazione considera già la variazione SWE espressa in centimetri di altezza di neve e ha significato per le quote superiori ai 1350 m s.l.m; essa risulta:

$$SWE = 0,035z - 7,115 \quad (17)$$

$z$  = quota espressa in metri sul livello del mare

Applicando questa equazione direttamente al valore di altezza del manto nevoso, si ricava il valore riferito alle quote delle differenti aree abbattute dal vento.

## 4.4 Individuazione PRA

I parametri topografici solitamente utilizzati per identificare le aree possibili di distacco (denominate anche PRA, Possible Release Areas), sono la pendenza, l'esposizione la curvatura e l'asperità (Bühler et al., 2013; Schweizer et al., 2003). Per ottenere tali mappe ci si è avvalsi di software GIS. L'estrazione delle curvatures tramite algoritmo (Freeman, 1991; Zevenbergen and Thorne, 1987) ha permesso di individuare le zone di trazione, le curve di livello hanno fornito un andamento del profilo

del terreno, mentre la pendenza ci ha permesso di individuare i punti maggiormente soggetti all'innesco.

La perimetrazione delle PRA è avvenuta manualmente seguendo i parametri appena descritti per ogni singola area test.

#### 4.5 Riempimento superficie dal manto nevoso

L'algoritmo utilizzato per l'analisi dell'interazione della neve con le aree schiantate deriva da uno studio sviluppato sulla valutazione e monitoraggio della funziona protettiva della biomassa a terra contro il distacco di valanghe (Baggio et al., 2022).

L'algoritmo sviluppato in R (The R Foundations, 2022) prevede l'utilizzo di dati territoriali per la valutazione del quantitativo di neve necessaria, in volume e in altezza, a ricoprire il legname a terra per formare uno strato uniforme al di sopra di esso. Lo schema di funzionamento dell'algoritmo è mostrato in figura 28.

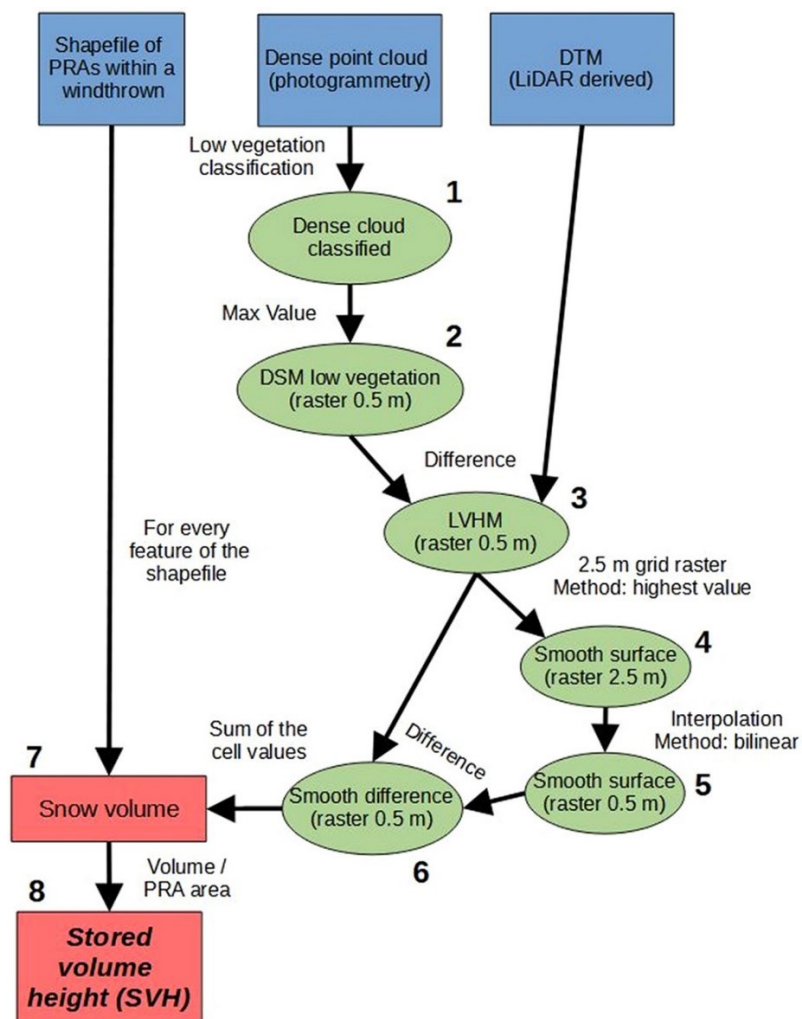


Figura 28: schema di funzionamento dell'algoritmo per il calcolo della neve necessaria a ricoprire il legname a terra (fonte: Baggio et al., 2022)

Alla base di questo procedimento vi sono i dati rilevati tramite LiDAR, rappresentati come nuvole di punti georeferenziate.

Il primo passaggio dell'algoritmo prevede il filtraggio della nuvola di punti, tramite la rimozione dei punti spuri. In seguito, essa viene classificata in due categorie:

- Alta vegetazione: con soglia di classificazione in altezza maggiore o pari a 3 m secondo un algoritmo che prevede un'analisi all'interno di una finestra mobile ("moving window");
- Il restante: composto da tutti i punti non appartenenti alla prima categoria.

Il secondo step prevede il calcolo del DSM ad alta risoluzione (0,5 m) partendo dalla nuvola di punti, restituendo come valore di ogni cella il dato più elevato dei punti che la comprendono. Il terzo passaggio prevede il calcolo VHM ("vegetation height model") a risoluzione 0,5 m attraverso il DSM appena ricavato e il DTM. Questo modello viene nominato LVHM (Low Vegetation Height Model) in quanto restituisce il VHM a partire dal DSM ricavato al di sotto dei 3 m di altezza. Il quarto passaggio prevede la creazione di una superficie liscia, tramite ricampionamento del raster dell'LVHM a risoluzione minore (2,5 m) prendendo come valore quello del punto di quota più elevato. Il quinto step prevede che questo modello appena generato venga riportato alla risoluzione di 0,5 m tramite il metodo di interpolazione bilineare.

La differenza tra l'ultimo modello di LVHM (step 5) e il primo (step 3) restituisce un modello digitale che mostra l'altezza del volume potenzialmente immagazzinabile dalla biomassa, denominato SVH (Stored Volume Height). Il valore ricavato, infatti, rappresenta un indice relativo che misura la presenza degli spazi vuoti presenti nella biomassa a terra. Di conseguenza non può essere considerato come una misura dell'altezza di neve accumulabile all'interno della biomassa.

#### **4.5 Calcolo possibilità di distacco valanghivo**

Per verificare la possibilità di distacco di valanghe nel periodo che va da marzo a maggio, è necessario verificare come le nevicate pregresse fino a fine febbraio possano influenzare la variazione dell'SVH (indice della capacità di immagazzinamento). Lo stesso studio (Baggio et al., 2022) ha prodotto un'analisi in due differenti situazioni delle stesse PRA all'interno delle aree schiantate di riferimento (SVH senza neve ed SVH con neve). Nel rilievo effettuato con la neve con un'altezza di 0,85 m (dato derivante dalla media di sei misurazioni in aree adiacenti a quelle schiantate), l'SVH calcolato dai dati ricavati ha prodotto un valore medio inferiore del 18% rispetto alle condizioni estive (assenza del manto nevoso). L'intervallo di errore di questo dato varia tra 14 al 25% nelle differenti PRA.



Ipotizzando quindi un andamento lineare dell'indice di SVH in funzione dell'altezza della neve, è possibile ricavare la seguente equazione lineare:

$$SVH = (-0,1765 * SH) + 0,82 \quad (18)$$

SH = altezza neve (Snow Height)

L'intervallo di confidenza della diminuzione del valore di SVH può quindi essere calcolato facendo variare il coefficiente angolare del modello lineare (eq. 17):

$$SVH = (-0,14 * SH) + 0,82 \quad (19)$$

$$SVH = (-0,25 * SH) + 0,82 \quad (20)$$

Nel nostro caso sarà quindi necessario comparare i valori di SVH corretti tramite eq.18 (utilizzando i dati di altezza di neve a fine stagione) con il valore di SVH riferito a zone lisce (assenza di biomassa a terra) che risulta essere pari a 0.28 m (calcolo effettuato su zone a prato utilizzando il medesimo rilievo LiDAR, (Baggio et al, 2022)). Nel caso in cui tali valori di SVH, che tengono in considerazione l'altezza di neve a fine stagione invernale e l'SVH di zone lisce (prato), siano equiparabili, l'altezza del manto nevoso che può staccarsi, generando una potenziale valanga, è pari al DH3gg riferito al periodo marzo - maggio. Infatti la creazione di un ipotetico piano di neve coprente l'intero materiale schiantato da Vaia, comporterebbe un totale ammanco dell'ancoraggio fornito dalla stessa biomassa mantenendo esclusivamente gli attriti interni del manto nevoso, e permettendo la formazione di strati deboli (Schweizer et al., 2003).

L'SVH rappresenta un'altezza di neve normalizzata, ricavata dividendo il volume necessario a ricoprire la necromassa per la superficie dell'area (Baggio et al., 2022). Dato che l'innesco avviene con maggior probabilità nelle PRA, risulta necessario calcolare l'SVH considerato con e senza copertura nevosa per ognuna di queste. Inoltre, l'eterogeneità del legname dell'area può produrre valori differenti nelle PRA rispetto al valore dell'intera area. Di conseguenza, lo studio vuole determinare se è presente una differenza significativa tra il valore di SVH riferito all'intera area schiantata presa in esame e le PRA situate all'interno delle aree studio.

## **5. Risultati**

### **5.1 Dati territoriali**

La restituzione grafica dei dati riguardanti le perimetrazioni e i principali dati topografici (quali quota, pendenza ed esposizione), sono rappresentate in figura 29 – 36. I dati delle aree riferite alla stazione nivometrica “Monti Alti di Ornella” sono osservabili rispettivamente in:

- Figura 29: area ID 017;
- Figura 30: area ID 020;
- Figura 31: area ID 081;
- Figura 32: area ID 232;

I dati riguardanti la stazione nivometrica “Col dei Baldi” sono visionabili in:

- Figura 33: area ID 024;
- Figura 34: area ID 058;
- Figura 35: area ID 091;
- Figura 36: area ID 174;

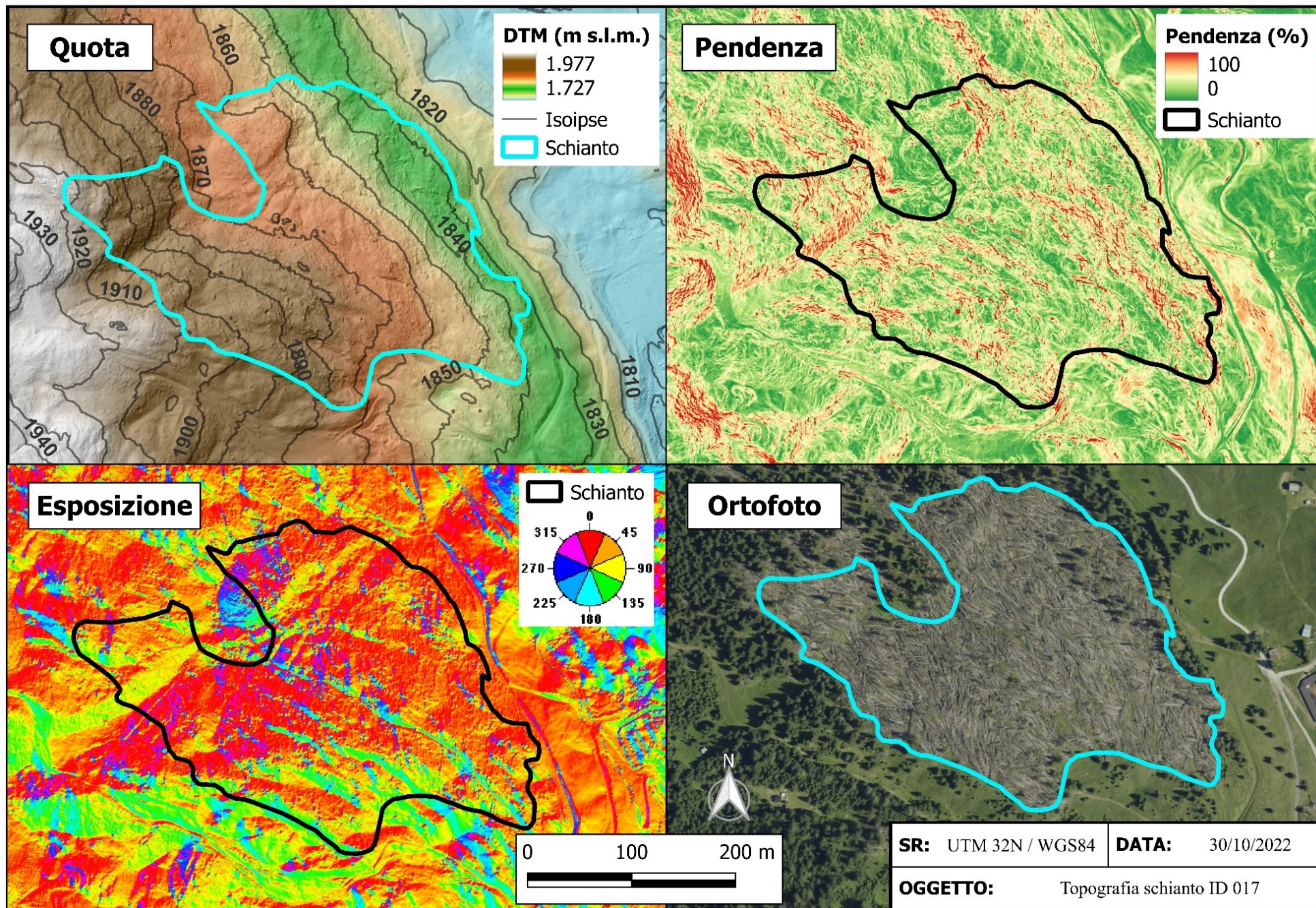


Figura 29: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 017

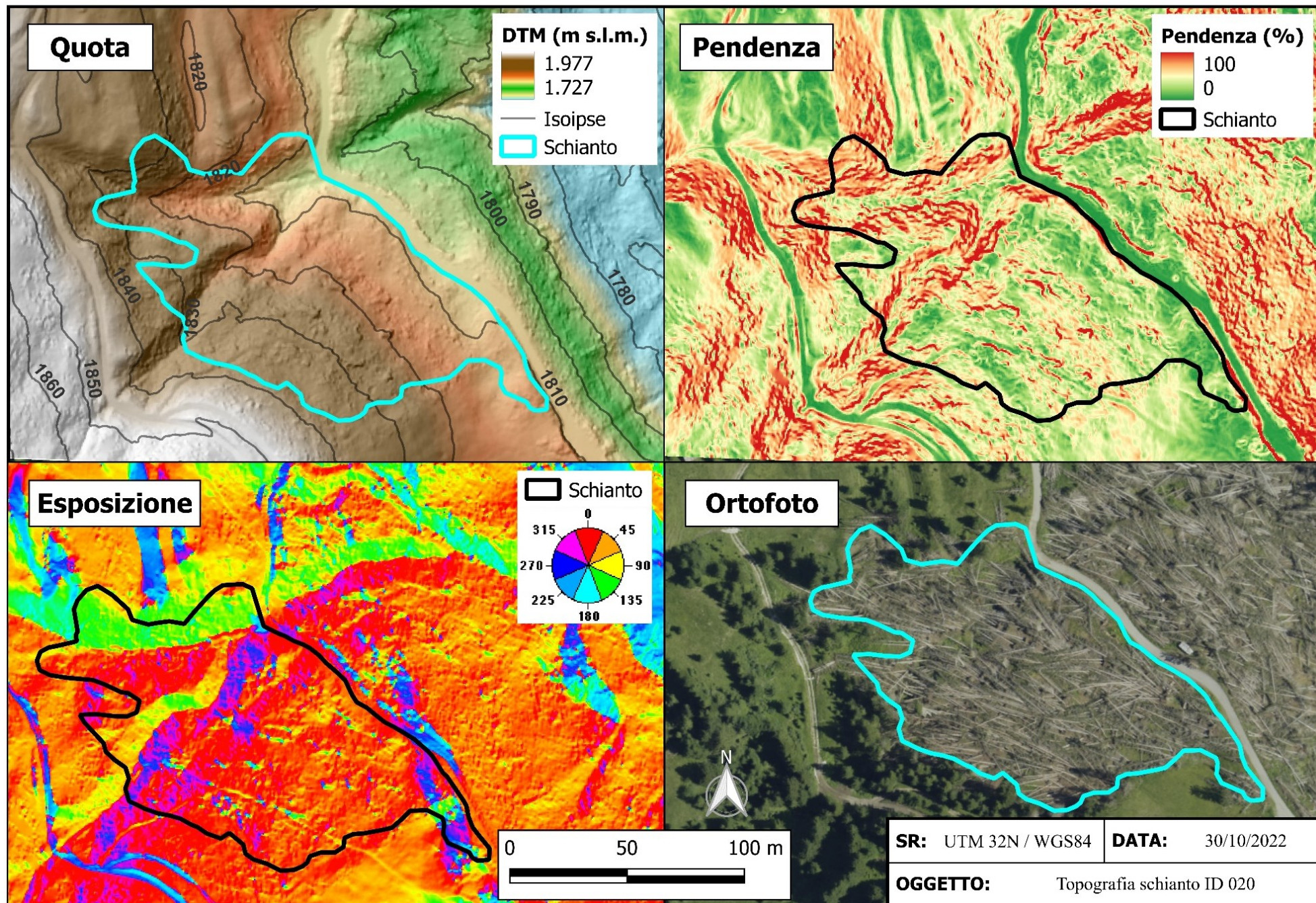


Figura 30: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 020

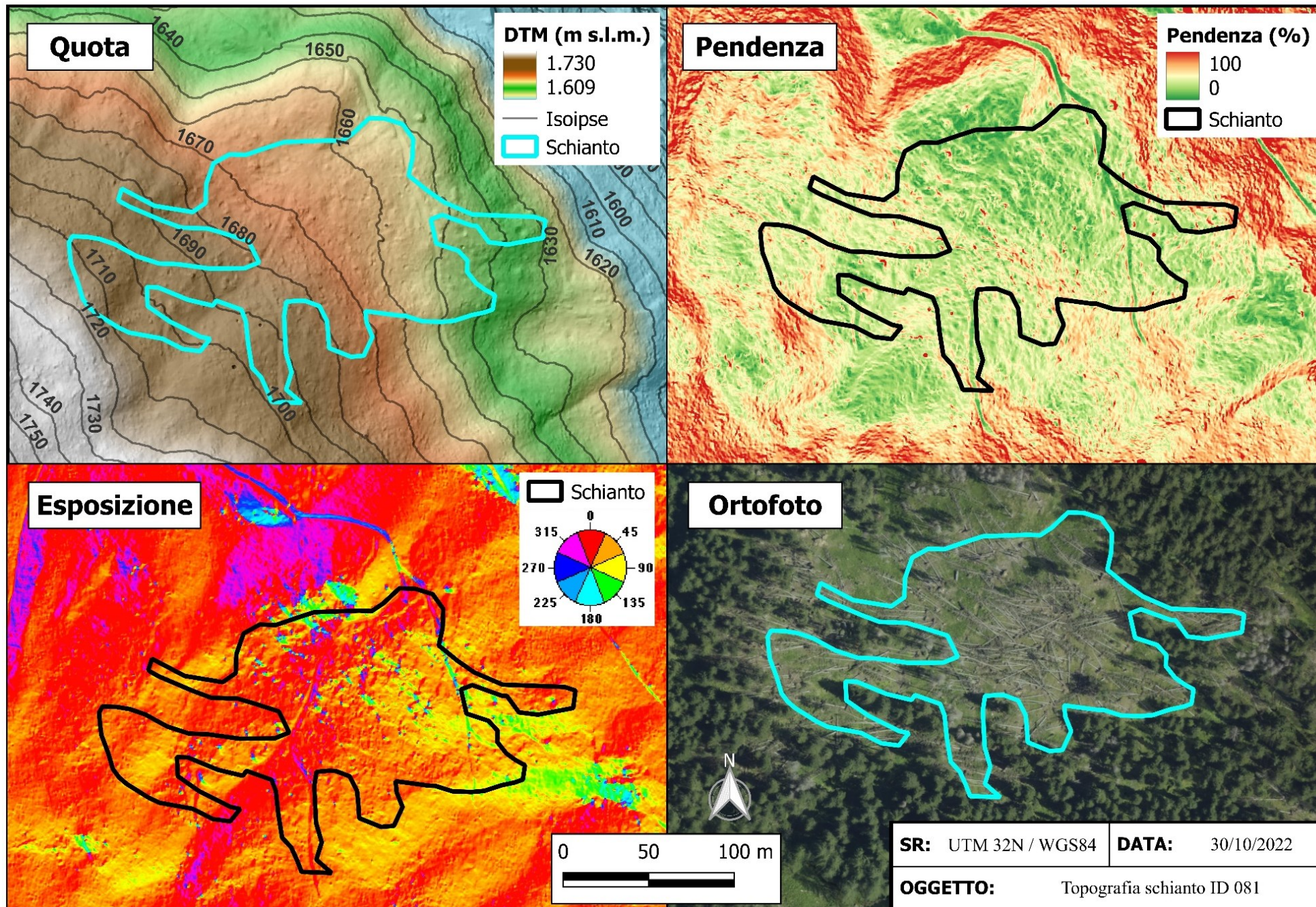


Figura 31: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 081

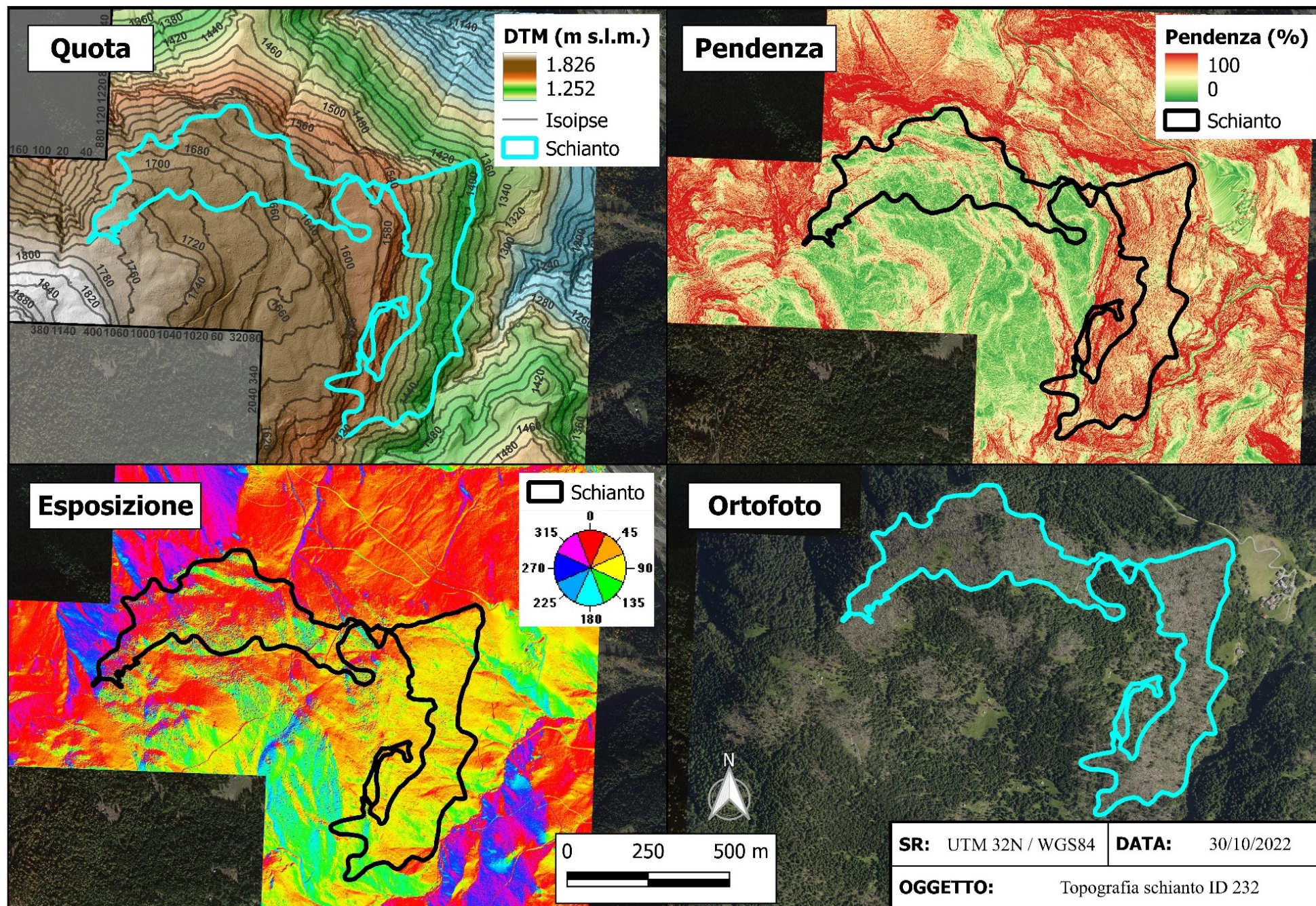


Figura 32: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 232

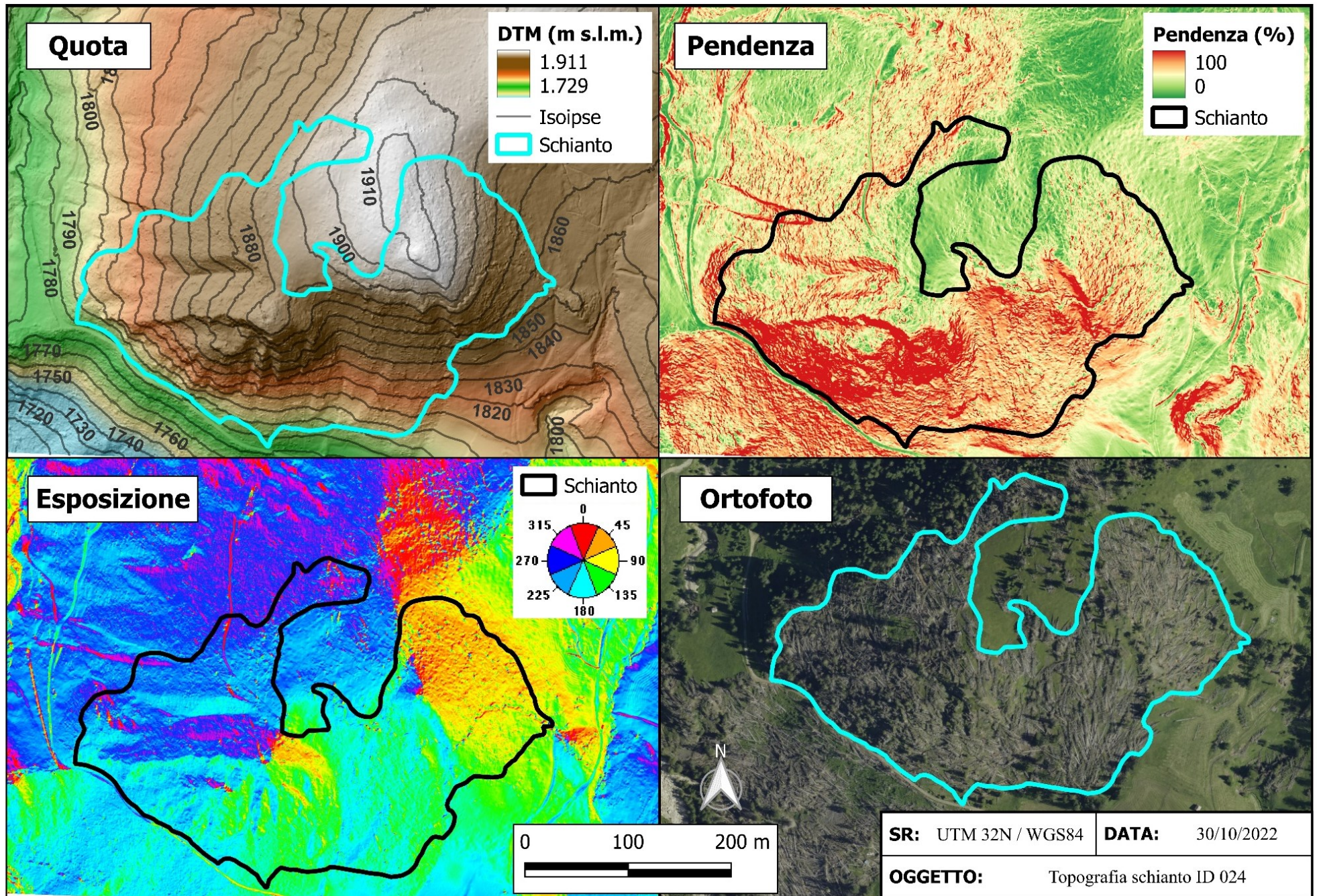


Figura 33: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 024

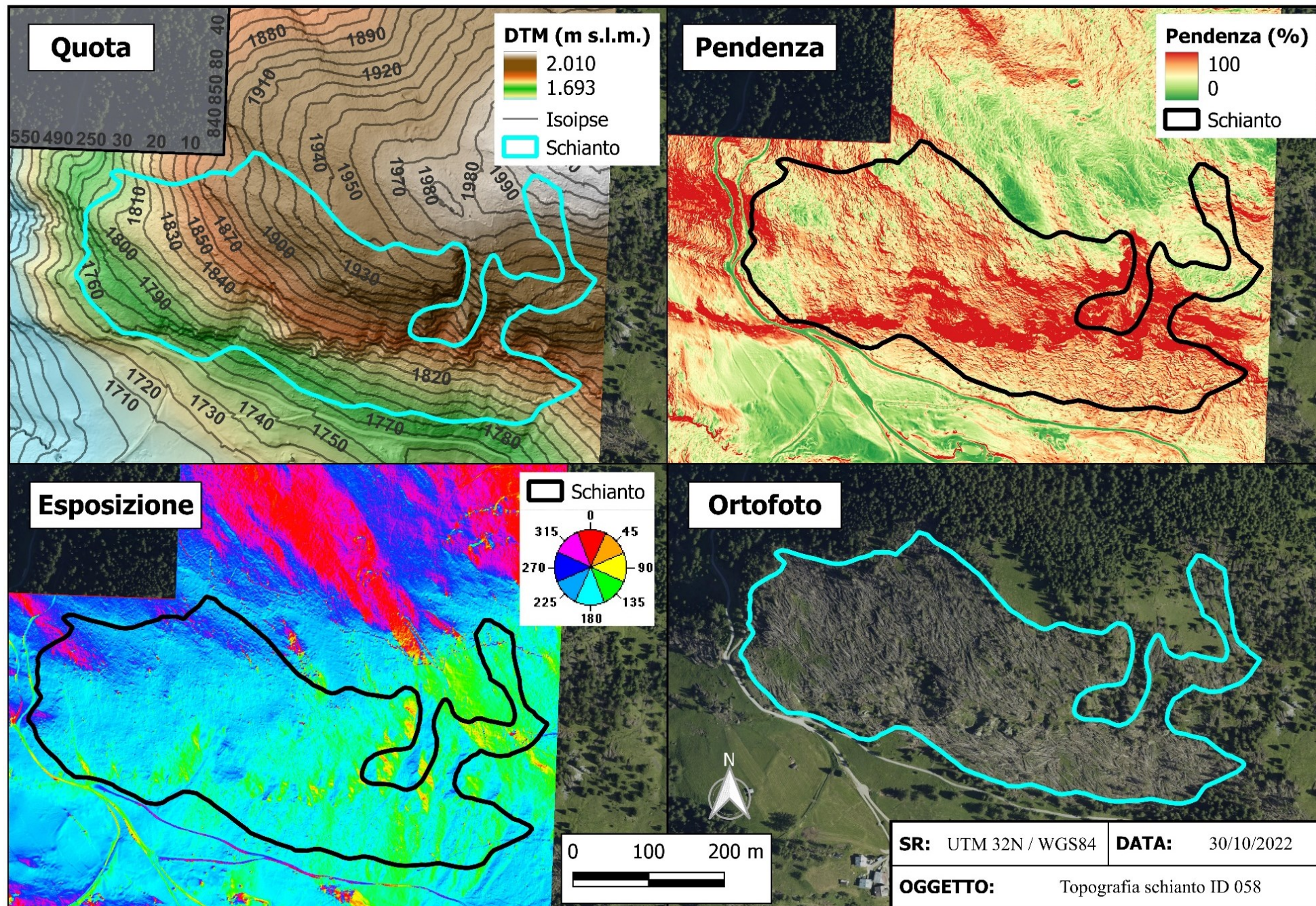


Figura 34: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 058



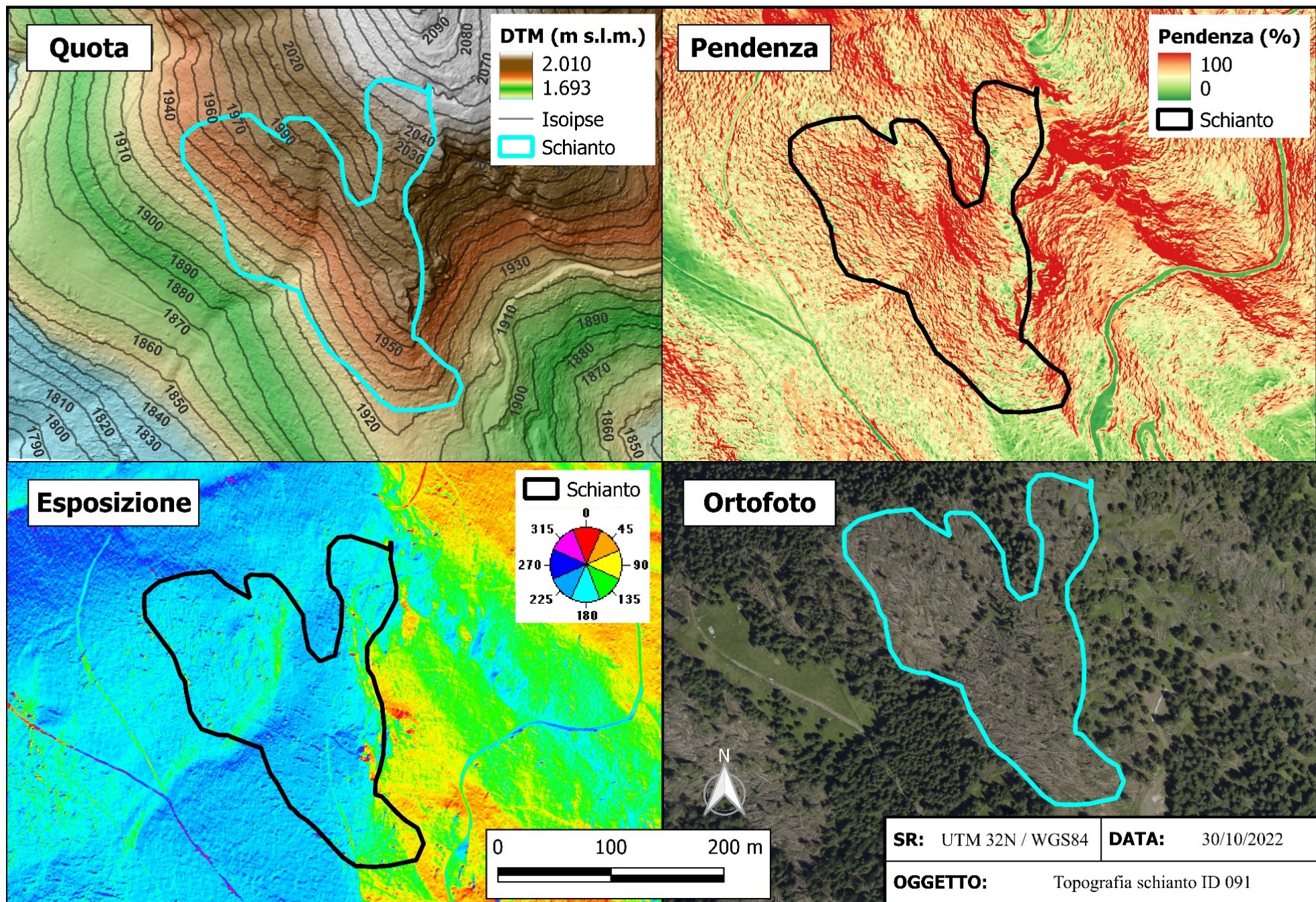


Figura 35: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 091

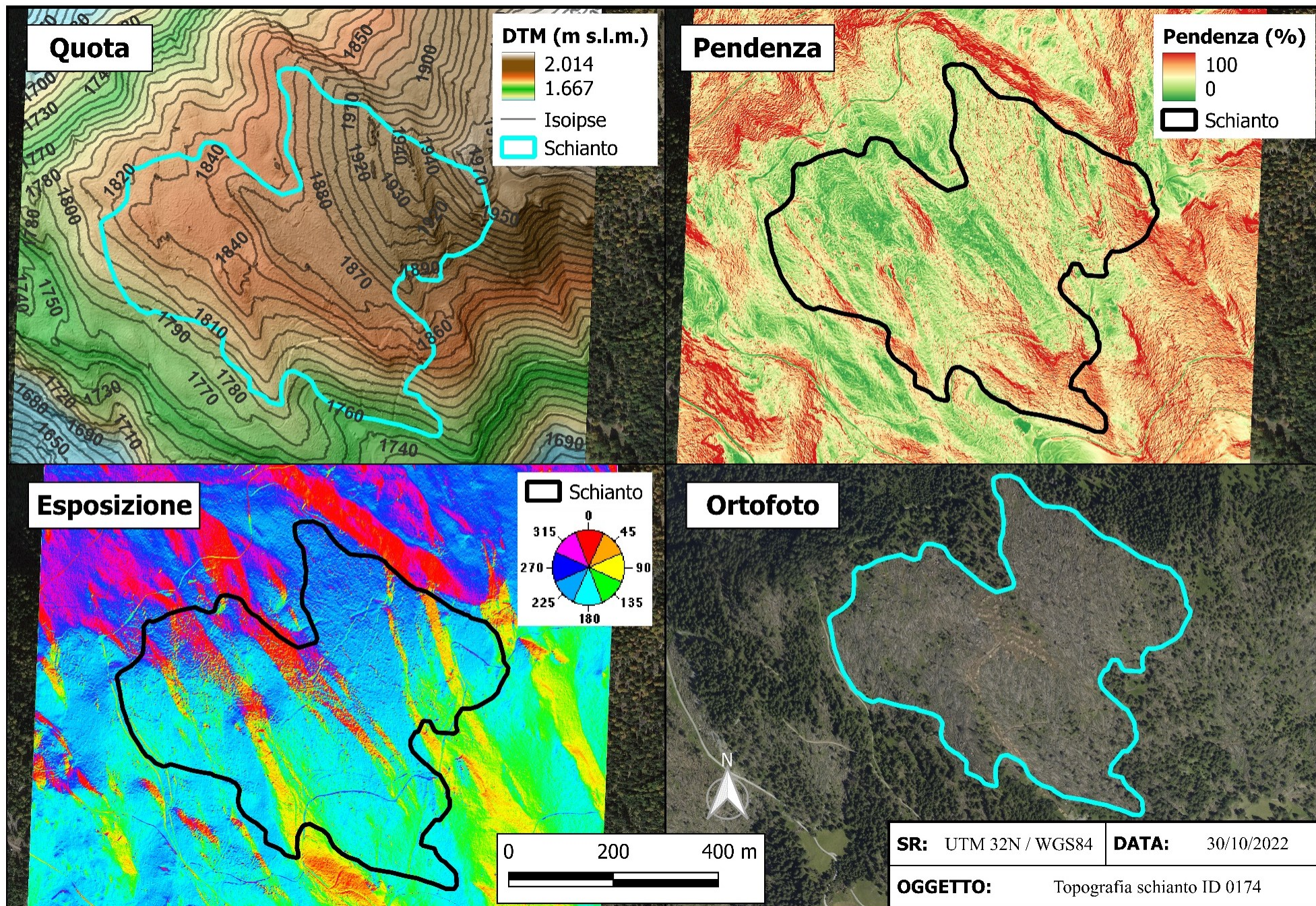
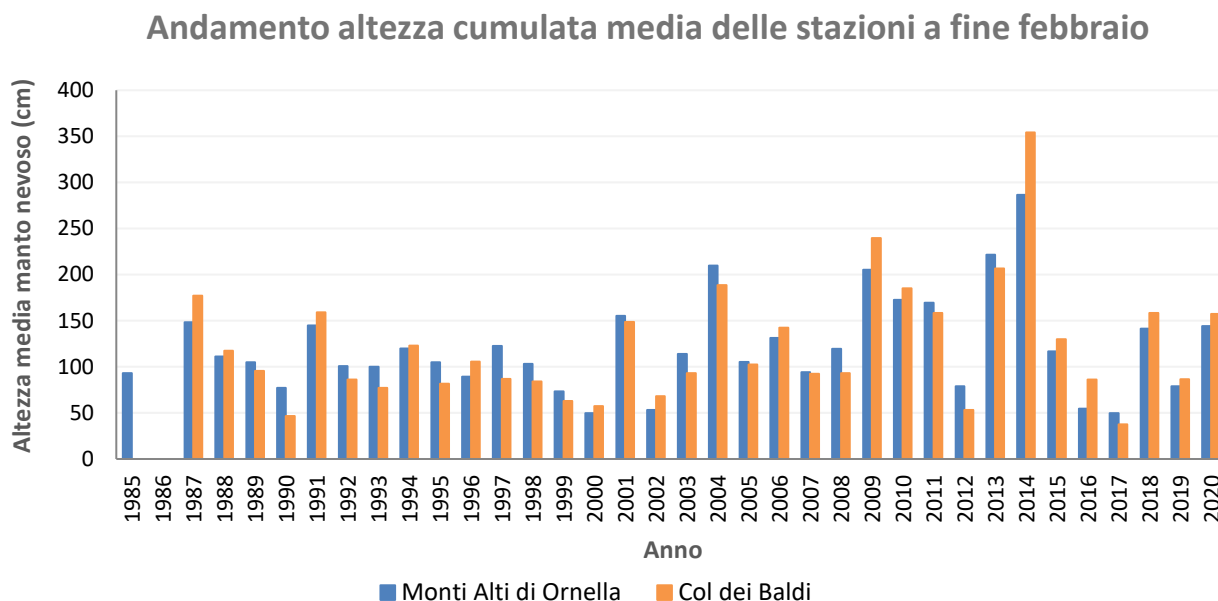


Figura 36: quota, pendenza, esposizione e ortofoto area test ID 174

## 5.2 Gumbel

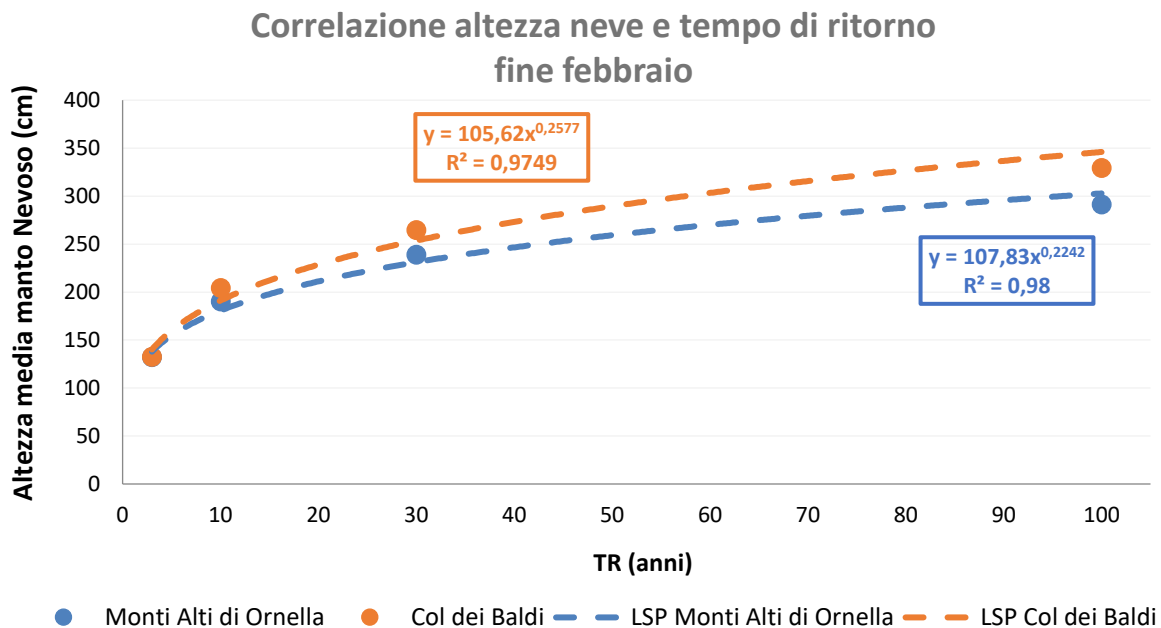
La distribuzione di Gumbel ha consentito di sviluppare i dati medi di altezza neve tra il 24 e il 27 febbraio di ogni anno delle stazioni di riferimento per i differenti tempi di ritorno. È inoltre stato possibile ricavarne le linee che correlano l'altezza di neve attesa con il tempo di ritorno. In figura 37 è possibile osservare l'altezza cumulata media dei quattro giorni di fine febbraio analizzati, nei differenti anni.



*Figura 37: altezza media cumulata 24-27 febbraio nei differenti anni per le due stazioni nivometriche*

Il grafico in figura 37 mostra gli anni con i maggiori picchi nivometrici alla fine di febbraio. L'andamento simile dei picchi di altezza del manto mostra la vicinanza delle due stazioni nivometriche di riferimento. In questo caso, l'anno con maggior neve cumulata a fine febbraio risulta essere il 2014.

In figura 38 invece sono osservabili i risultati della distribuzione di Gumbel per le stazioni nivometriche di riferimento con i rispettivi dati riportati in tabella 6 e tabella 7.



**Figura 38:** risultato grafico distribuzione di Gumbel di fine febbraio per le stazioni nivometriche di riferimento: altezza di neve attesa in funzione del tempo di ritorno

**Tabella 6:** risultati distribuzione di Gumbel per la stazione “Monti Altì di Ornella”

Data	TR (anni)			
	3	10	30	100
24-feb	132,15	192,44	243,17	297,56
25-feb	132,49	190,85	239,96	292,62
26-feb	133,22	190,96	239,54	291,63
27-feb	131,10	192,92	244,94	300,71
<b>Media</b>	131,97	190,05	238,91	291,31

**Tabella 7:** risultati distribuzione di Gumbel per la stazione “Col dei Baldi”

Data	TR (anni)			
	3	10	30	100
24-feb	133,31	208,21	271,23	338,80
25-feb	132,53	204,89	265,77	331,05
26-feb	132,26	203,38	263,23	327,39
27-feb	131,86	202,34	261,64	325,23
<b>Media</b>	132,38	204,13	264,50	329,23

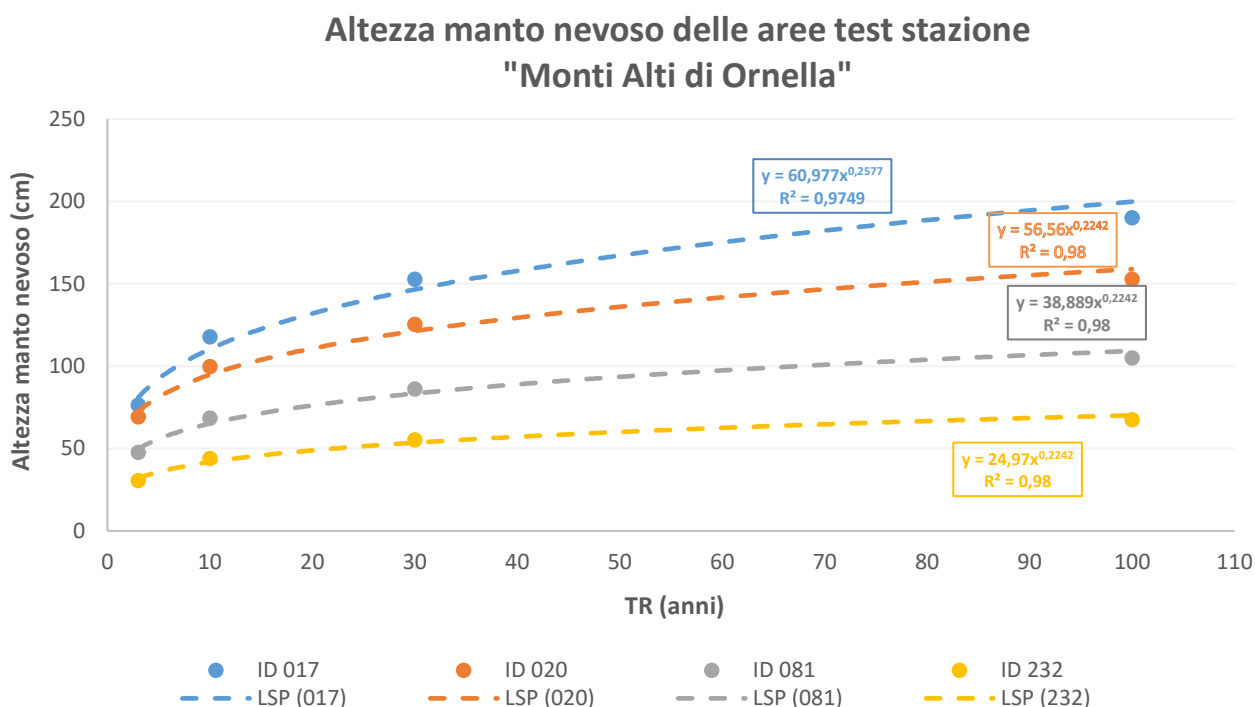
Dalla figura 38 è evidente come la stazione nivometrica “Col dei Baldi” possieda valori maggiori, soprattutto con l’aumento del tempo di ritorno. Il coefficiente di determinazione delle equazioni ottenute risulta superiore a 0,9 per entrambe, indice dell’affidabilità di queste rispetto ai dati.

In tabella 8 vengono riportati i risultati del test di Matalas inerenti a conferma del buon adattamento dei dati osservati con la distribuzione statistico probabilistica di Gumbel.

**Tabella 8:** risultato test di Matalas

	G-E		2 σ	
Monti Alti di Ornella	0,08	<	1,08	"OK"
Col dei Baldi	0,31	<	1,08	"OK"

In figura 39 e 40 vengono riportati i risultati grafici della distribuzione di Gumbel adattati ad ogni area test di riferimento con la relativa correzione di quota.



**Figura 39:** altezza manto nevoso fine febbraio aree test della stazione "Monti Alti di Ornella"

### Altezza manto nevoso delle aree test stazione "Col dei Baldi"

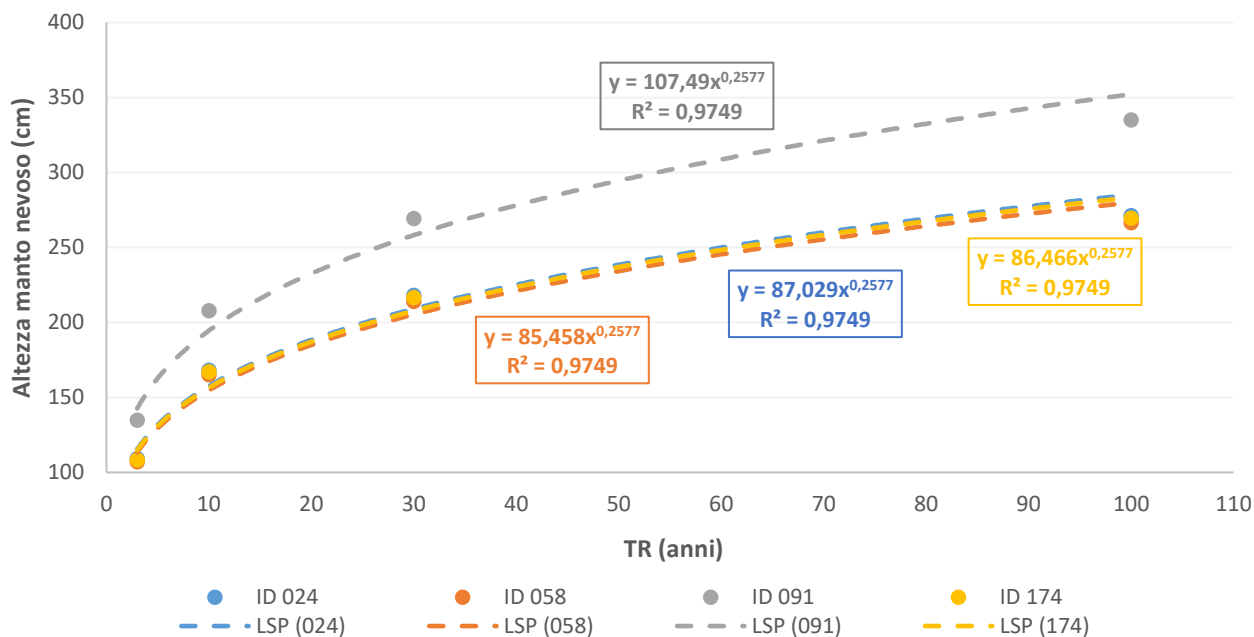


Figura 40: altezza manto nevoso fine febbraio aree test della stazione “Col dei Baldi”

Osservando figura 40, le aree relative alla stazione nivometrica “Col dei Baldi” possiedono valori di altezza del manto nevoso simili, in quanto la quota media (tabella 5) varia di una decina di metri, fatta eccezione per l’area 091. Nel caso invece delle aree riferite alla stazione “Monti Alti di Ornella” (figura 39) la differenza di quota quasi costante (tabella 4) permette di avere valori nettamente differenti e separati.

### 5.2 DH3gg

I risultati dell’analisi del DH3gg sulle differenti stazioni e le relative aree di riferimento (previa correzione di quota) sono osservabili in tabella 9.

Tabella 9: analisi DH3gg sulle stazioni e sulle rispettive aree tramite correzione di quota

DH3gg (cm)			
Stazione Monti Alti di Ornella	41,76	Stazione Col dei Baldi	47,58
ID 017	21.82	ID 024	39.55
ID 020	19.64	ID 058	38.84
ID 081	12.74	ID 091	48.85
ID 232	8.00	ID 174	39.29

Come nel caso della distribuzione di Gumbel, la correzione di quota porta a diminuire i valori del DH3gg rispetto al dato della stazione. Questo fattore è dovuto alla quota inferiore delle aree test rispetto alla stazione nivometrica di appartenenza. In particolare, i dati inerenti alle aree riferite alla stazione “Monti Alti di Ornella” differiscono maggiormente a causa dell’elevata quota di quest’ultima rispetto alle aree studio.

### 5.3 Possibilità di distacco

In tabella 10 vengono riportati i dati relativi alle aree riferiti alla stazione “Monti Alti di Ornella”, mentre in tabella 11 quelli relativi alla stazione “Col dei Baldi”. Il valore di SVH senza biomassa a terra (con la conseguente possibilità di distacco valanghivo) è pari a 0.28 m, (Baggio et al., 2022)

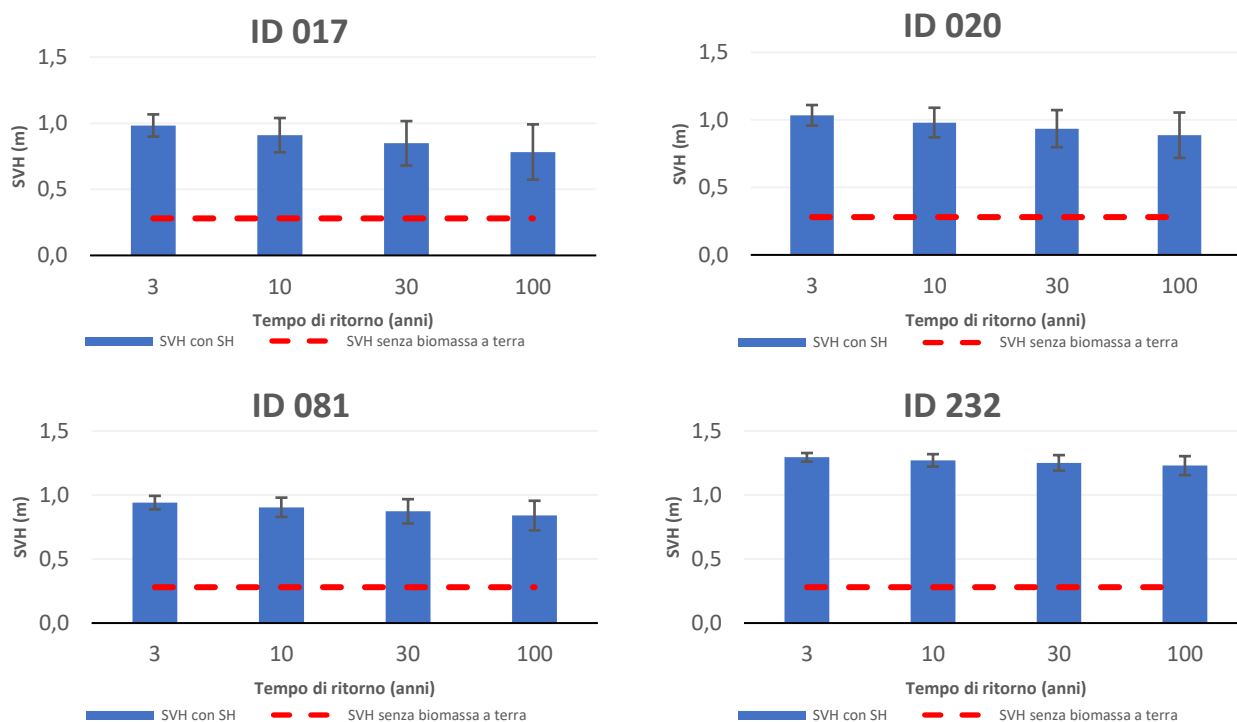
**Tabella 10:** possibilità di distacco nelle aree relative alla stazione “Monti Alti di Ornella”

		Altezza manto nevoso (m)	SVH senza neve (m)	SVH con SH = f(TR) (m)		SVH senza biomassa a terra (m)	Possibilità distacco
				Valore	Errore (+/-)		
<b>ID 017</b>	<b>TR<sub>3</sub></b>	0.76	1.12	0.98	0.08	0.28	<b>NO</b>
	<b>TR<sub>10</sub></b>	1.18	1.12	0.91	0.13		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>30</sub></b>	1.53	1.12	0.85	0.17		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>100</sub></b>	1.90	1.12	0.78	0.21		<b>NO</b>
<b>ID 020</b>	<b>TR<sub>3</sub></b>	0.69	1.16	1.03	0.08	0.28	<b>NO</b>
	<b>TR<sub>10</sub></b>	1.00	1.16	0.98	0.11		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>30</sub></b>	1.25	1.16	0.93	0.14		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>100</sub></b>	1.53	1.16	0.89	0.17		<b>NO</b>
<b>ID 081</b>	<b>TR<sub>3</sub></b>	0.48	1.02	0.94	0.05	0.28	<b>NO</b>
	<b>TR<sub>10</sub></b>	0.69	1.02	0.90	0.08		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>30</sub></b>	0.86	1.02	0.87	0.09		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>100</sub></b>	1.05	1.02	0.84	0.12		<b>NO</b>
<b>ID 232</b>	<b>TR<sub>3</sub></b>	0.31	1.35	1.29	0.03	0.28	<b>NO</b>
	<b>TR<sub>10</sub></b>	0.44	1.35	1.27	0.05		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>30</sub></b>	0.55	1.35	1.25	0.06		<b>NO</b>
	<b>TR<sub>100</sub></b>	0.67	1.35	1.23	0.07		<b>NO</b>

**Tabella 11:** possibilità di distacco nelle aree relative alla stazione “Col dei Baldi”

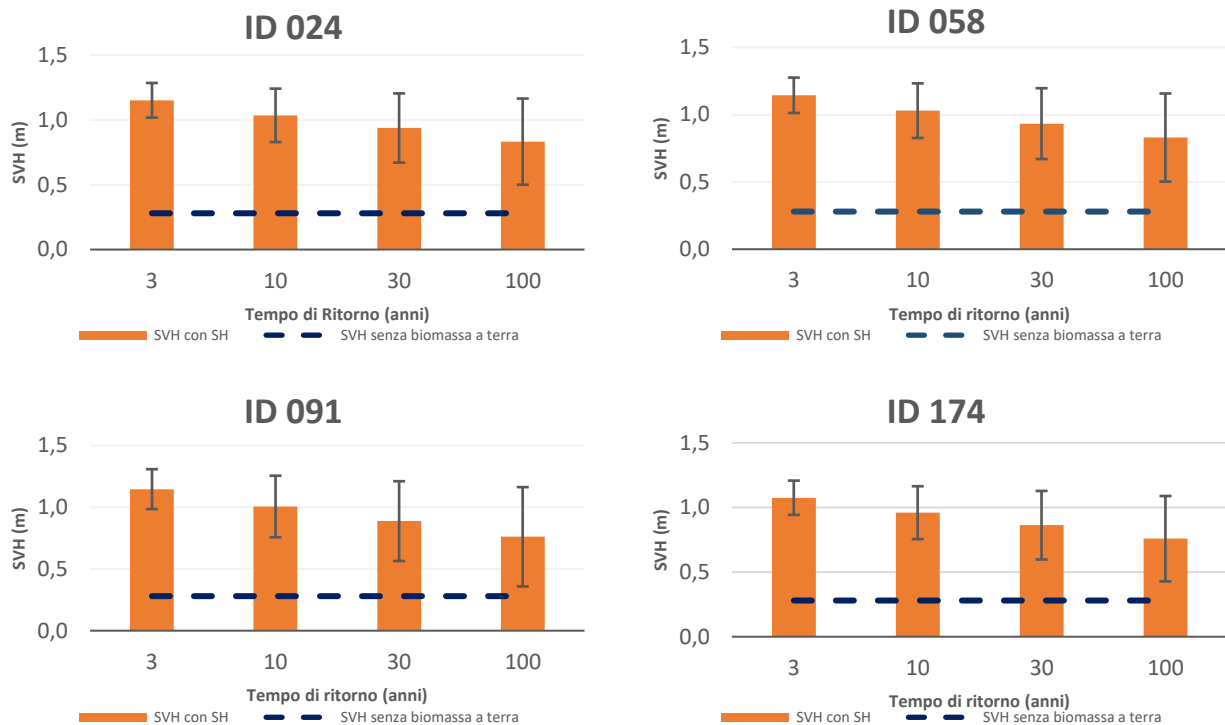
		Altezza manto nevoso (m)	SVH senza neve (m)	SVH con SH = f(TR) (m)		SVH senza biomassa a terra	Possibilità distacco
				Valore	Errore (+/-)		
ID 024	TR <sub>3</sub>	1.22	1.37	1.15	0.13	0.28	NO
	TR <sub>10</sub>	1.87	1.37	1.04	0.21		NO
	TR <sub>30</sub>	2.18	1.37	0.98	0.27		NO
	TR <sub>100</sub>	3.02	1.37	0.83	0.33		NO
ID 058	TR <sub>3</sub>	1.47	1.41	1.15	0.13	0.28	NO
	TR <sub>10</sub>	2.27	1.41	1.01	0.20		NO
	TR <sub>30</sub>	2.94	1.41	0.89	0.26		NO
	TR <sub>100</sub>	3.66	1.41	0.76	0.33		NO
ID 091	TR <sub>3</sub>	1.47	1.41	1.15	0.16	0.28	NO
	TR <sub>10</sub>	2.27	1.41	1.01	0.25		NO
	TR <sub>30</sub>	2.94	1.41	0.89	0.32		NO
	TR <sub>100</sub>	3.66	1.41	0.76	0.40		NO
ID 174	TR <sub>3</sub>	1.21	1.29	1.08	0.13	0.28	NO
	TR <sub>10</sub>	1.86	1.29	0.96	0.20		NO
	TR <sub>30</sub>	2.41	1.29	0.86	0.27		NO
	TR <sub>100</sub>	3.00	1.29	0.76	0.33		NO

In figura 41 e 42 vengono riportate le restituzioni grafiche dell’SVH con SH e con il relativo errore, derivante dalle equazioni 19 e 20.



**Figura 41:** SVH con SH e relativo errore per le aree riferite alla stazione "Monti Altì di Ornella"





**Figura 42:** SVH con SH e relativo errore per le aree riferite alla stazione "Col dei Baldi"

Dai grafici si denota subito come all'aumentare del tempo di ritorno diminuisca il valore di SVH a causa dell'aumento dell'altezza neve. Inoltre, al diminuire del valore di SVH, aumenta l'incertezza associata al valore di SVH calcolato.

Nel caso dell'area ID 232 riferita alla stazione "Monti Alti di Ornella" (figura 41) possiamo subito notare la ristretta differenza tra i tempi di ritorno. Osservando tabella 10, i dati di altezza del manto nevoso per l'area presa in considerazione sono visibilmente inferiori, dati strettamente correlati alla diminuzione in valore causato dalla correzione di quota.

### 5.4 correlazione SVH tra PRA e Aree schiantate

Il procedimento di verifica per la possibilità di distacco è stato sviluppato anche sulle singole PRA. Le PRA con l'SVH per ogni singola area sono osservabili nelle figure 43-50.

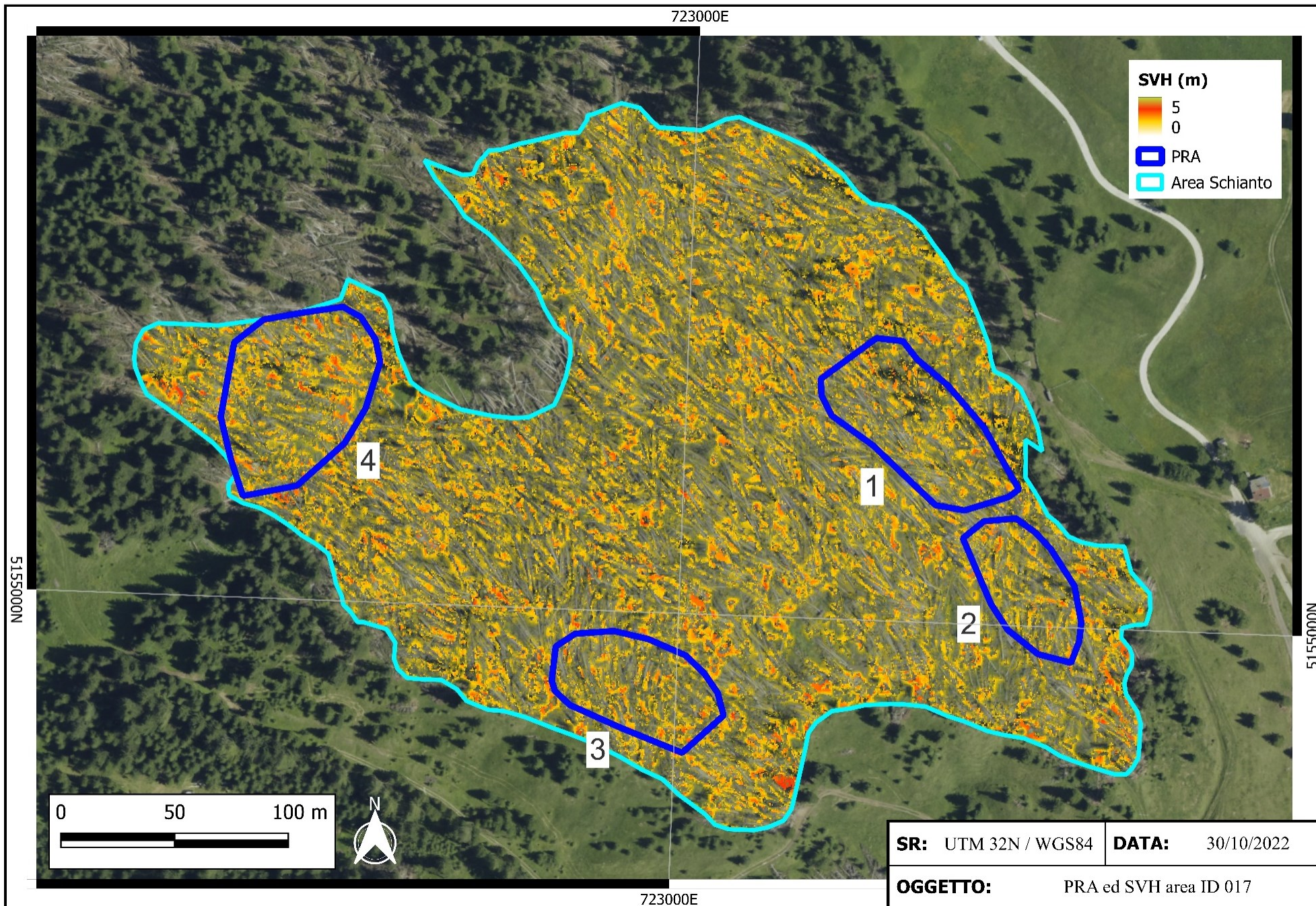
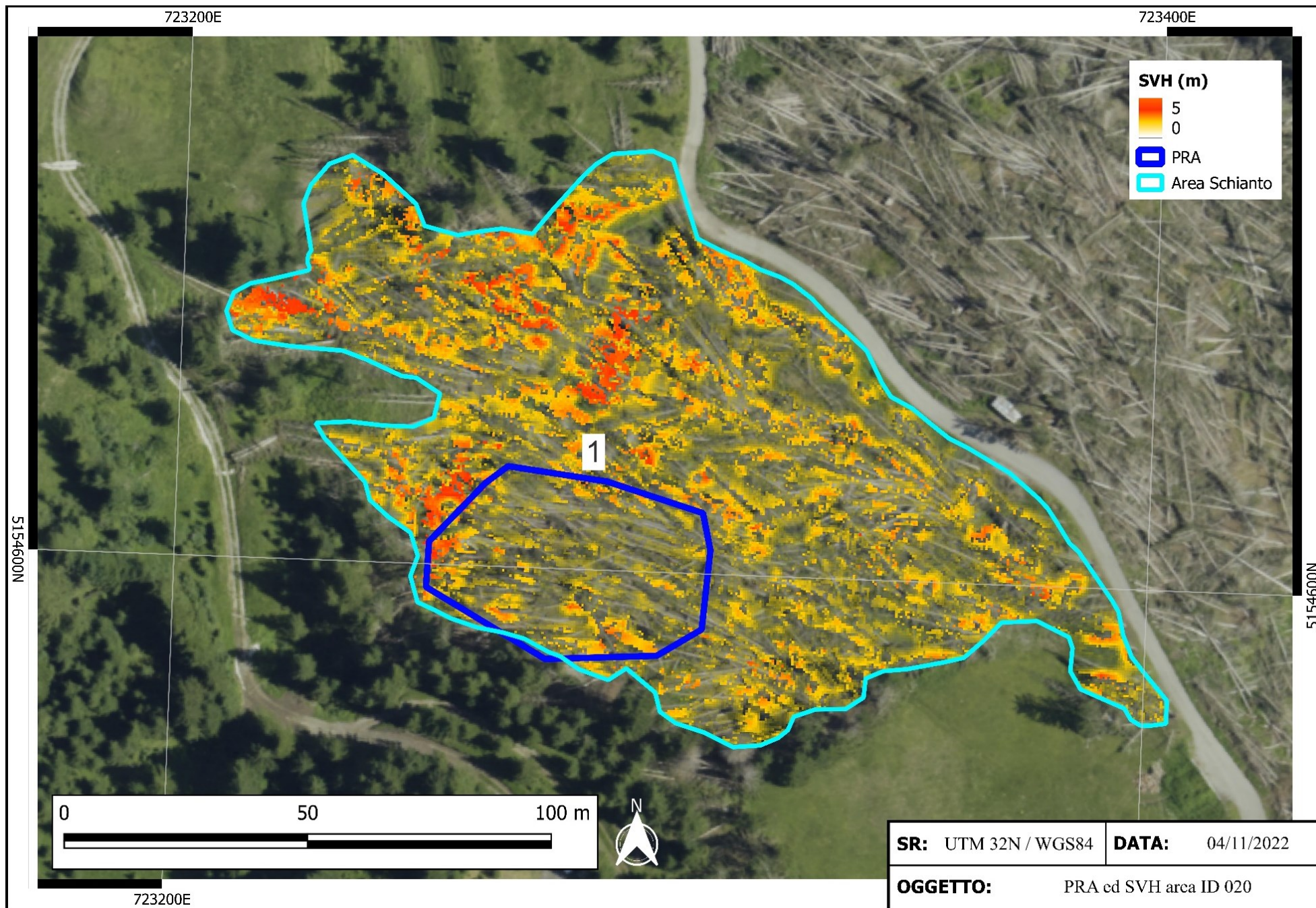


Figura 43: SVH con relative PRA area ID 017



**Figura 44:** SVH con relative PRA area ID 020

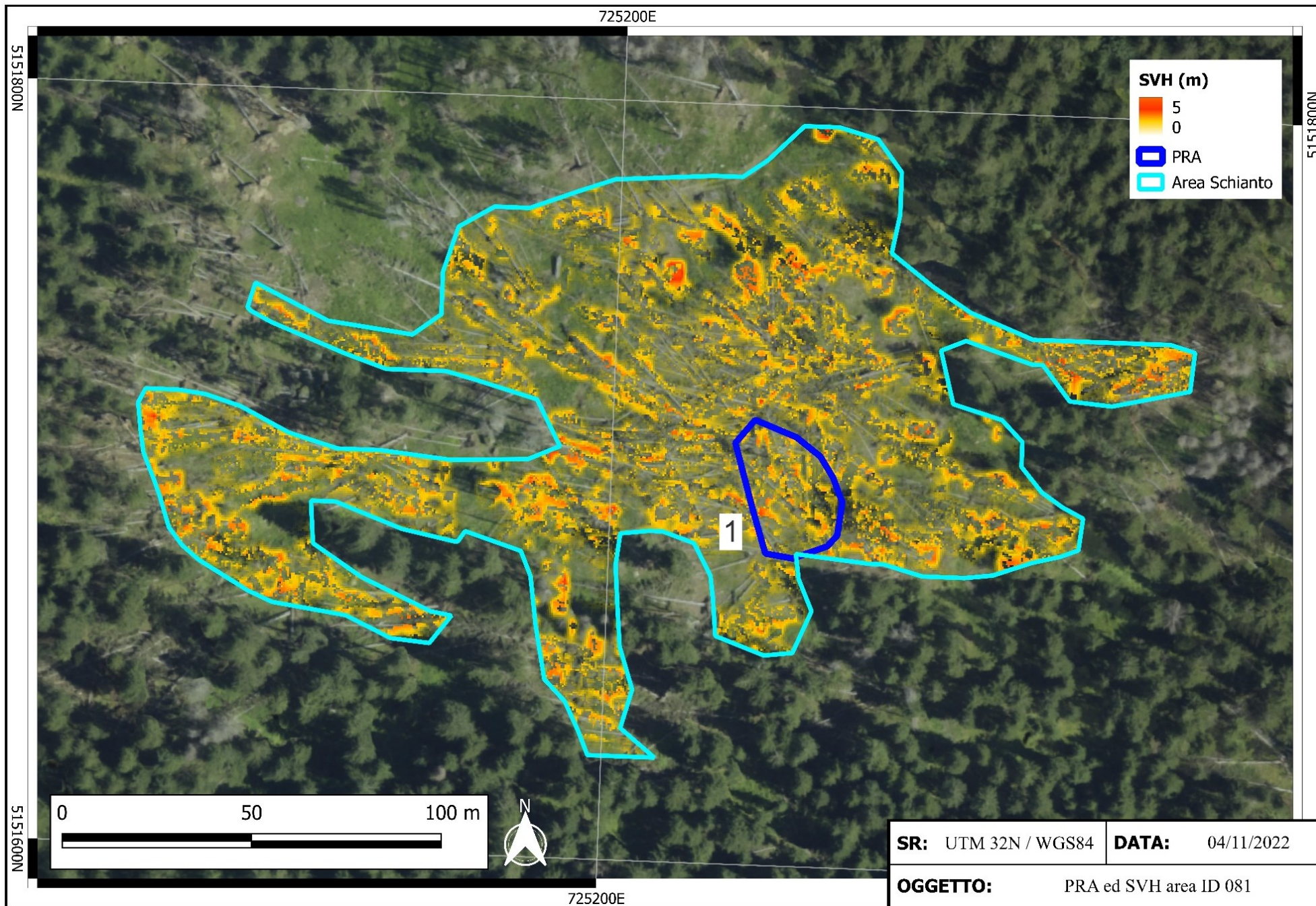


Figura 45: SVH con relative PRA area ID 081

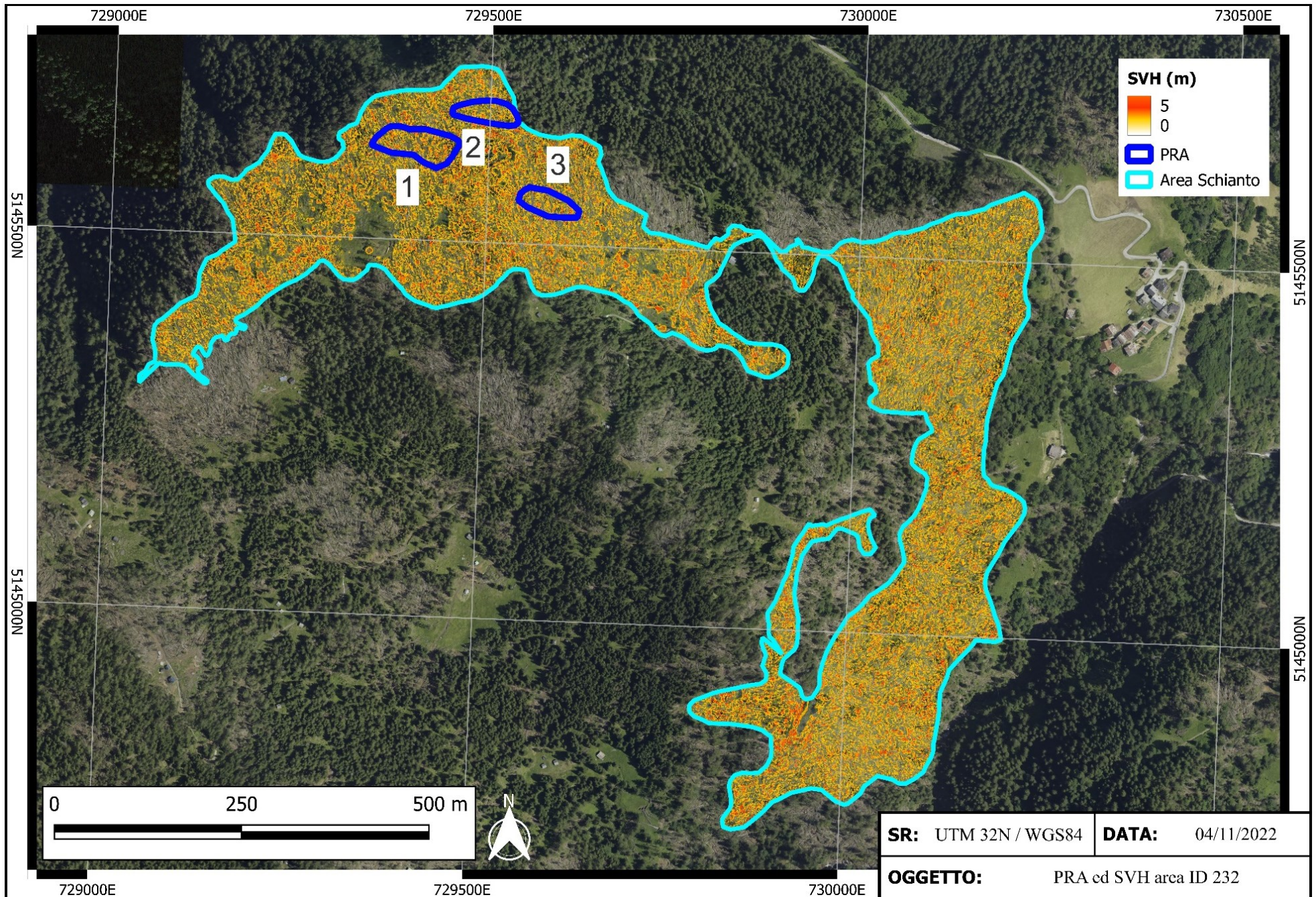
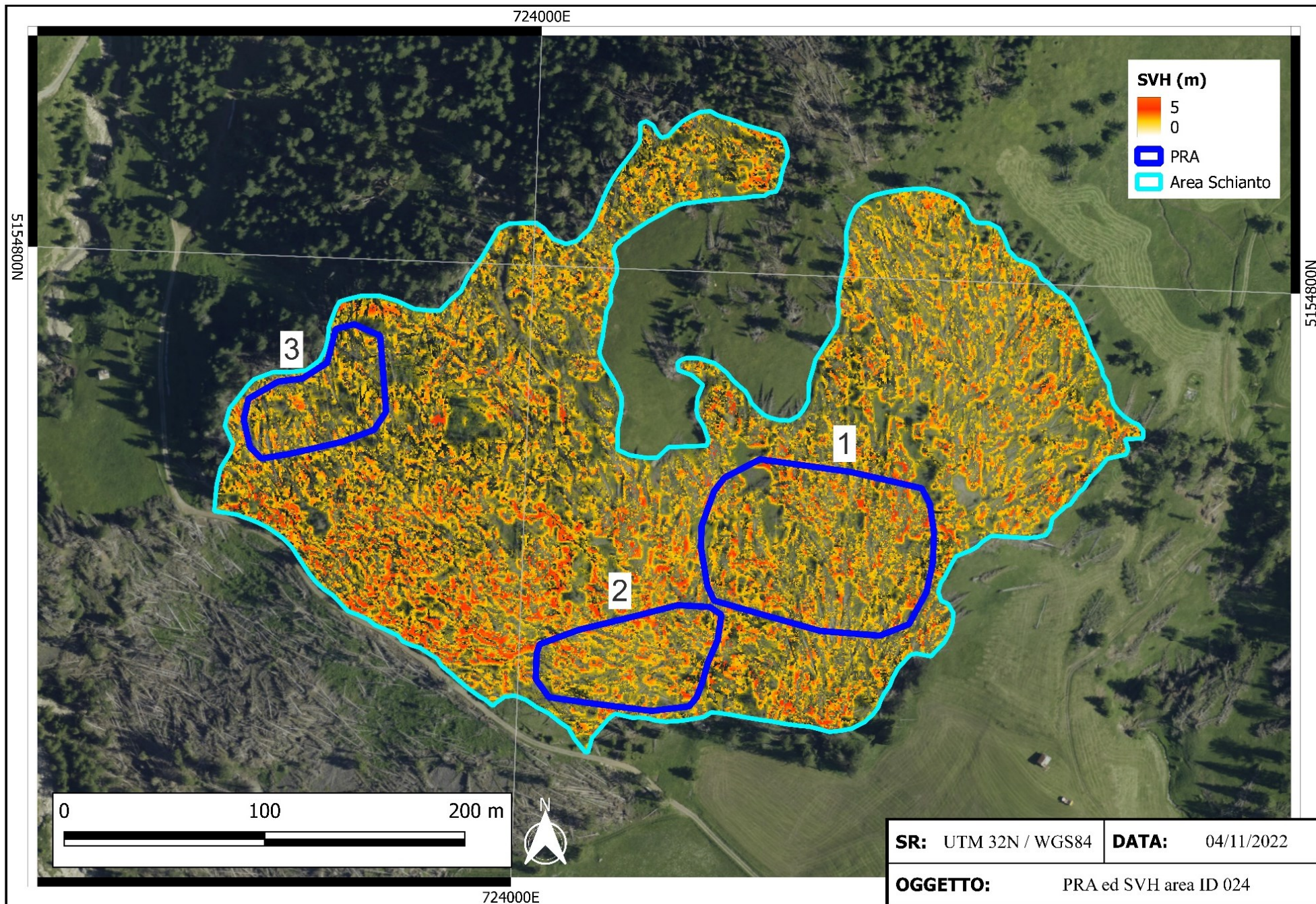


Figura 46: SVH con relative PRA area ID 232



*Figura 47: SVH con relative PRA area ID 024*

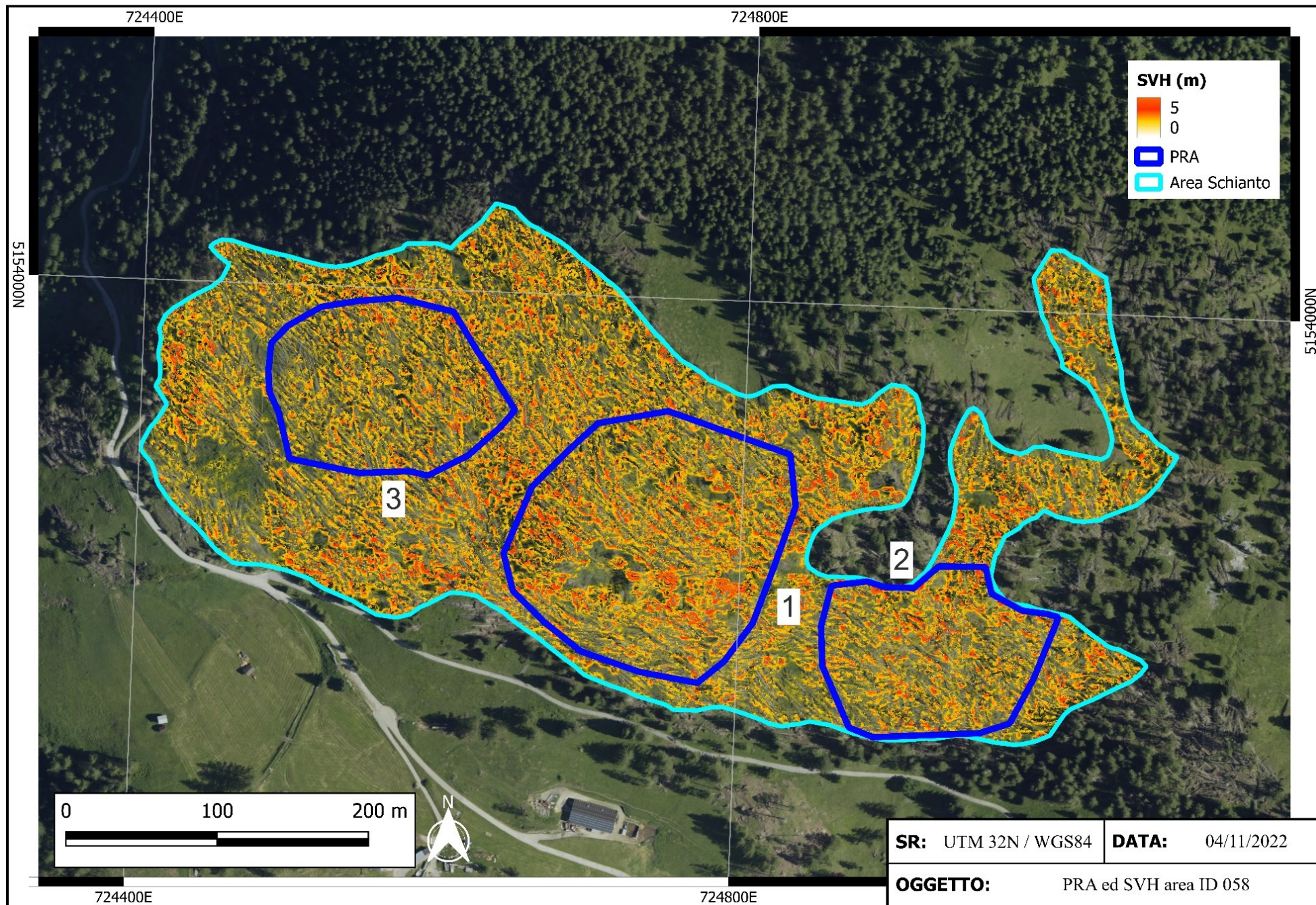


Figura 48: SVH con relative PRA area ID 058

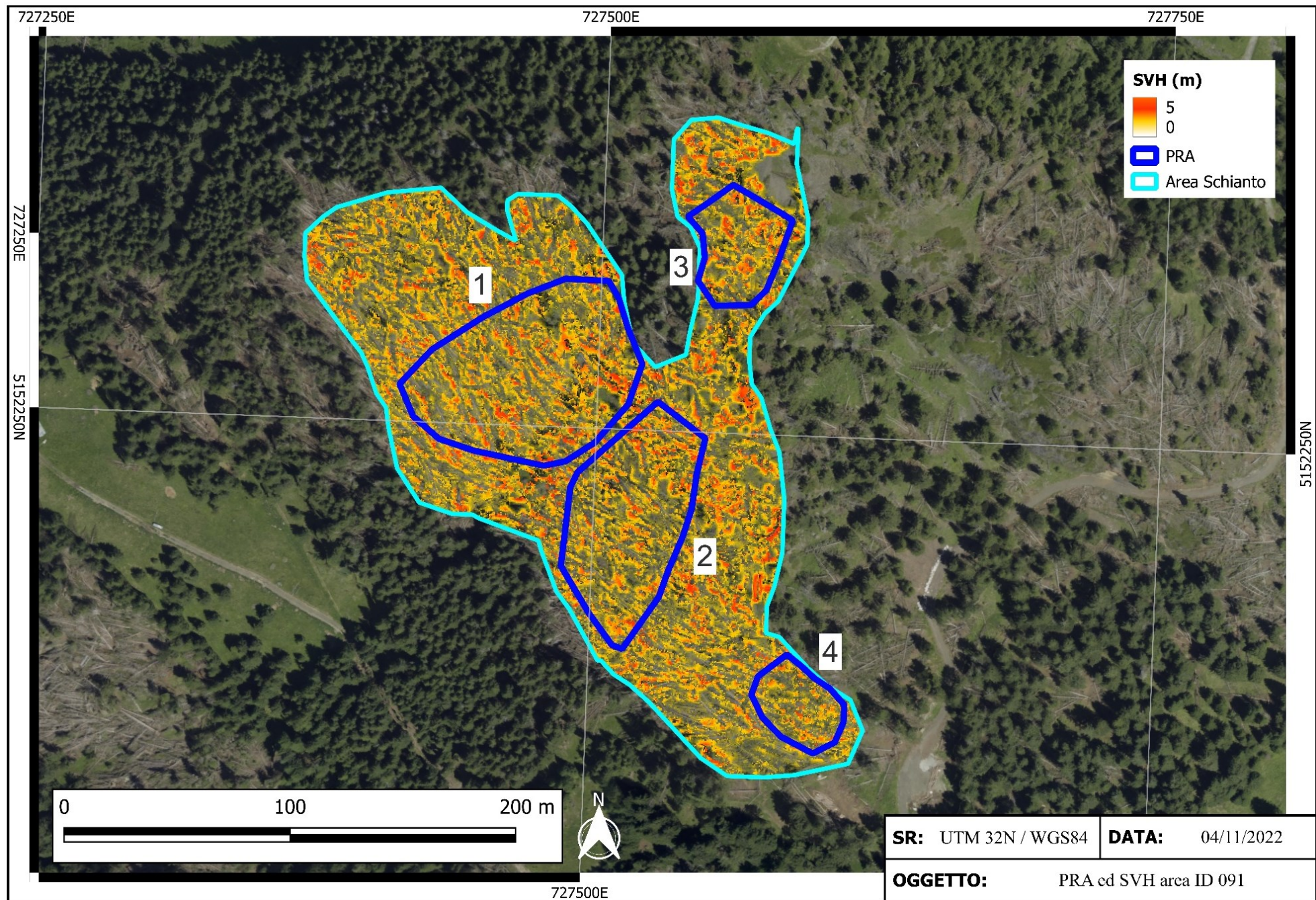
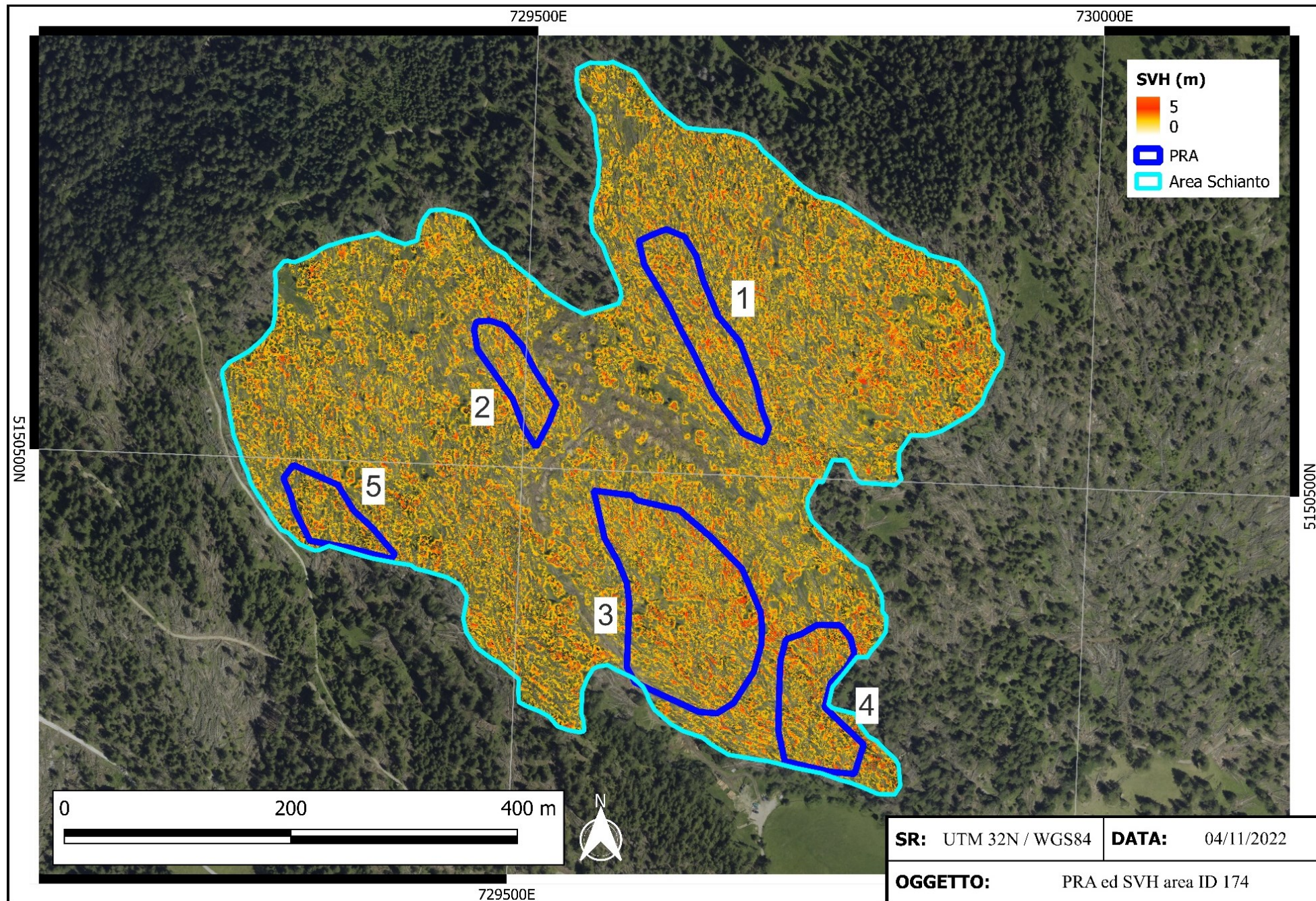


Figura 49: SVH con relative PRA area ID 091





*Figura 50: SVH con relative PRA area ID 174*

Per poter formulare un confronto della variazione del SVH con la neve, sono stati presi in considerazione i dati di distribuzione di Gumbel per il tempo di ritorno pari a cento anni. I dati vengono riportati in tabella 12 e 13, mentre gli istogrammi come rappresentazione grafica, in figure 51 e 52.

**Tabella 12:** confronto SVH a  $TR_{100}$  tra area test e PRA di riferimento stazione “Monti Alti di Ornella”

ID Area	id PRA	SVH Area test (m)	SVH PRA (m)	Variabilità (m)
<b>017</b>	1	0,78	0,74	0,21
	2		0,84	0,21
	3		0,8	0,21
	4		0,85	0,21
<b>020</b>	1	0,89	0,71	0,17
<b>081</b>	1	0,84	0,96	0,12
<b>232</b>	1	1,23	1,31	0,07
	2		1,25	0,07
	3		1,24	0,07

**Tabella 13:** confronto SVH a  $TR_{100}$  tra area test e PRA di riferimento stazione “Col dei Baldi”

ID Area	id PRA	SVH Area test (m)	SVH PRA (m)	Variabilità (m)
<b>024</b>	1	0,83	0,54	0,33
	2		0,64	0,33
	3		0,60	0,33
<b>058</b>	1	0,83	0,95	0,33
	2		0,87	0,33
	3		0,75	0,33
<b>091</b>	1	0,761	0,79	0,40
	2		0,77	0,40
	3		0,83	0,40
	4		0,67	0,40
<b>174</b>	1	0,759	0,86	0,33
	2		0,89	0,33
	3		0,91	0,33
	4		0,98	0,33
	5		0,86	0,33

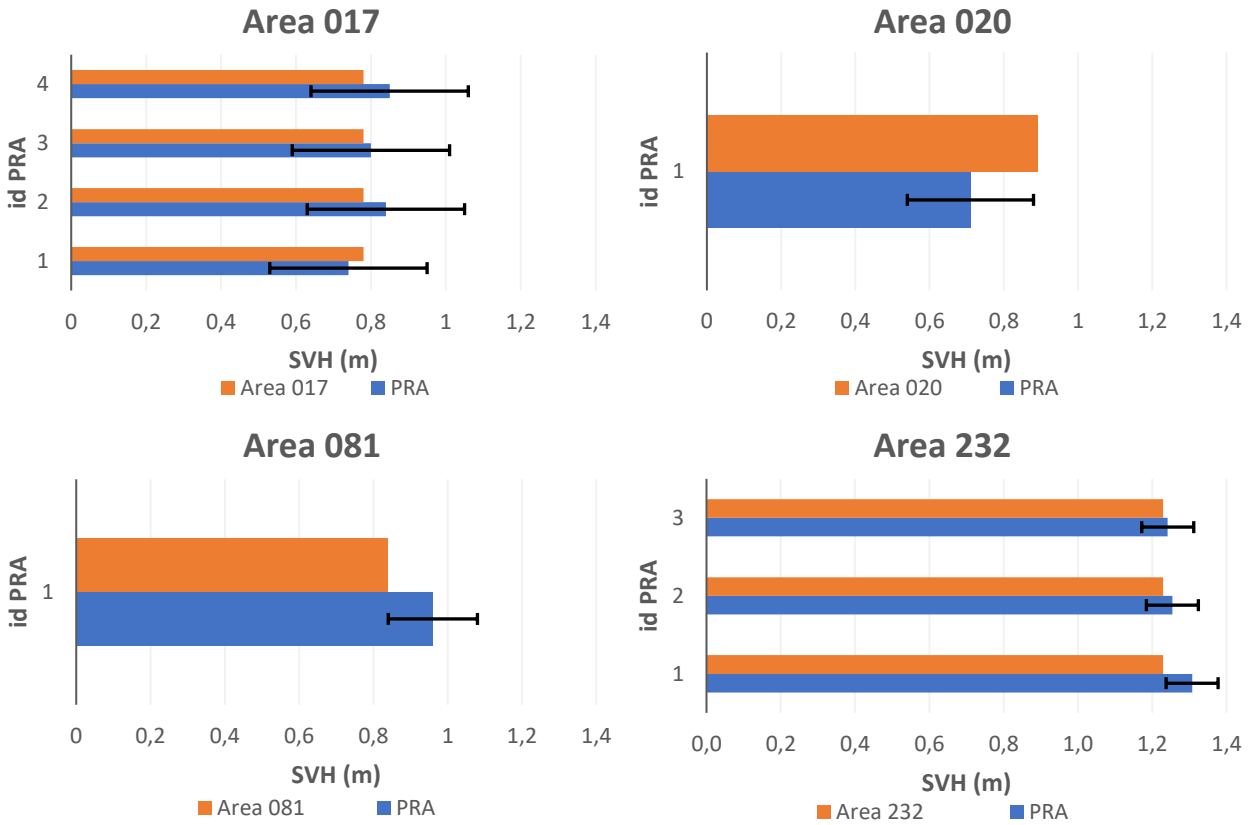


Figura 51: confronto SVH a TR100 tra area test e PRA di riferimento stazione "Monti Alti di Ornella"

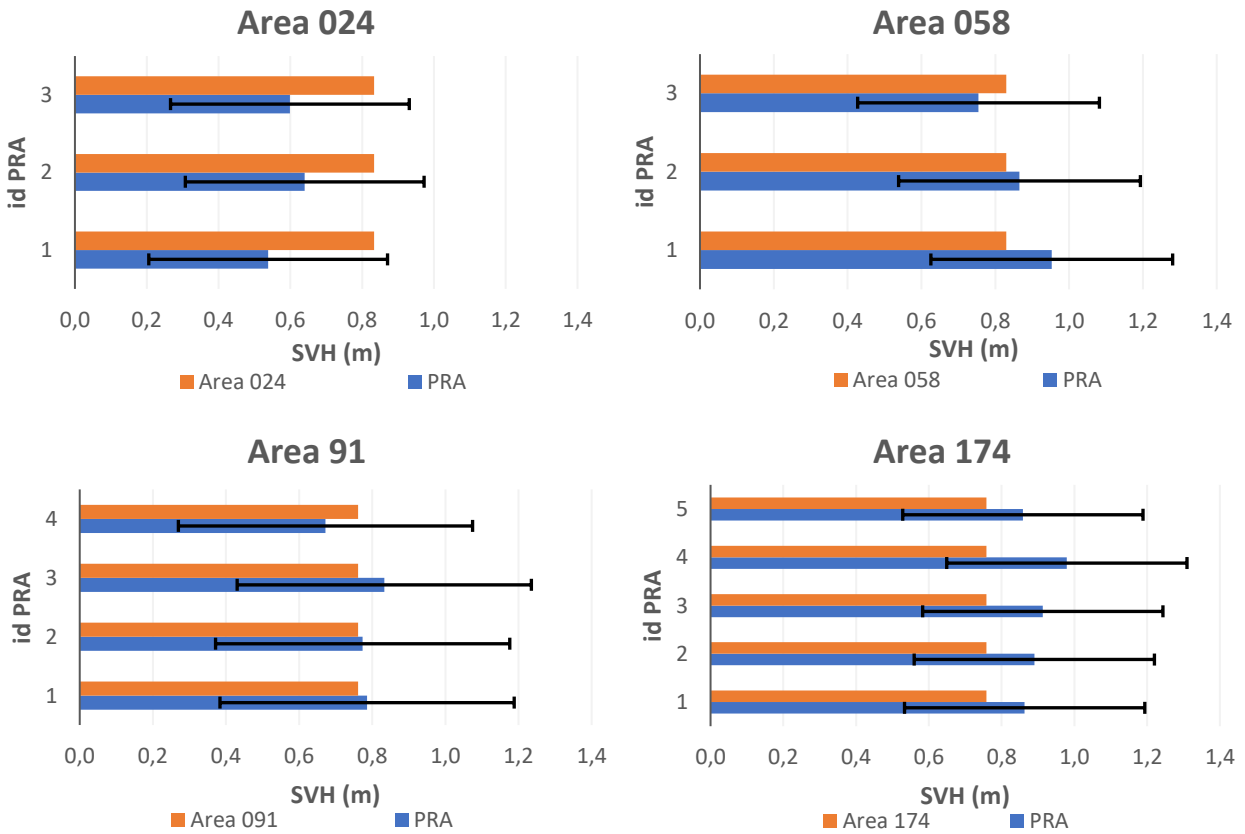


Figura 52: confronto SVH a TR100 tra area test e PRA di riferimento stazione "Col dei Baldi"

Da figura 51 e 52 si osserva subito come l'SVH a TR<sub>100</sub> della PRA, risulti superare quasi sempre lo stesso valore delle aree di riferimento. Le uniche eccezioni a questo dato sono per tutte le PRA dell'area ID 024, per PRA 1 dell'area ID 020, per PRA 1 dell'area ID 017 ed infine per PRA 4 dell'area ID 91. L'errore risulta essere sempre inferiore nell'area 232.

## **6. Discussioni**

### **6.1 Analisi dati storici**

L'analisi della distribuzione statistica dei dati storici per la fine di febbraio ha fornito una tendenza dei dati per il periodo considerato (Fратиanni et al., 2010) per i differenti tempi di ritorno. L'analisi effettuata sulle due stazioni nivometriche ha prodotto un buon trend di correlazione tra le altezze del manto nevoso e il tempo di ritorno riportate in figura 38 (Maggioni et al., 2006). L'andamento dei valori di altezza neve delle stazioni riportati (figure 37 e 38) dimostrano la propensione della stazione "Col dei Baldi" a possedere valori più elevati rispetto alla stazione "Monti Alti di Ornella" (Valt and Crepaz, 2022).

Il DH3gg calcolato, è risultato un parametro per la modellazione dell'altezza neve nella dinamica delle valanghe (Teich et al., 2012), utile nel nostro caso per la simulazione nei mesi successivi di febbraio. Il valore riscontrato per la stazione "Col dei Baldi" risulta essere superiore rispetto alla stazione "Monti Alti di Ornella".

La correzione di quota utilizzata per i valori di Gumbel (figure 39 e 40) per il DH3gg (tabella 9) possiede valore significativo in quanto tutte le aree risultano possedere una quota superiore ai 1350 m s.l.m. (Bavera and De Michele, 2009). Questa correzione ha permesso l'individuazione dei valori in altezza neve rispetto alla quota di ogni singola area, utile alle analisi successive. La formula utilizzata per la correzione può risultare poco affidabile in quanto ricavata su dati di una regione geografica differente rispetto a quella in questione. A dimostrazione, i valori riscontrati per la stazione Monti alti di Ornella (tabella 9 e figura 39), risultano fortemente devianti a causa della differenza di quota tra la stazione nivometrica di riferimento e le aree test. Tuttavia la stazione Col dei Baldi (tabella 9 e figura 40) presenta una differenza di quota ridotta rispetto alle afferenti aree, di conseguenza la deviazione derivante dalla formula non comporta un ingente errore. Da questo si auspica una buona approssimazione del dato.

### **6.3 Calcolo SVH e distacco**

L'analisi del valore di SVH conferma l'eterogeneità tra le singole PRA contenute all'interno delle singole aree, rispetto alle stesse. Le figure 43-50 riportano visivamente il valore di altezza della biomassa rispetto a una superficie uniforme. Più alto è tale valore più neve può essere accumulata all'interno di tale zona. I risultati del confronto tra i valori delle aree test con le PRA di appartenenza evidenzia la possibilità che si creino le condizioni di innesco valanga per alcune di queste, con valori minori rispetto all'intera area di riferimento. Di conseguenza è possibile affermare che i valori delle

PRA differiscano in valore da quelli delle aree di riferimento. Questo fattore è dovuto principalmente alla disetaneità del bosco in quanto aumenta l'eterogeneità della struttura forestale, e dalla differenza intraspecifica delle aree test. Tuttavia, il confronto tra il valore di riferimento di SVH calcolato in assenza di biomassa a terra e quello delle aree test ha evidenziato la bassa probabilità del manto nevoso nell'uniformare la superficie. Di conseguenza la possibilità di innesco valanghivo risulta scarsa.

## **6.4 Applicazioni e limitazioni**

Il parametro SVH rappresenta un indice utile per il calcolo della copertura nevosa nelle aree soggette a disturbi da vento (Baggio et al., 2022). La variazione di questo indice a causa di nevicata a differenti intensità dimostra come vi sia la possibilità che ulteriori precipitazioni nevose creino uno strato coprente della biomassa a terra creata dalla tempesta Vaia. Questo fenomeno facilita la possibilità di innesco valanghe in queste aree. Le analisi svolte anche sulle differenti PRA evidenzia l'importanza dello studio sulle possibili aree di distacco contenute all'interno delle aree colpite dalla tempesta. La possibilità che queste riportino valori di SVH inferiori (figure 51 e 52) rispetto alle intere aree, comporta una maggior facilità di innesco (Schweizer et al., 2003).

Vista la diminuzione in altezza della capacità stabilizzante della biomassa a terra nel tempo (Wohlgemuth et al., 2017) può essere auspicabile rielaborare i dati negli anni futuri attraverso nuovi rilevamenti della rugosità del terreno, per verificare la possibilità di distacco. Tuttavia, le aree studio situate in Svizzera a seguito della tempesta Vivian, verificatasi nel 1990, hanno evidenziato l'assenza di fenomeni valanghivi in aree schiantate in cui la biomassa a terra è rimasta in loco (Frey and Thee, 2002).

L'equazione per la correzione della quota deriva da un'interpolazione di dati sull'SWE nelle alpi centrali (Bavera and De Michele, 2009), di conseguenza un'eccessiva variazione del dato di quota comporta un maggior errore (come nel caso dell'area ID 232). Nel caso della correzione della quota DH3gg, le direttive svizzere propongono un incremento medio di 5 cm di neve ogni 100 metri di dislivello (Barbolini et al., 2005; Salm et al., 1990), metodo utilizzabile in questo contesto.

## 7. Conclusioni

Lo studio ha analizzato la funzione protettiva delle aree forestali colpite dalla tempesta Vaia contro il distacco di valanghe di neve. In particolare, l'obiettivo era quello di determinare l'altezza di neve per la quale la superficie disomogenea creata dalla biomassa a terra potesse essere uniformata con il conseguente aumento della probabilità di innesco valanghe.

Per quanto riguarda l'altezza di neve cumulata a fine stagione, questa deriva dall'analisi statistico-probabilistica di eventi estremi (EV1), utilizzando i dati raccolti da due stazioni meteo. In tale modo si è associato un valore di altezza di neve cumulato corrispondente alla fine di febbraio (fine stagione invernale) con una probabilità di accadimento. L'altezza di neve simulata post stagione invernale (nei mesi successivi a febbraio) tramite il dato di altezza cumulata per tre giorni successivi (DH3gg) ha permesso di ricavare un valore di altezza neve medio di un fenomeno di precipitazione nevosa.

Successivamente, sono state selezionate ed analizzate otto aree test (quattro per stazione) colpite dalla tempesta Vaia, tramite analisi della distribuzione della biomassa a terra. Tali aree sono state appositamente selezionate in modo da rappresentare delle condizioni nivologiche il più possibili simili alle due stazioni meteo scelte. L'algoritmo selezionato per valutare la rugosità superficiale (SVH) analizza la disposizione della superficie andando a calcolare il volume di "vuoti" rispetto a un piano uniforme. Tramite una relazione presente in letteratura è stata simulata la diminuzione di scabrezza superficiale in funzione dell'altezza neve e comparata al valore di riferimento di una superficie a prato per verificare il grado uniformità. In tale modo si è potuto verificare se l'area test analizzata aveva delle condizioni simili a quella di una a prato e quindi verificare se fosse possibile un probabile innesco di valanga in zone forestali colpite dalla tempesta Vaia.

I risultati hanno evidenziato una forte differenza tra una superficie a prato ed una con biomassa a terra anche con una copertura nevosa con tempo di ritorno pari a 100 anni. I valori delle aree schiantate riportano infatti un limite di innesco assai superiore rispetto al prato. Le precipitazioni nevose tendono quindi a ricoprire il legname, avvicinandosi sempre di più ad una condizione di superficie liscia assimilabile allo status del prato, ma tuttavia ottenendo valori piuttosto diversi.

L'indice SVH si è mostrato un ottimo strumento per il calcolo della capacità di immagazzinamento delle aree test schiantate da Vaia. Inoltre, la possibilità di valutare la variazione del dato nelle differenti situazioni nivometriche, è risultato utile per il calcolo della neve necessaria a permettere il distacco. L'analisi ha riportato un aumento della probabilità di distacco in relazione all'intensità degli eventi estremi. Infatti il valore di SVH tende a diminuire progressivamente all'aumentare del tempo di ritorno, pur presentando una condizione poco probabile di distacco.

Inoltre si è voluto valutare la differenza tra possibili aree di innesco valanghe (identificate all'interno delle aree test in base a condizioni morfologiche) rispetto alle aree test. I risultati hanno mostrato in alcuni casi una importante differenza tra i valori dell'area test e delle PRA contenutevi. Vista la predisposizione delle PRA all'innesco valanghivo e la differenza possibile derivante dall'eterogeneità della biomassa, risulterebbe auspicabile lo studio diretto delle singole PRA, soprattutto per le aree schiantate a maggior estensione.

Come risultato si è evidenziato il mancato ricoprimento totale della biomassa a terra, con la conseguente predisposizione alle condizioni di innesco valanghivo. Lo stesso procedimento è stato sviluppato sulle singole PRA, con il medesimo risultato. Di conseguenza è possibile affermare che la possibilità d'innesco valanghivo nelle aree colpite dalla tempesta risulta difficile, anche per le analisi con un tempo di ritorno pari a 100 anni. Tuttavia le condizioni della biomassa a terra possono cambiare e quindi sarebbe auspicabile ripetere i rilevamenti ad anni di distanza, per verificare la variazione della capacità di immagazzinamento nelle medesime PRA. Questo studio potrebbe riportare risultati differenti se ripetuti a distanza di qualche anno, a causa del cambiamento dello strato di legname a terra, dovuto alla degradazione della biomassa o per attività antropica.

Lo studio e le analisi sviluppate evidenziano l'aumento del rischio valanghivo causato dalla distruzione della struttura del bosco e della sua funzione protettiva. La biomassa a terra, tuttavia, risulta essere comunque fondamentale per la riduzione di questo rischio.



## Bibliografia

- Accordi, B. (1959). *Geologia dell'alta Valle del Cordevole (Dolomiti)*. Padova: Società cooperativa tipografica.
- Adler, S., Chimani, B., Drechsel, S., Haslinger, K., Hiebl, J., Meyer, V., ... Zingerle, C. (2015). *Il clima del Tirolo-Alto Adige-Bellunese*. (D. Cusin, Trans.).
- Agostini, F. (2020). *Analisi idrologica dell'evento di piena del 29 ottobre 2018 (Vaia) sul bacino del Tegnas (Piave)*. Università degli studi di Padova.
- ARPA Veneto. (2010). Carte di localizzazione probabile delle valanghe (C.L.P.V.) del territorio montano della regione del Veneto. Retrieved September 19, 2022, from <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/neve/menu-vecchio/centro-valanghe-di-arabba/carte-di-localizzazione-probabile-delle-valanghe-c.l.p.v.-del-territorio-montano-della-regione-del-veneto>
- ARPA Veneto. (2010, October 6). Stazioni automatiche. Retrieved October 5, 2022, from <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/neve/monitoraggio/stazioni-automatiche>
- ARPA Veneto. (2014). Legenda della Carta dei suoli del Veneto in scala 1:250.000. Retrieved from [https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/suolo/file-e-allegati/documenti/carta-dei-suoli/Legenda\\_carta\\_suoli\\_Veneto\\_250000.pdf/view](https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/suolo/file-e-allegati/documenti/carta-dei-suoli/Legenda_carta_suoli_Veneto_250000.pdf/view)
- ARPA Veneto. (2020). Legenda Carta dei Suoli. Regione del Veneto. Retrieved from [https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/suolo/conoscenza-dei-suoli/carte-1-50.000/leg\\_50k.pdf/view](https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/suolo/conoscenza-dei-suoli/carte-1-50.000/leg_50k.pdf/view)
- ARPA Veneto. (2022). Carta dei suoli. Retrieved October 12, 2022, from <https://gaia.arpa.veneto.it/maps/271/view>
- AVEPA. (2019a). *Relazione sull'attività* (p. 182). Retrieved from <https://www.avepa.it/avepa-document-list-portlet/service/stream/3b66f5f8-5932-4f41-94ae-ce4660d95df3/Relazione%20attivit%C3%A0%202019%20AVEPA.pdf>
- AVEPA. (2019b, March 19). Avviso di indagine di mercato. AVEPA. Retrieved from <http://www.avepa.it/avvisi-indagini-mercato>

- Baggio, T., Brožová, N., Bast, A., Bebi, P., D'Agostino, V. (2022). Novel indices for snow avalanche protection assessment and monitoring of wind-disturbed forests. *Ecological Engineering*, 181. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106677>
- Baltsavias, E. P. (1999). Airborne laser scanning: Basic relations and formulas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(2–3), 199–214. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00015-5)
- Barbera, E., Turcotti, P., Prola, C., Praolini, A., Gheser, F., Tognoni, G., ... Moro, D. (2012). *I bollettini valanghe AINEVA - Guida all'interpretazione*. AINEVA. Retrieved from [https://aineva.it/wp-content/uploads/Pubblicazioni/guida\\_bollettino\\_2012.pdf](https://aineva.it/wp-content/uploads/Pubblicazioni/guida_bollettino_2012.pdf)
- Barbi, A., Cola, G., Mariani, L. (2008). *Inquadramento climatico del Veneto*. Retrieved from <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/file-e-allegati/atlante/inquadramento%20climatico%20del%20Veneto.pdf>
- Barbolini, M., Natale, L., Cordola, M., Tecilla, G. (2005). *Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe*. Pavia.
- Bavera, D., De Michele, C. (2009). Snow water equivalent estimation in the Mallero basin using snow gauge data and MODIS images and fieldwork validation. *Hydrological Processes*, 23(14), 1961–1972. <https://doi.org/10.1002/hyp.7328>
- Berger, F., Rey, F. (2004). Mountain Protection Forests against Natural Hazards and Risks: New French Developments by Integrating Forests in Risk Zoning. *Natural Hazards*, 33(3), 395–404. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000048468.67886.e5>
- Berro, D. C., Acondon, V., Castellano, C. (2018, October 31). 27-30 ottobre 2018: Scirocco eccezionale, mareggiate e alluvioni in Italia con la tempesta “Vaia.” Retrieved September 28, 2022, from <http://www.nimbus.it/eventi/2018/181031TempestaVaia.htm>
- Borga, M. (2019). *Lucidi corso di “Idraulica ed Idrologia.”* Lezione universitaria.
- Borga, M. (2021). *Lucidi corso di “Cambiamenti Climatici e Ciclo Idrologico.”* Lezione universitaria.

- Brenna, A., Surian, N., Ghinassi, M., Marchi, L. (2020). Sediment–water flows in mountain streams: Recognition and classification based on field evidence. *Geomorphology*, 371, 107413. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107413>
- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J., Christen, M., Stoffel, A., Snehmami. (2013). Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1321–1335. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1321-2013>
- Cappellari, P., Bertoldi, G., D’Agostino, V., Somnavilla, F., Tommaselli, A. (2015). Neve e Valanghe. *Mappatura Del Pericolo Da Valanga*, 78, 18–29.
- Cavaleri, L., Bajo, M., Barbariol, F., Bastianini, M., Benetazzo, A., Bertotti, L., ... Umgiesser, G. (2019). The October 29, 2018 storm in Northern Italy – An exceptional event and its modelling. *Progress in Oceanography*, 178, 102178. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.102178>
- Chiambretti, I., Bartoli, F. (2010). Gestione del rischio valanghe e sue applicazioni. *GEOmedia*, 14(3). Retrieved from <https://mediageo.it/ojs/index.php/GEOmedia/article/view/402>
- Chirici, G., Giannetti, F., Travaglini, D., Nocentini, S., Francini, S., D’Amico, G., ... Marchetti, M. (2019). Forest damage inventory after the “Vaia” storm in Italy. *Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale*, 16(1), 3–9. <https://doi.org/10.3832/efor3070-016>
- Cooray, K. (2010). Generalized Gumbel distribution. *Journal of Applied Statistics*, 37(1), 171–179. <https://doi.org/10.1080/02664760802698995>
- D’Agostino, V. (2021). *Lucidi corso di “Fluviomorfologia e Protezione dal Rischio Idrogeologico.”* Lezione universitaria.
- D’Agostino, V., Cavalli, R., Andrich, A., Mantovani, D. (2000). *Le opere in legno nella sistemazione dei torrenti montani*. Arabba (BL): ARPAV Centro Valanghe di Arabba.
- Dagum, E. B. (2001). *Analisi delle serie storiche: modellistica, previsione e scomposizione*. Springer Science & Business Media.
- Dalponte, M., Marzini, S., Solano-Correa, Y. T., Tonon, G., Vescovo, L., Gianelle, D. (2020). Mapping forest windthrows using high spatial resolution multispectral satellite images.

*International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 93, 102206.  
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102206>

- Del Favero, R. botanico, Andrich, O., De Mas, G., Lasen, C., Poldini, L. (1990). *La vegetazione forestale del Veneto: prodromi di tipologia forestale*. Mestre, Venezia: Regione del Veneto, Giunta regionale, Assessorato agricoltura e foreste, Dipartimento per le foreste e l'economia montana.
- Del Favero, R. (2001). Tipologie forestali: analisi di un decennio di studi a scala regionale. *Monti e Boschi*, 52(6), 9–13.
- Del Favero, R. (2006). *Carta Regionale dei tipi forestali: documento base*. Mestre, Venezia: Regione del Veneto. Retrieved from [https://www.regione.veneto.it/static/www/agricoltura-e-foreste/Libro\\_Carta\\_forestale.pdf](https://www.regione.veneto.it/static/www/agricoltura-e-foreste/Libro_Carta_forestale.pdf)
- Fратиани, S., Brunatti, S., Acquaotta, F. (2010). Neve e Valanghe. *Contributo Allo Studio Del Cambiamento Climatico Sulle Alpi Occidentali: Il Caso Della Valle Maira.*, 60, 20–25.
- Freppaz, M., Celi, L., Marchelli, M., Zanini, E. (2008). Snow removal and its influence on temperature and N dynamics in alpine soils (Vallee d'Aoste, northwest Italy). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(5), 672–680.
- Frey, W., Thee, P. (2002). Avalanche protection of windthrow areas: a ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. *Forest Snow and Landscape Research*, 89–107.
- Freeman, T. G. (1991). Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computers & Geosciences*, 17(3), 413–422. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(91\)90048-I](https://doi.org/10.1016/0098-3004(91)90048-I)
- Gardiner, B., Schuck, A., Schelhaas, M., Orazio, C., Blennow, K., Nicoll, B. (2020). *Russian forests and climate change*. (P. Leskinen, European Forest Institute, M. Lindner, European Forest Institute, P. J. Verkerk, G.-J. Nabuurs, ... European Forest Institute, Eds.) (Vol. 11). European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/wsctu11>
- Giovannini, L., Davolio, S., Zaramella, M., Zardi, D., Borga, M. (2021). Multi-model convection-resolving simulations of the October 2018 Vaia storm over North-eastern Italy. *Atmospheric Research*, 253, 105455-. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105455>

- GISGeography. (2016). DEM, DSM & DTM Differences - A Look at Elevation Models in GIS. Retrieved October 26, 2022, from <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/>
- Hall, S. A., Burke, I. C., Box, D. O., Kaufmann, M. R., Stoker, J. M. (2005). Estimating stand structure using discrete return lidar: an example from low density, fire prone ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 208(1), 189–209. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.12.001>
- Letey, S., Viglietti, D., Freppaz, M., Motta, R., Zischg, A. (2008). Neve e Valanghe. *L'influenza del bosco sulla dinamica del manto nevoso e la sua stabilità*, 64, 10.
- Leuenberger, F. (1992). *Manuale / Guida alla costruzione di opere temporanee di stabilizzazione e di protezione contro lo scivolamento del manto nevoso*. Retrieved from <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A25939>
- Lingua, E. (2021). *Lucidi corso di "Protezione dagli Incendi e rischi di natura Abiotica."* Lezione universitaria.
- Maggioni, M., Gruber, U., Purves, R., Freppaz, M., Va, D., Neve, Alpini, S. (2006). Potential release areas and return period of avalanches: is there a relation? *Proceedings of the 2006 International Snow Science Workshop. Telluride, Colorado, U.S.A.* <https://doi.org/10.5167/uzh-77816>
- Margreth, S. (2007). *Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco*. (R. Baumann, Ed.). UFAM. Retrieved from <https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/themen/thema-naturgefahren/naturgefahren--publikationen/publikationen-naturgefahren/lawinenverbau-im-anbruchgebiet.html>
- Mariani, L., Parisi, S. G., Rech, F. (2013). *Atlante climatico del Veneto*. Retrieved from [https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/file-e-allegati/approfondimenti/Clima\\_Comunita\\_Montane.pdf](https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/file-e-allegati/approfondimenti/Clima_Comunita_Montane.pdf)
- Matalas, N. C., Slack, J. R., Wallis, J. R. (1975). Regional skew in search of a parent. *Water Resources Research*, 11(6), 815–826. <https://doi.org/10.1029/WR011i006p00815>
- McClung, D., Schaerer, P. A. (2006). *The Avalanche Handbook*. The Mountaineers Books.
- Mears, A. I. (1989). *Criteri progettuali per la realizzazione di opere di difesa dalle valanghe nella zona di arresto*. S. l: s. n.

- Micheletti, S., Marigo, G., Pelosini, R. (2010). *Meteorologia alpina*. Trento: AINEVA.
- Moro, F. (2009). *Snow avalanches: Hazard maps and passive defence structures*. Università degli studi di Padova.
- Motta, Ascoli, D., Corona, P., Marchetti, M., Vacchiano, G. (2018). Selvicoltura e schianti da vento. Il caso della “tempesta Vaia.” *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 15(1), 94. <https://doi.org/10.3832/efor2990-015>
- Naaim-Bouvet, F., Richard, D. (2015). *Les risques naturels en montagne*. Éditions Quae.
- Nadarajah, S., Kotz, S. (2004). The beta Gumbel distribution. *Mathematical Problems in Engineering*, 2004, 323–332. <https://doi.org/10.1155/S1024123X04403068>
- Paine, R. T., Tegner, M. J., Johnson, E. A. (1998). Compounded Perturbations Yield Ecological Surprises. *Ecosystems*, 1(6), 535–545. <https://doi.org/10.1007/s100219900049>
- Pomeroy, J. W., Brun, E. (2001). Physical properties of snow. *Snow Ecology: An Interdisciplinary Examination of Snow-Covered Ecosystems*, 45, 118.
- Praolini, A., Tognoni, G., Turrone, E., Valt, M., Filaferro, E., Lizzero, L., ... Grafico, M. S. (2005). *Le valanghe*. AINEVA.
- Provincia autonoma di Bolzano. (2022). Opere di protezione dalle valanghe. Retrieved October 10, 2022, from <https://pericoli-naturali.provincia.bz.it/it/opere-di-protezione-dalle-valanghe>
- Raviglione, M., Iori, M. (2012). Evaluation of dynamic actions on active snow-nets placed in starting zones testing in site during winter seasons 2008-2009-2010-2011, 709–715.
- Regione del Veneto. (2013). Carta Regionale delle Categorie Forestali. Retrieved October 18, 2022, from <https://www.regione.veneto.it/web/agricoltura-e-foreste/carta-regionale-delle-categorie-forestali>
- Regione del Veneto. (2020). Il Geoportale della Regione del Veneto – Il Geoportale Regionale, lo strumento che consente di ricercare, consultare, scaricare i dati e i servizi territoriali messi a disposizione dalla Regione del Veneto. Retrieved October 7, 2022, from <https://idt2.regione.veneto.it/>

- Rianna, G., Iodice, L., Fariello, L., Guarino, F., Mercogliano, P. (2016). Stima dell'effetto dei cambiamenti climatici sui fenomeni di dissesto Geo-Idrologico: Il caso studio della Campania centrale. *Ingegneria dell'Ambiente*, 3(1). <https://doi.org/10.14672/ida.v3i1.363>
- Risques naturels en montagne : conférence internationale sur les risques naturels en montagne : Grenoble 12-14 avril 1999 / coordination Francois Gillet, Françoise Zanolini. (2000). In *Risques naturels en montagne*. Grenoble : Cemagref.
- Roberta Berretti, Lucia, C., Paolo, C., Franca, D. F., Augusto, D., Dotta, Alberto, ... Terzuolo, Pier Giorgio. (2006). *Selvicoltura nelle foreste di protezione: esperienze e indirizzi gestionali in Piemonte e Valle d'Aosta / Roberta Berretti ... [et al.]*. Arezzo: Compagnia delle foreste.
- Roberts, S., Dean, T., Evans, D., McCombs, J., Harrington, R., Glass, P. (2005). Estimating individual tree leaf area in loblolly pine plantations using LiDAR-derived measurements of height and crown dimensions. *Forest Ecology and Management*, 213, 54–70. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.025>
- Rudolf-Miklau, F., Sauer Moser, S., Mears, A. I. (2015). *The technical avalanche protection handbook* (5th ed.). Berlin: Ernst & Sohn.
- Salm, B., Burkard, A., Gubler, H. U. (1990). *Berechnung von Fliesslawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen*. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos.
- Schelhaas, M.-J. (2008). Impacts of natural disturbances on the development of European forest resources: application of model approaches from tree and stand levels to large-scale scenarios. *Dissertations Forestales*, 2008(56). Retrieved from <https://www.dissertationesforestales.fi/article/1841>
- Schneebeli, M., Bebi, P. (2004). Snow and avalanche control, 397–402.
- Schweizer, J., Bruce Jamieson, J., Schneebeli, M. (2003). Snow avalanche formation. *Reviews of Geophysics*, 41(4). <https://doi.org/10.1029/2002RG000123>

- Schönenberger, W., Noack, A., Thee, P. (2005). Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. *Forest Ecology and Management*, 213(1), 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.062>
- Scotton, P., Moro, F. (2018). Neve e Valanghe. *Opere passive per le valanghe di neve*, 65, 42–51.
- Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., ... Honkaniemi, J. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, 7(6), 395–402.
- Soranzo, M., Menegus, F. (1986). *Criteri per il dimensionamento di opere di difesa dai massi e dalle valanghe*. S.l: Regione del Veneto, Dipartimento Foreste.
- Stadler, H. (2011, December 21). Favonio. Retrieved October 7, 2022, from <https://hls-dhs-dss.ch/articles/007777/2011-12-21/>
- Stocker, T., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S., Boschung, J., ... Midgley, P. (2013). *Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge university press.
- Stucki, P., Brönnimann, S., Martius, O., Welker, C., Imhof, M., von Wattenwyl, N., Philipp, N. (2014). A catalogue of high-impact windstorms in Switzerland since 1859. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(11), 2867–2882. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2867-2014>
- Tecilla, Giorgio. (2007). *Criteri per l'utilizzo delle fonti di documentazione e procedure speditive di perimetrazione*. AINEVA, Protezione Civile Nazionale.
- Teich, M., Bartelt, P., Grêt-Regamey, A., Bebi, P. (2012). Snow Avalanches in Forested Terrain: Influence of Forest Parameters, Topography, and Avalanche Characteristics on Runout Distance. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44(4), 509–519. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-44.4.509>
- Teich, M., Bartelt, P., Grêt-Regamey, A., Bebi, P. (2012). Snow Avalanches in Forested Terrain: Influence of Forest Parameters, Topography, and Avalanche Characteristics on Runout Distance. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 44(4), 509–519. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-44.4.509>
- Treccani. (2014). *Il vocabolario Treccani*. Roma: Istituto della Enciclopedia italiana.



- Valt, M. (2015). Neve e Valanghe. *Incidenti da Valanga*, 72, 16–23.
- Valt, M., Crepaz, G. (2021). *Annale nivometeorologico della montagna veneta*. Retrieved from [https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/neve/file-e-allegati-1/annali/Annale\\_montagna\\_veneta\\_2021.pdf/view](https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/neve/file-e-allegati-1/annali/Annale_montagna_veneta_2021.pdf/view)
- Valt, M., Crepaz, G. (2022). *Valori progettuali del manto nevoso per la montagna Veneta* (p. 31).
- Wohlgemuth, T., Schwitter, R., Bebi, P., Sutter, F., Brang, P. (2017). Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps. *European Journal of Forest Research*, 136(5), 1029–1040. <https://doi.org/10.1007/s10342-017-1031-x>
- Zaramella, M., Marchi, L., Cazorzi, F., Crema, S., Cavalli, M., Borga, M. (2019). Extreme Rainfall and Flooding from the Vaia Storm of October 27-30, 2018 in North-Eastern Italy. Retrieved from <https://publications.cnr.it/doc/420973>
- Zevenbergen, L. W., Thorne, C. R. (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(1), 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>

## Ringraziamenti

La vita frequentemente ci pone innanzi a momenti duri. Spesso si sente dire che questi servano a plasmare il nostro essere e la nostra resistenza al concetto della “dura vita”. Ciò che ho vissuto in questi ultimi due anni mi ha dato una sola ed unica risposta. Questa arrivata come il sussurro perenne all’orecchio da parte del gelido e tagliente vento invernale: “*siamo fragili*”. La parte più ottusa del nostro essere tende a cacciare questa voce infida e malinconica pensando di potersi risollevare da uno stato d’animo di sconforto ma, come triste risultato, questo si fissa ai nostri pensieri con maggior forza.

Ciò che realmente la vita ci insegna è che da soli non possiamo fare nulla. La Famiglia e le persone care permettono ad ogni essere umano di rinascere e di migliorarsi come individuo. Questo è il fondamento della vita. Questo è ciò che ci permette di andare avanti. Solo così il nostro essere fragili svanisce.

### **Il più grande ringraziamento va alla mia Famiglia, vero e perenne simbolo di affidabilità**

A mio padre ***Giovanni***

a te che mi hai insegnato il valore della stabilità, della persistenza e della consapevolezza. A tutti noi figli hai insegnato i valori della famiglia, dell’aiuto e dell’amore. A te che non hai mollato nelle difficoltà degli ultimi due anni, accompagnato e aiutato da ciò che tu stesso hai seminato. Grazie per avermi permesso di svolgere questo percorso di studi. Pur non volendo influenzare il nostro futuro sei riuscito ugualmente a stillare in me l’amore per la montagna e le Dolomiti.

*“Cadde la pioggia, strariparono i fiumi, soffiarono i venti e si abatterono su quella casa, ma essa non cadde, perché era fondata sulla roccia”*

*(Mt 7, 25)*

A mia madre ***Paola***

a te che mi hai insegnato il significato della volontà e della forza d’animo. Nella malattia ci hai insegnato a non mollare mai e ad affrontare ogni situazione di debolezza con coraggio e spirito di unione. Grazie per non aver mai mollato davanti alla complessità degli ultimi anni e per aver ogni giorno ricordatomi l’importanza dell’impegno e della costanza.

*“Tenerezza e gentilezza non sono sintomo di disperazione e debolezza, ma espressione di forza e di determinazione”*

*(Khalil Gibran)*

A mio fratello **Stefano**

a te che sei sempre stato esempio di maturità e crescita. Grazie per aver aiutato a sviluppare in noi fratelli la voglia di camminare verso il nostro futuro e nei nostri genitori l'orgoglio di essere Famiglia. Grazie per avermi supportato soprattutto in questi ultimi due anni, e per aver portato in famiglia il lieto evento.

*“I giovani non hanno bisogno di sermoni, i giovani hanno bisogno di esempi di onestà, di coerenza e di altruismo.”*

*(Sandro Pertini)*

A mio fratello **Francesco**

a te che nel tempo sei stato esempio di laboriosità, costanza e vicinanza. Negli anni non hai mai fatto mancare l'aiuto verso i tuoi fratelli, donando loro il tempo e le forze per aiutarli. Grazie per il tuo sostegno fisico e morale (ormai fondamentale per la nostra Famiglia) che mi ha permesso di superare tutte le avversità finora incontrate.

*“Non può esserci un regalo più grande di quello di dare il proprio tempo e la propria energia per aiutare gli altri senza aspettarsi nulla in cambio”*

*(Nelson Mandela)*

A mia sorella **Ludovica**

a te che negli anni sei stata portatrice di allegria e spensieratezza. In questi due anni, seppur con maggiori difficoltà, sei rimasta spalla e fulcro di dialogo, mostrando il miglior lato di te. Grazie per avermi risollevato il morale più volte, permettendomi di affrontare ogni momento di studio e di lavoro nel migliore dei modi.

*“L'allegria è contagiosa, e riesce sempre ad evitare che le persone si lascino paralizzare dalla depressione, dalla solitudine, e dalle difficoltà”*

*(Paulo Coelho)*

## A **Gaia**

pur conoscendoci da meno tempo, in questi ultimi due anni sei stata in grado di trasmettere la tua vena frizzante e l'allegria utile nei momenti difficili. Grazie perché, assieme a **Stefano**, mi hai trasmesso una delle emozioni più belle degli ultimi anni.

*“Tutti i sogni possono diventare realtà, se solo abbiamo il coraggio di inseguirli”*

*(Walt Disney)*

## A **Giulia** e al piccolo **Giacomo**

è difficile spiegare la quantità di emozioni che abbiamo vissuto nell'ultimo anno ma alcune delle migliori sono arrivate proprio da voi. Grazie a te Giulia per essere stata come una seconda sorella negli ultimi anni. Grazie per tutto ciò che in poco tempo siete riusciti a trasmettermi.

*“Ogni famiglia è sempre una luce, per quanto fioca, nel buio del mondo”*

*(Papa Francesco)*

## Ai **nonni**, agli **zii**, ai **cugini** e ai **parenti tutti**

nei momenti di difficoltà il vostro aiuto ha prevalso. Tutti voi che ci sostenuto nel momento del bisogno, permettendo a me di proseguire a testa bassa con gli studi e senza mollare. Questo traguardo le dedico a tutti voi che siete linfa e forza di questa Famiglia.

*“Non c'è dubbio che sia intorno alla famiglia e alla casa che tutte le più grandi virtù, le virtù più dominanti degli esseri umani, siano create, rafforzate e mantenute”*

*(Winston Churchill)*

## Al mio padrino **Giacomo**

Con la tua pazienza e la tua generosità hai accompagnato parte della mia infanzia, guidandomi nelle prime scelte di vita. Grazie per essere stato tra i primi a seguirmi nello studio, consigliandomi metodi di organizzazione che ancora oggi porto con me.

*“In tutto c'è una morale, se si sa trovarla”*

*(Lewis Carroll)*

**Oltre alla Famiglia ci sono i legami quelli che permettono ad un uomo di esprimersi e di ritrovarsi**

Al mio amico **Andrea**

a te che in questi anni mi hai insegnato ad affrontare il futuro con serietà e decisione. Grazie per la tua presenza, il tuo sostegno e i tuoi aiuti nei momenti più difficili. Grazie di cuore per le risate e i momenti insieme trascorsi in tutti questi anni (uno più bello dell'altro). Grazie perché per me sei come un fratello maggiore.

*“Non è tanto dell'aiuto degli amici che noi abbiamo bisogno, quanto della fiducia che essi ci aiuterebbero nel caso ne avessimo bisogno”*  
(Epicuro)

Alla mia amica **Teresa**

a te che hai trasmesso serenità e tranquillità quando mi erano impossibili da trovare. Grazie per il tuo aiuto, la tua vicinanza ed il buonumore trasmesso nei momenti più difficili. Grazie per le risate, i discorsi e le vicende affrontate in stretto legame e sincerità. Grazie perché per me sei come una sorella sostenitrice.

*“Sono rare le persone capaci di colorare alcune vite in bianco e nero. Le riconosci perché ogni loro sorriso è una pennellata di un colore diverso”*  
(Tony Grisoni)

Al mio amico **Francesco**

pur conoscendoti da minor tempo, con te ho vissuto molti momenti essenziali. A te che tra momenti divertenti e seri, sei riuscito ad instaurare un dialogo con me, sostenendomi e dandomi i giusti consigli per rialzare la testa. Grazie per gli insegnamenti ed i momenti di saggezza dell'ultimo anno.

*“Quando nel dolore si hanno compagni che lo condividono, l'animo può superare molte sofferenze”*  
(William Shakespeare)

### Ad **Alessia**

da quando sono piccolo mi sei stata accanto, come una seconda madre che aiuta, consiglia e sprona il proprio figlio. Grazie per essere stata sempre presente per me, ma soprattutto per la mia famiglia, donando il tuo tempo e portando l'allegria nella nostra casa.

*“Il possedere un carattere allegro è sicuramente la più grande fortuna che ci possa essere concessa”*

*(Baltasar Gracián)*

### Ad **Erika**

ci sei e ci sei sempre stata, per aiutare la mia famiglia nel lavoro, come persona forte e persistente. Grazie per il sostegno dato fino ad ora e che darai negli anni, utile non solo ai singoli, ma alla famiglia intera.

*“Le mani che aiutano sono più sante delle labbra che pregano”*

*(Robert Green Ingersoll)*

### Agli **amici e compagni di università**

questi due anni di covid-19 e le difficoltà personali hanno reso complicata la vicinanza e la collaborazione tra noi. Un forte ringraziamento va ad **Antonio** e **Mattia** che fin dalla precedente laurea sono stati punti cardine e motivo di aiuto reciproco in ambito universitario. Grazie anche a tutti i miei vecchi compagni e i nuovi, compresi quelli che non ho potuto conoscere a fondo in questi due anni.

*“Qualunque decisione tu abbia preso per il tuo futuro, sei autorizzato, e direi incoraggiato, a sottoporla ad un continuo esame, pronto a cambiarla, se non risponde più ai tuoi desideri”*

*(Rita Levi-Montalcini)*

### Agli **amici di Ponte di Brenta**

c'è sempre stata un'occasione per ridere scherzare e ritrovarsi. Grazie ad **Alessandro**, **Andrea Z.**, **Andrea O.**, **Beatrice**, **Chiara**, **Elisa**, **Francesca (+new entry)**, **Giovanni**, **Riccardo**, **Sara A.** e **Sara C.** Grazie a tutti voi.

Un ringraziamento forte anche agli amici dell'animazione **Gloria** e **Matteo**.

*“Non c'importa tanto di non arrivare da nessuna parte  
quanto di non avere compagnia durante il tragitto”*

*(Anna Frank)*

Agli *amici* di *Busa*

negli ultimi due anni purtroppo ci siamo persi di vista. Mi preme comunque ringraziare *Chiara* e *Padre Daniel* per quanto di più bello vissuto nella compagnia e nell'animazione dei giovani e nell'aiuto reciproco.

*“Non mi è mai servito chi ha voluto indicarmi  
la via della ragione, ma chi ha saputo  
accompagnarmi su quella della follia”*

*(Alessandro Bruno)*

A *Daniele, Sara* ed il piccolo *Michele*

due anni all'insegna delle corse e delle difficoltà aiutano molto a capire le proprie capacità. Grazie per tutto ciò che mi avete insegnato e trasmesso, sia come persone che come coppia. Spero che la vostra famiglia possa crescere nel migliore dei modi, con rigogliosità, allegria ed... un pizzico di fortuna.

*“Non si insegna quello che si sa o quello che si crede di  
sapere: si insegna e si può insegnare  
solo quello che si è”*

*(Jean Léon Jaurès)*

Ai singoli amici che mi hanno accompagnato

a voi con cui ho passato diverso tempo tra chiacchierate, sport e divertimento. Grazie *Marco*. Grazie *Matteo*. Grazie perché singolarmente avete riempito il mio tempo libero mettendomi di buonumore ed instaurando un rapporto sempre più forte ed unico.

*“Eravamo insieme, tutto il resto  
del tempo l'ho scordato”*

*(Walt Whitman)*

## **Un grande ringraziamento va a chi mi ha introdotto nel mondo del lavoro durante gli studi**

Al personale della Biblioteca Centrale di Agripolis

a voi che nell'ultimo anno grazie alle 200 ore mi avete concesso di trascorrere il tempo dello studio lavorando all'insegna dell'impegno e del divertimento. Grazie per avermi accolto come collega e amico all'interno di un contesto così bello. Grazie di cuore ad **Anna, Caterina, Claudia, Ilaria, Raffaella, Salvatore e Valentina**.

*“Se le indicazioni scritte dovessero bastare, le biblioteche non avrebbero bisogno di avere attaccate il resto delle università”  
(Miss Manners)*

## **Infine, un enorme ringraziamento a quelli che mi hanno concesso di avviare la mia tesi, sviluppando in me la passione per l'ambito nivale e territoriale**

Al personale dell'ufficio Neve, valanghe, stabilità dei versanti e dissesto Idrogeologico

a voi che mi avete accompagnato in due mesi di tirocinio formativo nel lavoro di gruppo ad interesse comunitario.

a **Roberta**, che si è presa carico del mio tirocinio seguendomi come tutor nei vari step di quella bella esperienza lavorativa. Grazie per la pazienza e il percorso formativo permessomi.

a **Fabrizio**, che con costanza e pazienza mi ha seguito e accompagnato nello sviluppo dei lavori e dei progetti. Grazie per avermi insegnato a lavorare in gruppo, sviluppando metodi e idee nuove per migliorare la mia formazione.

a **Gianni**, che con fiducia e approvazione mi ha permesso di svolgere quest'esperienza. Grazie per il sostegno e le chiacchierate didattiche, utili al proseguimento del mio percorso di studi.

a **Matteo**, che con costante presenza mi ha introdotto nella struttura e nel percorso. Grazie per l'aiuto fornitomi durante il periodo. Un forte augurio per radioso futuro per la tua famiglia in crescita.

Un ringraziamento anche a **Mauro, Germano, Thierry, Lorenzo** e tutto il personale di ARPAV Belluno e del Centro Valanghe di Arabba. Grazie a tutti voi per aver contribuito a questa mia



esperienza, aumentando in me l'interesse per l'ambito nivologico e valanghivo. Spero che un giorno possa sfociare in una collaborazione lavorativa.

*“Se vuoi costruire una barca, non radunare uomini per  
tagliare legna, dividere i compiti e impartire ordini,  
ma insegna loro la nostalgia per il mare vasto e infinito”  
(Antoine de Saint-Exupéry)*