

# *Stima della biomassa legnosa atterrata dalla tempesta VAIA*

## **Introduzione**

### *Obiettivi*

Nel corso del 2019 il personale forestale degli Uffici Distrettuali della Provincia Autonoma di Trento ha effettuato, con sopralluoghi in campo e a video tramite immagini satellitari, una prima stima delle aree colpite dalla tempesta VAIA di fine ottobre 2018, specificando la percentuale di danno, i metri cubi di volume atterrato, la percentuale di copertura delle piante rimaste in piedi e la presenza di rinnovazione (SERVIZIO FORESTE E FAUNA, 2020b, p.7).

Successivamente, grazie all'utilizzo di immagini satellitari, le superfici gravemente colpite (percentuale di danno maggiore del 70%) sono risultate essere di 11.350 ha. L'obiettivo del presente studio è la valutazione dei danni in termini di metri cubi di massa legnosa abbattuta nelle sole superfici gravemente danneggiate, aventi cioè una percentuale di danno superiore al 70% in termini di copertura e

una superficie minima di 2000 m<sup>2</sup>. La stima è effettuata sia sulla base dei dati derivati dai Piani Aziendali Forestali che del rilievo LiDAR.

## **Materiali e metodi**

### *I dati rilevati nella provincia di Trento*

Nel corso degli anni 2014-2020 la Provincia di Trento ha commissionato il rilievo LiDAR ad alta precisione nella maggior parte del proprio territorio. In particolare, il rilievo è stato effettuato con una densità media di punti al suolo di circa 4 al m<sup>2</sup> per le aree rilevate ad alta densità (aree a quota superiore a 2000 m s.l.m.), e di circa 10 punti al m<sup>2</sup> per le restanti porzioni di territorio rilevate ad altissima densità. È stato utilizzato un sistema laser-scan ALT M Gemini (ALTM 3100 EA e LMS Q780 ) installato su elicottero. Il rilievo ha prodotto file LAS/LAZ (nuvole di punti), DTM (Digital Terrain Model) e DSM (Digital Surface Model). Successiva-

*Tabella 1 – Superfici e volumi degli schianti per classi di danno stimati dal personale forestale.*

Danno	Superfici (ha)	% superfici	Volume tariffario (m <sup>3</sup> )	% volume
<30%	4.156	21	240.200	6
30-50%	2.842	15	320.200	8
50-90%	4.917	24	986.222	24
>90%	7.885	40	2.552.100	62
Totale	19.800	100	4.098.722	100

mente l'Amministrazione provinciale ha elaborato il CHM (Canopy Height Model) a risoluzione di 1 m x 1m.

Il sistema della pianificazione forestale trentina si basa sulla redazione di Piani Aziendali Forestali con cadenza decennale. Tali piani prevedono, nei boschi produttivi, il rilievo campionario stratificato di numerose aree relascopiche a-diametriche. Ciò consente di stimare, per tipologia di bosco e per particella forestale, la massa legnosa cormometrica e cioè la massa legnosa epigea del tronco e dei rami di diametro superiore a 7 cm. Tutti i dati sono archiviati in un database ORACLE e per poter essere elaborati ai fini del presente studio sono stati estratti e memorizzati in un database PostgreSQL/PostGIS.

#### *Software utilizzati*

Si elencano di seguito i software utilizzati nel presente studio.

- **QGIS** per le analisi spaziali;
- **STEM**: plugin sperimentale per QGIS.
- **RStudio** per le elaborazioni delle chiome e dei volumi e le analisi sulle regressioni;

#### *La stima della biomassa legnosa schiantata*

La stima di variabili forestali attraverso dati LiDAR desta sempre interesse nel settore forestale ed è volta in particolare alla modellizzazione della relazione tra variabili biometriche rilevate su aree di saggio al suolo (principalmente volumi legnosi per unità di superficie) e parametri desumibili dall'elaborazione dei dati LiDAR.

L'approccio al calcolo delle variabili dendrometriche avviene secondo due principali modalità:

- metodi *tree-based* che prevedono l'individuazione dei singoli alberi con dati LiDAR. Il livello di successo dei metodi *tree-based* dipende molto dalla densità dei dati LiDAR e dal grado di penetrazione delle chiome (BARILOTTI *et al.*, 2005; BARILOTTI, SEPIC, 2006). Molti metodi sono stati sviluppati per l'individuazione di apici pianta da nuvola di punti LiDAR e alcuni metodi, testati in ambiente alpino, hanno fornito buoni risultati (PIROTTI *et al.*, 2020; EYSN *et al.*, 2015);

- metodi *area-based*, che mirano invece a stimare le grandezze dendrometriche direttamente a livello di collettivi o aree più o meno ampie e a fornire dati di consistenza legnosa per unità di superficie. Sono più adattabili a situazioni diversificate. Molti studi condotti con questo tipo di metodi utilizzano modelli di regressione che fanno uso di variabili elaborate dai dati LiDAR per stimare il volume legnoso (NAESSET, 2004). Interessanti sono gli studi che combinano metriche LiDAR con *feature* estratte da dati multispettrali (TONOLLI, 2011).

Nell'ambito del presente studio (CARRIERO, 2021) sono state seguite e confrontate diverse metodologie per il calcolo del volume schiantato anche in funzione dei dati presenti nelle banche dati del Servizio Foreste della Provincia di Trento.

Si precisa che il volume calcolato è quello cormometrico e cioè la massa legnosa epigea del tronco e dei rami di diametro superiore a 7 cm (misure sopra corteccia), esclusa la parte di volume legnoso della ceppaia al di sotto della sezione di taglio. Tale volume è quello normalmente utilizzato nei piani aziendali forestali ed è derivabile dalle tariffe di cubatura trentine e dai modelli messi a punto dal CRA-MPF (SCRINZI *et al.*, 2010).

Il volume cormometrico delle aree schiantate, gravemente danneggiate, è stato stimato elaborando:

- le particelle forestali rilevate nei Piani Aziendali Forestali;
- gli strati inventariali rilevati nei Piani Aziendali Forestali;
- le aree di saggio relascopiche (PNA) rilevate nell'ambito dei Piani Aziendali Forestali;
- le metriche LiDAR ricavate dal CHM provinciale;
- l'individuazione delle singole piante tramite LiDAR e la stima del volume legnoso sulla base dell'Inventario dei Boschi Privati.

Mentre i primi metodi sono stati applicati su tutto il territorio provinciale, gli ultimi due sono stati applicati su di un'area limitata.

#### *Stima del volume sulla base delle particelle forestali*

Tutte le proprietà forestali pubbliche e le

più consistenti proprietà private, l'80% delle foreste trentine, sono gestite tramite un piano aziendale che viene revisionato ogni 10 anni. Le proprietà forestali sono suddivise in particelle basate principalmente su confini fisiografici. Tali particelle sono stabilmente contrassegnate sul terreno. Ciascuna particella viene poi suddivisa in più unità forestali di descrizione dei vari popolamenti caratterizzati da diversa composizione specifica, governo, struttura, fertilità e funzione.

Il calcolo del volume legnoso, per le aree produttive, viene effettuato sulla base di un inventario dendrometrico di tipo campionario (SCRINZI, *et al.*, 2011, p. 9). È basato sul rilievo, in campo, di una serie di aree di saggio relascopiche (PNA: Prove di Numerazione Angolare) a-diametriche, spazializzate in strati di soprassuolo omogenei. Per ciascuno strato inventariale vengono poi elaborate le aree basimetriche e i volumi tariffari medi ad ettaro e totali calcolati sulla base di un modello denominato MPF (2011, p. 30). Per le aree non produttive il volume è stimato dai tecnici. A ciascuna particella è infine assegnato un volume calcolato sulla base delle stime inventariali e di quelle dei tecnici professionisti.

Una prima stima del volume delle aree schiantate è stata effettuata derivando tale dato dalla particella in cui il poligono schiantato, o la sua porzione, ricade. Tale modalità è stata quella seguita dal personale forestale nella prima fase di stima.

Con il software QGIS è stata effettuata una operazione di *geoprocessing* "clip" delle particelle forestali con le aree schiantate. A tali aree è stato poi assegnato il volume sulla base della seguente espressione:

$$V = \sum(v(ha)_i * s_i)$$

dove:

- $V$  è il volume totale della massa schiantata;
- $v(ha)_i$  è il volume ad ettaro della particella  $i$ -esima;
- $s_i$  è la superficie della porzione dello schianto, in ettari, che ricade nella particella  $i$ -esima.

Nella figura 1, ad esempio, alle due porzioni di area schiantata che ricadono a cavallo delle particelle n.10 e n.15 del piano aziendale



Figura 1 – Area schiantata (confine rosso) e confine particellare forestale (linea azzurra).

n. 364 del 2016, è stato attribuito un volume sulla base di quello ad ettaro della particella corrispondente.

Il volume cormometrico totale, così calcolato, risulta essere pari a **3.477.587 m<sup>3</sup>**.

#### *Stima del volume sulla base degli strati inventariali*

Il dato di volume particellare precedentemente descritto, attribuito allo schianto che ricade nella particella, è un dato indicativo. Esprime, infatti, un dato medio particellare somma di situazioni anche molto diverse tra loro come, ad esempio, aree a bosco maturo e soprassuoli più giovani con presenza di radure. Le particelle forestali sono suddivise nei Piani Aziendali Forestali in "strati inventariali" allo scopo di limitare la variabilità interna in termini di struttura, tipologia forestale, fertilità. Quindi, una singola particella è in genere suddivisa in più strati inventariali di minore superficie.

La stima qui descritta è stata effettuata desumendo il dato di volume dallo strato inventariale in cui lo schianto ricadeva. Ciò ha consentito di avere un dato maggiormente localizzato rispetto a quello particellare.

Nella figura 2, ad esempio, è possibile notare che all'interno della stessa particella (440/2014/29) sono presenti strati inventariali molto diversi tra loro: "l'abeteto multiplano" e "la pecceta monoplana" (boschi di abete rosso).

In questa maniera è stato anche possibile desumere le tipologie di bosco che caratterizzano le aree schiantate: nelle tabelle 2 e



Figura 2 – Strati inventariali all'interno della particella forestale n.29 del piano 440 del 2014.

3 sono riportate le superfici delle categorie e delle tipologie forestali maggiormente rappresentate. Come è possibile notare, la pecceta secondaria e quella altimontana sono le classi più colpite.

Tabella 2 – Suddivisione della superficie schiantata nelle principali categorie forestali rilevate nei piani aziendali.

categoria forestale	superficie (ha)	superficie (%)
pecceta	5363	77%
abieteto	529	8%
lariceto	391	6%
pineta	267	4%
cembreta	166	2%
faggeta	292	4%
Totale	7008	100%

Il volume calcolato sulla base degli strati inventariali risulta essere pari a **3.753.335 m<sup>3</sup>**.

L'aumento del volume, rispetto alla stima effettuata su base particellare, dipende dal fatto che la media particellare appiattisce le differenze dei vari popolamenti presenti nella particella e che le fasi strutturali maggiormente colpite sono da ascrivere alla fase adulta e matura.

#### Stima del volume sulla base delle aree di saggio relascopiche (PNA)

La redazione dei Piani Aziendali Forestali prevede la realizzazione di un inventario dendrometrico per la stima dell'area basimetrica, dell'incremento e del volume legnoso. Per ciascun piano viene rilevato, in campo, nei boschi produttivi, un numero variabile di aree relascopiche a-diametriche (PNA). L'intero

Tabella 3: suddivisione della superficie schiantata nelle principali tipologie forestali rilevate nei piani aziendali

tipologia forestale	struttura	fase	superficie (ha)	superficie (%)
Pecceta secondaria o sostitutiva	Multiplano		566	14%
Pecceta altimontana tipica	Monoplano	Adulto	486	12%
Pecceta altimontana tipica	Multiplano		479	12%
Pecceta altimontana tipica	Monoplano	Maturo	472	12%
Pecceta altimontana xerica	Multiplano	NULL	470	12%
Pecceta secondaria o sostitutiva	Monoplano	Adulto	434	11%
Pecceta altimontana tipica	Monoplano	Perticaia	224	6%
Pecceta secondaria o sostitutiva	Monoplano	Maturo	223	6%
Pecceta altimontana xerica	Monoplano	Adulto	216	5%
Pecceta subalpina	Multiplano		206	5%
Pecceta a erica con pino silvestre	Multiplano		185	5%
Totale			3961	100%

archivio ammonta a circa 80.000 PNA distribuite nelle proprietà pubbliche e private della provincia di Trento.

Nel presente studio è stata verificata la relazione tra i volumi rilevati in ciascuna PNA e le corrispondenti metriche LiDAR per poter poi sviluppare un modello statistico regressivo dove il volume rappresenta la variabile dipendente e le metriche LiDAR quelle indipendenti.

Si elencano le fasi elaborative effettuate:

- estrazione dei dati delle PNA dal Sistema Informativo per la Gestione Forestale Aziendale Trentino (SIGFAT);
- selezione delle PNA ricadenti nelle tipologie forestali caratteristiche delle aree schiantate (peccete nella fascia altitudinale 1000-1800 m s.l.m.);
- individuazione del raggio virtuale di ciascuna PNA (formula di Matern-Bitterlich);
- creazione dello strato vettoriale circolare delle PNA sulla base del raggio virtuale calcolato al punto precedente;
- calcolo del volume di ciascuna PNA;
- calcolo delle metriche LiDAR e del CHM per ciascuna PNA;
- verifica della bontà dell'equazione di regressione tra volume delle PNA e metriche LiDAR.

Sono state calcolate varie metriche LiDAR ma, come è possibile notare in figura 3, la variabilità del campione è troppo elevata per desumerne una equazione applicabile.

L'intrinseca variabilità delle formazioni forestali analizzate, la non perfetta georeferenziazione delle aree relascopiche, la difficile determinazio-

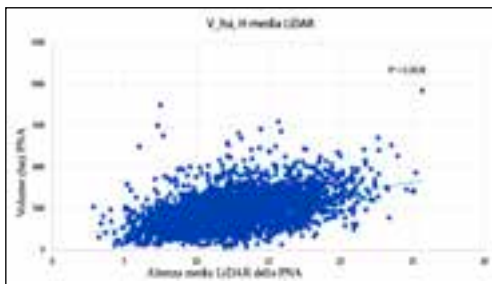


Figura 3 – Relazione tra volume dell'area di saggio e la media delle altezze LiDAR delle aree relascopiche PNA.

ne del raggio virtuale di ciascuna area di saggio, possono in parte spiegare il risultato ottenuto.

#### *Stima del volume sulla base delle metriche derivate dal CHM* *Approccio area-based*

Su un'area di 53.752 ha, ubicata nel distretto forestale di Borgo Valsugana, è stato applicato un metodo di stima del volume cormometrico già sperimentato nei boschi di Paneveggio su alcune particelle forestali (Floris, 2010). Il metodo si basa sulla elaborazione delle metriche derivate dal rilievo LiDAR, ed in particolare dell'altezza media del CHM, con approccio area-based. Per la messa a punto del modello è stato utilizzato un inventario effettuato nel 2017 dal Servizio Foreste (Inventario dei Boschi Privati – IBP), inventario che ha consentito di misurare 200 aree di saggio circolari a raggio fisso con il rilievo della specie, dei diametri con soglia minima di 7,5 cm e delle altezze di alcune piante dominanti (Inventario dei Boschi Privati – IBP). Per ciascuna area di saggio sono stati poi calcolati i volumi cormometrici con i modelli a doppia entrata denominati “MV2” (SCRINZI *et al.*, GALVAGNI, MARZULLO, 2010).

Nel presente lavoro è stata verificata la relazione tra il volume misurato nelle aree di saggio (IBP) e le metriche derivate dal raster provinciale del CHM. Tale raster ha risoluzione 1m x 1m e tutti i pixel, con altezza minore di 2 m e in genere ascrivibili alle fasi arbustive e di rinnovazione, sono stati ricodificati a 0.

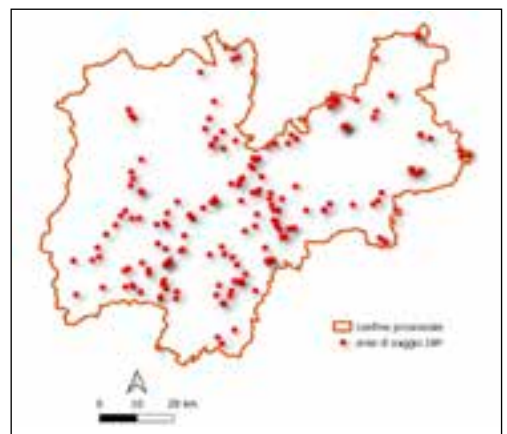


Figura 4 – Aree di saggio dell'inventario dei boschi privati.

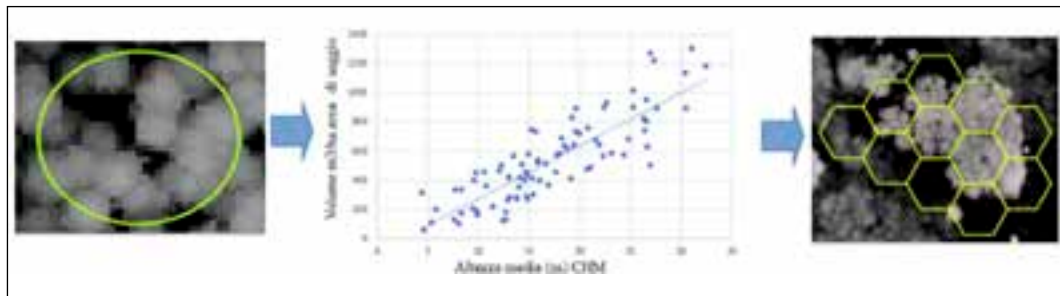


Figura 5 – Schematizzazione del processo: si ricavano le metriche dal CHM nelle aree di saggio, si calcola l'equazione regressiva e la si applica alla griglia in tutte le aree schiantate.

Fasi del procedimento:

1. messa a punto di un modello statistico regressivo basato su dati derivati dal raster del CHM e sui dati rilevati a terra nelle aree di saggio a raggio fisso dell'Inventario dei Boschi Privati (IBP):

- calcolo per ciascuna area di saggio delle metriche principali dal CHM: somma, media, mediana, minimo, massimo, deviazione standard. Lo strumento di *processing* utilizzato è la “statistica zonale” che effettua il calcolo delle suddette statistiche per ciascun elemento di un vettore poligonale sovrapposto;
- verifica del modello statistico regressivo: dall'analisi è emerso che il modello ottimale è quello lineare del tipo:  $V = a + b h$ . La tecnica *stepwise* ha selezionato come sola variabile esplicativa, con contributo significativo, la media delle altezze del CHM. È stato utilizzato EXCEL per la visualizzazione della grafico di dispersione e il plugin STEM per il calcolo e la verifica della equazione regressiva:

2. creazione, nelle aree schiantate, di una griglia di esagoni di superficie pari a quella delle aree di saggio IBP. Lo strumento di *processing* di QGIS “crea reticolo” consente infatti di creare celle esagonali per approssimare quelle circolari delle aree di saggio;

3. calcolo delle metriche LiDAR derivate dal CHM per ciascuna cella della griglia con lo stesso procedimento sopra descritto per le aree di saggio IBP;

4. applicazione del modello regressivo per il calcolo del volume a ciascuna cella della griglia,

5. calcolo del volume totale schiantato.

L'elaborazione dei modelli regressivi è stata effettuata sia sulle aree di saggio relative alle conifere e sia su quelle delle sole peccete. Il modello utilizzato nel calcolo del volume totale è stato quello delle conifere perché la numerosità campionaria del secondo modello è stata valutata troppo bassa.

Il modello regressivo (figura 6), relativo alle conifere, è risultato il seguente:

$$V(\text{ha}) = 36,61 * H_m - 94,12$$

dove:

- $V(\text{ha})$  è il volume dell'area di saggio;
- $H_m$  è l'altezza media ricavata da CHM nell'area di saggio.

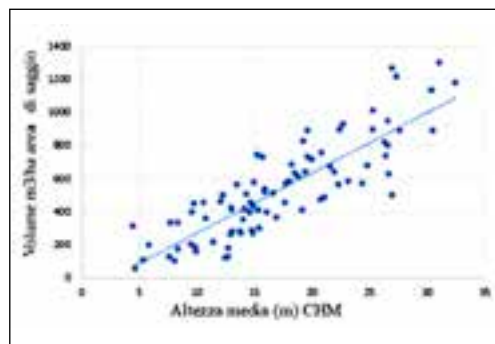


Figura 6 – Relazione tra volume dell'area di saggio e la media delle altezze del CHM per le conifere.

Si riportano in tabella 4 le statistiche relative alla relazione lineare sopra riportata. La capacità esplicativa del modello risulta buona con un  $R^2$  pari a 0,75.

Tabella 4 – Statistiche del modello regressivo.

R	0,865
R-Squared	0,748
Adj. R-Squared	0,744

Il volume delle aree schiantate nell'area analizzata, calcolato sulla base delle metriche derivate dal CHM delle conifere, risulta essere pari a **1.433.840 m<sup>3</sup>**

*Stima del volume sulla base della individuazione delle piante da LiDAR*  
*Approccio tree-based*

Nella stessa area ubicata nel distretto forestale di Borgo Valsugana è stato applicato un differente approccio metodologico per il calcolo del volume legnoso abbattuto.

A differenza del precedente metodo, che utilizzava le metriche derivate dal CHM, quello qui descritto elabora direttamente la nuvola dei punti LiDAR per individuare le singole piante prima nelle aree di saggio dell'Inventario dei boschi privati (IBP) e poi nella griglia delle aree schiantate.

Il procedimento *tree-based* qui seguito, utilizzato nei popolamenti forestali irregolari e multiplani comuni nei boschi trentini, comporta, di norma, una sottostima delle piante individuate e quindi dei volumi calcolati. Ciò è dovuto al mascheramento delle piante sottoposte da parte di quelle dominanti (EYSN *et al.*, 2015). È stato quindi elaborato un modello di regressione in grado di mettere in relazione i volumi misurati nelle aree di saggio con quelli calcolati sulla base LiDAR.

Si descrivono le fasi di elaborazione:

1. estrazione degli apici delle piante e dell'area d'insidenza delle chiome dalla nuvola dei punti LiDAR2014 (formato LAZ) nelle aree di saggio. Funzione R *itLiDAR: Individual Tree Crowns segmentation with LiDAR data*;

2. calcolo, per ciascuna pianta, del diametro a 1,30 m. Funzione R *dbh: Diameter at breast height prediction using height and crown diameter*;
3. calcolo, per ciascuna pianta, del volume cormometrico: il volume di ciascun soggetto arboreo è stato determinato individualmente mediante l'applicazione del modello a doppia entrata della serie di modelli denominati "MV2" [SCRINZI *et al.*, 2010];
4. calcolo, per ciascuna area di saggio, del volume totale, somma del volume delle singole piante, della media, della mediana della moda e del massimo;
5. verifica del modello statistico regressivo. Dall'analisi è emerso che il modello ottimale è quello lineari del tipo:  $V = a + b \cdot h$ . La tecnica *stepwise* ha selezionato come sola variabile esplicativa, con contributo significativo, la somma dei volumi delle singole piante;
6. creazione, nelle aree schiantate, della griglia di esagoni di superficie pari a quella delle aree di saggio IBP;
7. calcolo del volume delle singole piante per ciascuna cella della griglia con lo stesso procedimento sopra descritto per le aree di saggio IBP;
8. applicazione del modello regressivo per il calcolo del volume a ciascuna cella della griglia;
9. calcolo del volume totale schiantato.

L'estrazione delle chiome ha generato circa 900.000 poligoni nelle aree soggette a schiantati. Sono stati qui utilizzati il software Rstudio e la funzione *itLiDAR*. Il tempo di elaborazione è stato di circa 24 ore.

Il modello regressivo è risultato il seguente:

$$V(m_3) = 0,932 * v(m_3) + 14,726$$

dove:

- $V(m_3)$  è il volume dell'area di saggio misurato in campo;
- $v(m_3)$  è il volume dell'area di saggio calcolato sulla base del LiDAR

Il volume delle aree schiantate nell'area esaminata risulta essere pari a **1.359.174 m<sup>3</sup>**.

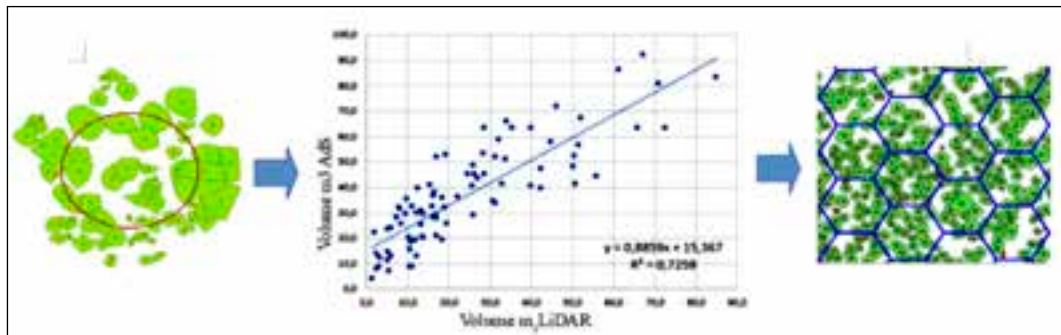


Figura 7 – Schematizzazione del processo: calcolo del volume di ciascuna pianta sulla base del LiDAR nelle aree di saggio, elaborazione del modello regressivo e applicazione alle griglie di uguale superficie nelle aree schiantate.

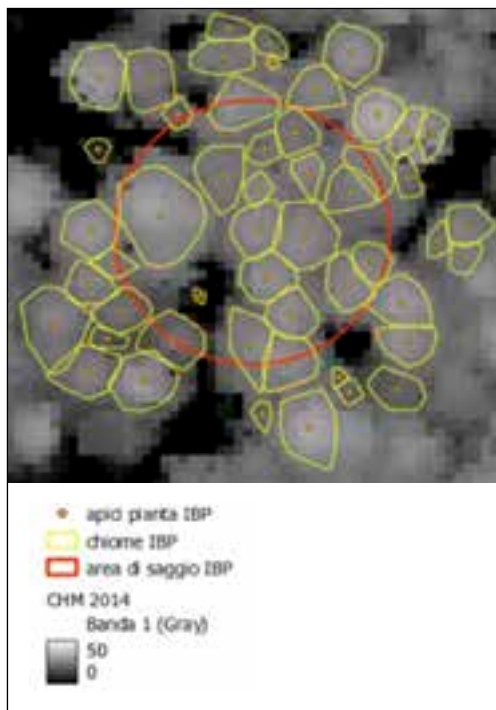


Figura 8 – Individuazione degli apici pianta e del perimetro delle chiome nelle aree di saggio sulla base della nuvola dei punti LiDAR.

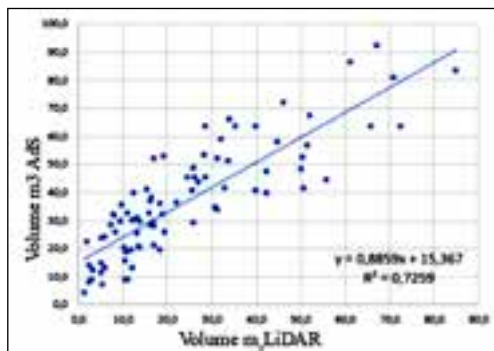


Figura 9 – Equazione lineare di regressione.

Tabella 5 – Statistiche del modello regressivo.

R	0,851
R-Squared	0,723
Adj. R-Squared	0,72
RMSE	10,202
Coef. Var	27,767
MSE	104,081
MAE	8,499

La capacità esplicativa del modello risulta buona, pari a circa il 72% in termini di  $R^2$  adjusted. L'errore medio MAE è pari a 8,5 mentre la radice dell'errore quadratico medio e cioè della differenza quadratica media tra i valori osservati e quelli stimati è pari a circa 10.

#### Test dei risultati su un campione indipendente

Nel corso del 2007 sono state rilevate, nel bosco della Val di Sella all'interno dell'area del comune di Borgo Valsugana precedentemente analizzata, alcune aree di saggio circolari con raggio di 20 m e misura dei diametri e delle



Tabella 6 – Comparazione tra dati misurati in campo e dati stimati con i precedenti metodi.

Verità a terra			area based – CHM			tree based		
N. area di saggio	descrizione tipo/struttura	V m3/ha	V m3/ha	differenza m3	differenza %	V m3/ha	differenza m3	differenza %
<b>10003</b>	<b>abeteto monoplano maturo</b>	<b>1040</b>	<b>942</b>	<b>-98</b>	<b>-9%</b>	<b>896</b>	<b>-144</b>	<b>-14%</b>
10004	Aceri-frassineto multiplano	374	610	236	63%	494	120	32%
<b>10005</b>	<b>abeteto monoplano adulto</b>	<b>1017</b>	<b>989</b>	<b>-28</b>	<b>-3%</b>	<b>1.013</b>	<b>-4</b>	<b>0%</b>
10006	rovereto monoplano adulto	272	660	388	143%	508	236	87%
10007	Aceri-frassineto monoplano adulto	184	792	608	330%	574	390	212%
10009	faggeta monoplana adulta	283	590	307	108%	343	60	21%
<b>10010</b>	<b>pecceta secondaria monoplana adulta</b>	<b>820</b>	<b>826</b>	<b>6</b>	<b>1%</b>	<b>800</b>	<b>-20</b>	<b>-2%</b>
<b>10011</b>	<b>abeteto monoplano adulto</b>	<b>624</b>	<b>694</b>	<b>70</b>	<b>11%</b>	<b>497</b>	<b>-127</b>	<b>-20%</b>
<b>10012</b>	<b>abeteto multiplano adulto</b>	<b>697</b>	<b>762</b>	<b>65</b>	<b>9%</b>	<b>717</b>	<b>20</b>	<b>3%</b>
10013	faggeta monoplana perticaia	504	890	386	77%	714	210	42%
<b>10014</b>	<b>pecceta secondaria monoplana perticaia</b>	<b>633</b>	<b>867</b>	<b>234</b>	<b>37%</b>	<b>723</b>	<b>90</b>	<b>14%</b>
10015	abeteto multiplano con faggio e acero	347	671	324	93%	485	138	40%
10016	faggeta monoplana perticaia	184	666	482	262%	512	328	178%
<b>10017</b>	<b>abeteto multiplano maturo</b>	<b>324</b>	<b>496</b>	<b>172</b>	<b>53%</b>	<b>375</b>	<b>51</b>	<b>16%</b>
10018	faggeta monoplana perticaia	123	519	396	322%	354	231	188%
10019	faggeta monoplana perticaia	236	724	488	207%	516	280	119%
<b>10021</b>	<b>pecceta monoplana adulta</b>	<b>643</b>	<b>819</b>	<b>176</b>	<b>27%</b>	<b>682</b>	<b>39</b>	<b>6%</b>

altezze delle piante ricadenti nell'area. Con l'obiettivo di effettuare una prima verifica delle stime descritte, è stato calcolato, nelle stesse aree di saggio, il volume sulla base dei metodi esposti nei precedenti capitoli e cioè delle metriche del CHM e della individuazione delle singole piante. Nella tabella 6 si riportano i risultati.

È evidente come le metodologie utilizzate per la stima del volume nelle aree schiantate, elaborate utilizzando le verità a terra dell'inventario dei boschi privati (IBP) **dei soli boschi di conifere**, vanno applicate solo in aree con alta presenza appunto di specie quali abete rosso o abete bianco.

"In particolare, nella tabella 6 sono evidenziate, in grassetto, le righe ascrivibili ai boschi di conifere in cui le differenze percentuali ri-

spetto al valore misurato in campo sono sensibilmente ridotte (n. area 10003, 10005, 10010, 10011, 10012, 10014, 10017, 10021)..

Anche l'altezza media derivata da CHM è influenzata dalla presenza di latifoglie e quindi sarebbe necessaria una rideterminazione delle equazioni regressive per tener conto di tale fattore.

Gli algoritmi per l'individuazione degli apici pianta su base LiDAR, tarati nel presente studio sulle sole conifere, determinano una sovra-individuazione di piante nei boschi di latifoglie. A titolo esemplificativo, l'area di saggio 10007, costituita prevalentemente da un aceri-frassineto adulto, presenta nella realtà 24 piante sopra i 20 m mentre l'elaborazione LiDAR ne ha individuate 43.

In conclusione, sulla base di questa prima verifica effettuata elaborando un numero ridotto di verità a terra e in un'area forestale circoscritta (boschi della Val di Sella), i due metodi forniscono, per le aree di saggio ricadenti in boschi di conifere, risultati confortanti. Sarà interessante estendere in futuro questa verifica ad un campione maggiormente rappresentativo della realtà trentina.

## Risultati e conclusioni

La superficie complessiva provinciale delle aree schiantate con danno elevato o totale, stimata sulla base di una classificazione supervisionata di immagini satellitari, è risultata essere pari a 11.350 ha.

Il calcolo della massa volumetrica atterrata su tali aree, effettuato sulla base dei Piani Aziendali Forestali, ha consentito di desumere il dato volumetrico che potrà essere preso come riferimento nella valutazione dei danni. Quello invece derivato da LiDAR consente sicuramente di avere una stima del volume maggiormente localizzata rispetto a quella media particellare. Saranno necessari però ulteriori verifiche per stimare l'affidabilità e l'accuratezza dei metodi.

## Ringraziamenti

Il progetto qui descritto è stato sviluppato nell'ambito del master universitario di II livello in "GIS Science e droni" seguito dallo scrivente presso l'Università degli Studi di Padova nel corso del 2020. Si ringrazia innanzitutto il prof. Francesco Pirotti per il supporto e i consigli nella realizzazione del progetto. Un particolare ringraziamento inoltre va a Michele Dalponte della Fondazione Edmund Mach per gli utili consigli e per il supporto nello sviluppo di algoritmi in R, ad Antonio Floris del CREA di Trento per il supporto nella elaborazione delle aree relascopiche, a Lorenzo Frizzera della Fondazione Edmund Mach per l'elaborazione del volume delle aree di saggio dell'Inventario dei Boschi Privati.

## BIBLIOGRAFIA

BARILOTTI A., TURCO S., NAPOLITANO R., BRESSAN E., 2005 – *La tecnologia LiDAR per lo studio della biomassa negli ecosistemi forestali*. XV Congresso della Società Italiana di Ecologia, Torino.

BARILOTTI A., SEPIC F., 2006 – *Delineazione automatica delle chiome in diverse tipologie forestali attraverso analisi di dati LiDAR*. Atti X Conferenza ASITA, Bolzano, 14-17 novembre 2006.

CARRIERO A., 2021 – *Individuazione degli schianti VAIA in provincia di Trento e stima della biomassa legnosa atterrata*. Tesi del Master di II livello in GIS Scienze e droni. Università degli Studi di Padova

EYSN L., HOLLAUS M., LINDBERG E., BERGER F., MONNET J., DALPONTE M., KOBAL M., PELLEGRINI M., LINGUA E., MONGUS D., PFEIFER N., 2015 – *A Benchmark of Lidar-Based Single Tree Detection Methods Using Heterogeneous Forest Data from the Alpine Space*, Forests 2015, 6, 1721-1747.

FLORIS A., SCRINZI G., 2010 – *Stima su base LiDAR delle provvigioni legnose forestali: uno studio per la foresta di Paneveggio*.

FLORIS A., CLEMENTEL F., FARRUGGIA C., SCRINZI G., 2010 – *Stima su base LiDAR delle provvigioni legnose forestali: uno studio per la Foresta di Paneveggio*. Rivista Italiana di Telerilevamento – 2010, 42 (3): 15-32

NAESSET E., 2004 – *Practical large-scale forest stand inventory using small-footprint airborne scanning laser*. Scandinavian Journal of Forest Research, 19:164-179.

PATERNO C., 2020 – *Utilizzo di dati LiDAR per la redazione di un piano di gestione forestale in Provincia di Trento*, Tesi di Laurea, Dipartimento di Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova

PIROTTI F., PATERNO C., PIVIDORI M., 2020 – *Application of tree detection methods over LiDAR data for forest volume estimation*

SCRINZI G., GALVAGNI D., MARZULLO L., 2010 – *I nuovi modelli dendrometrici per la stima delle masse assestamentali in provincia di Trento*, Provincia Autonoma di Trento.

SCRINZI G., CLEMENTEL F., COLLE G., FARRUGGIA C., FLORIS A., TORRESAN C., 2011 – *L'inventario dendrometrico nella nuova pianificazione forestale aziendale Trentina (NPFAT)*, Provincia Autonoma di Trento.

SERVIZIO FORESTE E FAUNA – PAT, 2020b – *Schianti Vaia, terzo report dicembre 2020*, Provincia Autonoma di Trento

TONOLLI S., DALPONTE M., NETELER M., RODEGHIERO M., 2011 – *Fusion of airborne LiDAR and satellite multispectral data for the estimation of timber volume in the Southern Alps*. Remote Sensing of Environment 115, 2486-2498.

**Angelo Carriero**

E-mail: [angelo.carriero@provincia.tn.it](mailto:angelo.carriero@provincia.tn.it)

Servizio Foreste – PAT

Tel. 0461.495676 – via Trener, 3 – Trento

**PAROLE CHIAVE:** *LiDAR, inventari forestali, volume legnoso, classificazione supervisionata, tree-detection*

#### **RIASSUNTO**

Il monitoraggio del territorio e la stima dei danni in occasione di eventi climatici avversi sono un processo fondamentale per la programmazione degli interventi e per il ripristino degli ecosistemi danneggiati. Le aree colpite dalla tempesta VAIA di fine ottobre 2018 ammontano a circa 11.350 ha. Il presente lavoro intende stimare l'entità del danno in termini di metri cubi di massa legnosa abbattuta confrontando vari metodi di elaborazione.

**KEYWORDS:** *LiDAR, forest inventory, tree volume, supervised classification, tree-detection*

#### **ABSTRACT**

The monitoring of the environment and the damage assessment in the event of adverse climatic events are fundamental for the planning of interventions and for the restoration of damaged ecosystems. The areas affected by the VAIA storm that hit the northeast of Italy at the end of October 2018 is approximately 11,350 hectares. This work intends to assess the extent of the damage in terms of cubic meters of destroyed wood mass by comparing various processing methods.