

# Individuazione degli schianti VAIA in provincia di Trento

## Introduzione

### La tempesta VAIA

A partire dal 26 ottobre 2018 sull'Europa orientale si è rafforzato un campo di alta pressione, mentre sull'Europa occidentale si è approfondita una profonda saccatura atlantica. Tale situazione ha determinato la formazione di flussi meridionali e precipitazioni abbondanti sull'intero arco alpino. Nella notte del 29 ottobre 2018 la stazione meteorologica di Passo Manghen (gruppo del Lagorai) ha registrato i valori di velocità del vento maggiori di tutta la provincia di Trento, con punte di oltre 190 km/h (tab.1).

Nella mappa di figura 1 è possibile notare la profonda saccatura estesa fino al nord Africa.

Il fronte freddo proveniente da ovest è stato preceduto da correnti caldo-umide negli strati più bassi, le *low level jet*, che hanno determinato

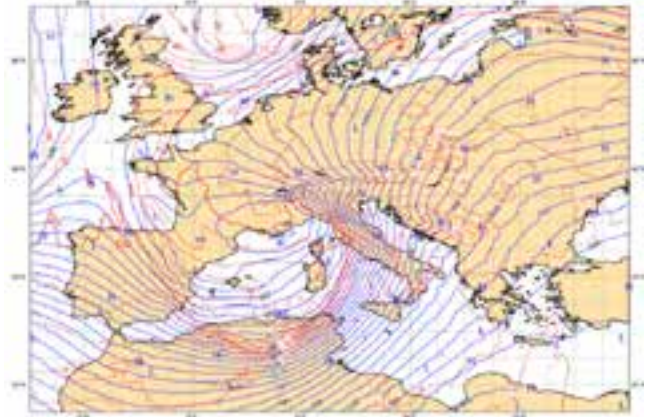


Figura 1 – Mappa della superficie geopotenziale 500 hPa delle ore 19:00 del 28 ottobre 2018. Fonte Meteotrentino.

un rapido innalzamento delle temperature e venti intensi a forte componente verticale dalla sera del 29. Le raffiche hanno interessato principalmente i settori orientali del Trentino dove sono state abbattute vaste aree forestali e scoperchiate alcune abitazioni (TRENTI, 2018, p.1-4).

Tabella 1 – Velocità del vento registrate dalla stazione meteorologica di Passo Manghen. Fonte Meteotrentino.

Stazione	Quota (m s.l.m.)	Raffiche max (km/h)	Altri massimi storici (km/h data)	
Passo Manghen	2.035	191.5	153,7	09 febbraio 2015
			142,6	08 febbraio 2015
			136,4	10 gennaio 2015
			134,3	27 marzo 2015

## Obiettivi

A seguito della tempesta VAIA è stata stimata, in Trentino, una superficie forestale coinvolta pari a circa 20.000 ha. Per poter valutare i danni e realizzare un piano d'azione per la gestione degli interventi di esbosco e di ricostruzione dei boschi danneggiati è stato necessario definire e localizzare con maggiore precisione le aree danneggiate ed effettuare una stima della massa legnosa totale.

L'obiettivo principale del presente progetto (CARRIERO, 2021) è la localizzazione delle superfici colpite sulla base di immagini satellitari e di dati LiDAR (*Light Detection And Ranging*) acquisiti dalla Provincia Autonoma di Trento nel corso degli ultimi anni. Le superfici schiantate dovevano rispettare i seguenti requisiti di base: 2000 m<sup>2</sup> di dimensione minima ed una intensità di schianto, in termini di copertura, superiore al 70%. Obiettivo secondario è la valutazione dei danni e cioè la stima dei m<sup>3</sup> della massa legnosa totale schiantata sulla base dei Piani Aziendali Forestali e del rilievo LiDAR.

## Area di studio

L'area di studio è rappresentata da tutto il territorio della provincia di Trento, esteso per circa

6.200 km<sup>2</sup>. Un'analisi preliminare è stata effettuata su un'area test di circa 2000 ha, ubicata nel comune di Lavarone. Tale analisi ha permesso di stabilire la fattibilità dei metodi di classificazione supervisionata basata sui dati satellitari: la validazione e la stima dell'accuratezza dei risultati sono state effettuate sulla base di uno specifico set di verità e di verifiche effettuate in campo.

## Materiali e metodi

### Studio pilota su area test

L'analisi preliminare effettuata in ambiente QGIS (plugin STEM) ha consentito di testare vari metodi di classificazione supervisionata. La stima dell'accuratezza è stata poi effettuata sulla base di uno specifico set di verità rilevate sulla base delle ortofoto del 2020, successiva quindi all'evento VAIA, e del 2015 pre-VAIA e, successivamente verificate in campo. Gli algoritmi di classificazione utilizzati sono stati i seguenti:

- minima distanza;
- massima verosimiglianza;
- Support Vector Machines (SVM).



Figura 2 – Provincia di Trento e area test nel comune di Lavarone.

Si riportano, di seguito, le matrici di confusione e le stime di accuratezza delle tre metodologie.

Tabella 2 – Confronto tra i test di accuratezza degli algoritmi di classificazione supervisionata.

<b>Maximum likelihood</b>			<b>Minimum distance</b>		
<u>Confusion Matrix and Statistics</u>			<u>Confusion Matrix and Statistics</u>		
		Reference			
<u>Prediction</u>		schianto	non schianto	schianto	non schianto
schianto		987	68	928	63
non schianto		18	936	77	941
<u>Accuracy</u>		0,9572		0,9303	
<u>Kappa</u>		0,9144		0,8606	

<b>Support vector machine</b>			
<u>Confusion Matrix and Statistics</u>			
		Reference	
<u>Prediction</u>		schianto	non schianto
schianto		923	46
non schianto		82	958
<u>Accuracy</u>		0,9363	
<u>Kappa</u>		0,8726	

La scelta è ricaduta sull'algoritmo della massima verosimiglianza che ha fornito i migliori risultati sia in termini di classificazione che di tempi di elaborazione. Dovendo, infatti,

analizzare superfici boscate estese, la velocità di elaborazione risulta essere un fattore importante nella scelta dell'algoritmo da utilizzare. L'elaborazione nell'area test è stata effettuata

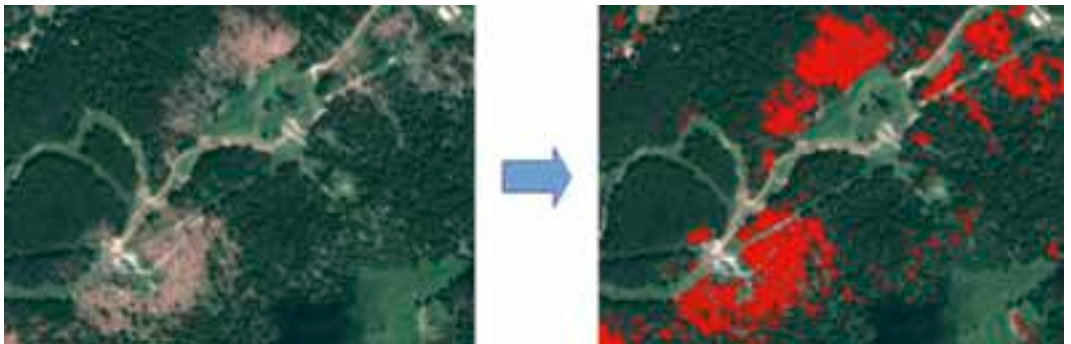


Figura 3 – Individuazione delle aree schiantate in area test nel comune di Lavarone. Ortofoto 2020: ©AGEA – Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura, Roma ([www.agea.gov.it](http://www.agea.gov.it)).

sia con *software* QGIS che ENVI. I prodotti sono risultati simili e quindi tutte le successive elaborazioni sono state effettuate con il *software opensource* QGIS.

Gli input al classificatore di massima verosimiglianza sono il file di training delle verità a terra e l'immagine raster da classificare.

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

Nel corso degli anni 2014-2020 la Provincia 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 nuvole di punti in file LAS/LAZ, un modello digitale del terreno (DTM – Digital Terrain Model) e un modello delle superfici (DSM – Digital Surface Model). Successivamente l'Amministrazione provinciale ha elaborato il CHM (Canopy Height Model) a risoluzione di 1 m x 1m.

Nel corso del 2019 e del 2020 la Provincia ha acquisito inoltre una serie di immagini satellitari con l'obiettivo di migliorare l'individuazione delle aree schiantate. In particolare sono state acquisite:

- immagini del satellite Pleiades a risoluzione spaziale di 0,50 cm nel pancromatico e 2 m nel multispettrale e risoluzione spettrale 4 bande (RGBI);
- immagini satellite GeoEye a risoluzione geometrica di 0,40 cm nel pancromatico e 1,6 m nel multispettrale e risoluzione spettrale 4 bande (RGBI);
- immagini satellite SuperView a risoluzione spaziale di 0,50 cm nel pan-

cromatico e 2 m nel multispettrale e risoluzione spettrale 4 bande (RGBI).

Dall'inizio del 2021 sono disponibili ortofoto AGEA rilevate nel 2020 a risoluzione spaziale di 0,2 m e risoluzione spettrale di 3 bande nei canali RGB (Ortofoto 2020 ©AGEA–Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura , Roma ).

### *Software utilizzati*

Si elencano di seguito i software utilizzati:

- **QGIS** per le analisi spaziali;
- **STEM**: plugin sperimentale per QGIS.
- **RStudio** per le elaborazioni;
- **ENVI** alcune classificazioni supervisionate sono state effettuate con tale software;
- **CloudCompare** per la visualizzazione di nuvole di punti;
- **GDAL**: molte elaborazioni di mosaico e di ricampionamento sono state effettuate direttamente con le *utility* GDAL;

La maggior parte delle elaborazioni di seguito descritte è stata effettuata con il software STEM (Sistema per il Telerilevamento E il Monitoraggio territoriale). Tale software è stato sviluppato su commissione della Provincia di Trento per elaborare informazioni tele-rilevate in ambito forestale e agricolo. È un *plugin* per QGIS composto da una ricca *toolbox di processing*. Gli algoritmi e le elaborazioni si basano su moduli e librerie di R e di Grass. Attualmente è ancora in fase sperimentale e a breve sarà rilasciata la versione stabile definitiva per QGIS ver. 3.x.

Nella figura 4 è rappresentata la *toolbox di processing*.

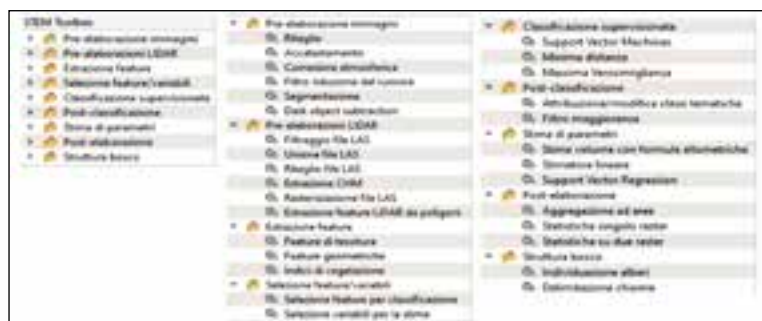


Figura 4 – Toolbox STEM.

### La classificazione delle aree schiantate

#### Predisposizione dei dati di input

La classificazione delle aree schiantate, come evidenziato nella figura 5, ha comportato l'elaborazione di una serie notevole di immagini a differente risoluzione geometrica e spaziale. I riquadri colorati rappresentano il *bounding box* delle varie immagini satellitari (Pleiades, GeoEye e SuperView) mentre, nel restante territorio, l'unico dato post-VAIA è rappresentato dall'ortofoto AGA2020 (RGB).

Al fine di aumentare le *feature* descrittive sono state testate varie combinazioni dei dati a disposizione (immagini satellitari RGBI, ortofoto RGB e dati LiDAR) effettuando un somma delle bande (*raster stack*).

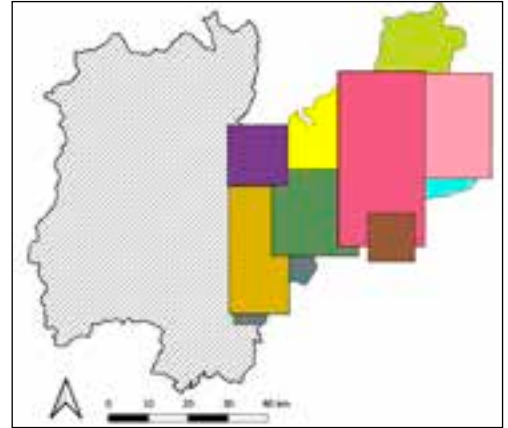


Figura 5 – Copertura delle strisciate satellitari in provincia di Trento.

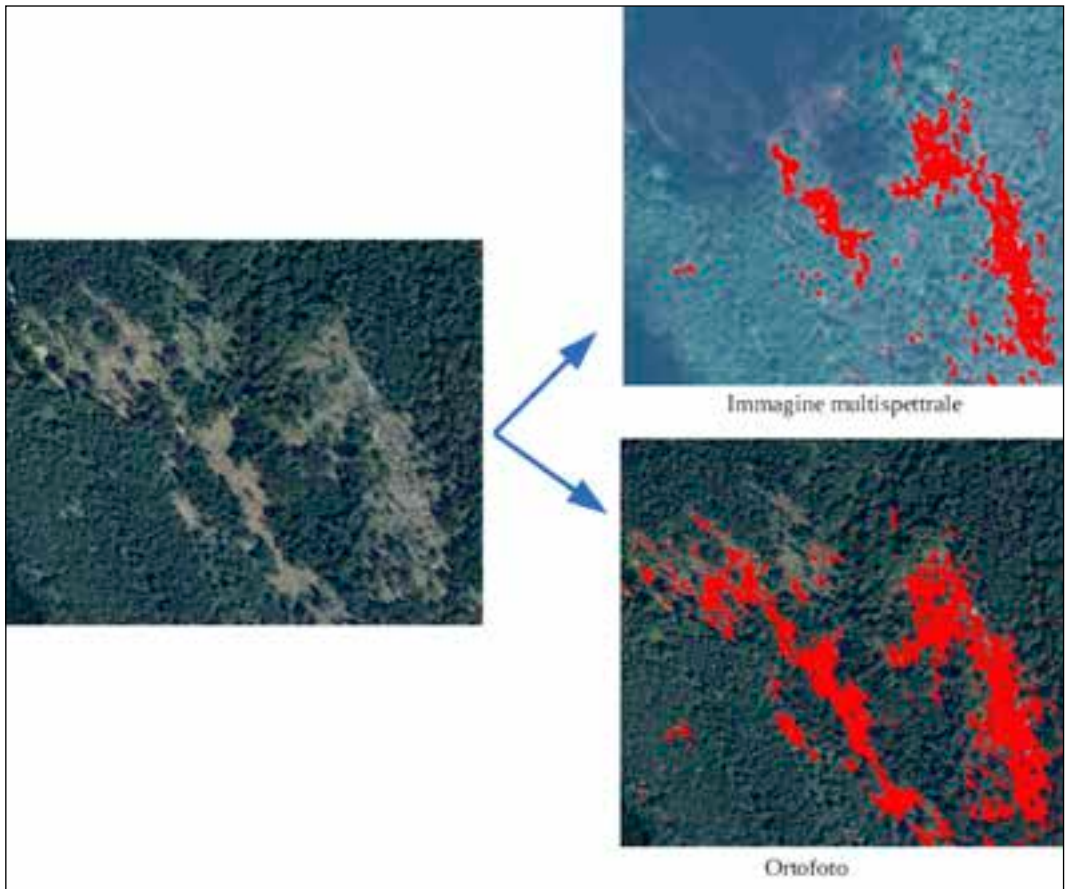


Figura 6 – Confronto tra classificazione della sola immagine satellitare multispettrale rispetto a quella composta dall'ortofoto 2020 (RGB) + immagine satellitare multispettrale



Dove era presente sia il dato satellitare che quello RGB 2020, si è proceduto con “l’acatastare” in un unico file i dati. In questo caso la risoluzione dell’ortofoto è stata degradata da 0,20 m a 1 m per ridurre l’effetto “rumore di fondo”. Per la scelta delle *feature* è stato utilizzato il modulo STEM di *feature selection* (DALPONTE, BRUZZONE, VESCOVO, 2009) che esegue la selezione delle variabili per la stima costruendo un modello di regressione da un set di variabili predittori candidati.

Nella figura 6 si nota come il contributo dell’ortofoto ha migliorato, nel caso di presenza di ombre, la delimitazione delle aree prive di vegetazione. L’ortofoto, inoltre, è stata rilevata successivamente all’immagine satellitare. Questo migliora la definizione delle aree schiantate perché, nel corso del 2019, la Provincia ha provveduto ad esboscare numerose aree e, quindi, ad eliminare molte piante colpite ma non ancora atterrate che non consentivano una corretta classificazione dell’area. Nel Trentino occidentale, purtroppo, non disponendo delle immagini satellitari, la classificazione si è basata solo sull’ortofoto 2020 RGB.

#### Definizione della maschera di elaborazione

Il Servizio Foreste aggiorna regolarmente lo strato informativo “bosco” che rappresenta l’insieme delle aree forestali presenti sul territorio provinciale. Queste aree ammontano a circa 391.750 ha e rappresentano il 63% della superficie totale provinciale. Inoltre, come precedentemente già indicato, è disponibile su tutta l’area forestale un rilievo LiDAR ad alta precisione le cui caratteristiche sono di 10 punti al m<sup>2</sup> e 4 ritorni.

Al fine di limitare l’analisi alle sole aree boscate con presenza di soggetti arborei, è stata elaborata una maschera utilizzando lo strato informativo vettoriale “bosco” e quello raster CHM con altezza superiore a 2 m. Ciò ha consentito di limitare la classificazione alla individuazione delle sole classi bosco/schianti mascherando quindi tutte le aree che, pur rientranti nella definizione di bosco, non sono interessanti per gli scopi del presente studio: radure, chiarie, piazzali di deposito, strade forestali, ecc. Il diagramma di figura 7 esemplifica il processo elaborativo:

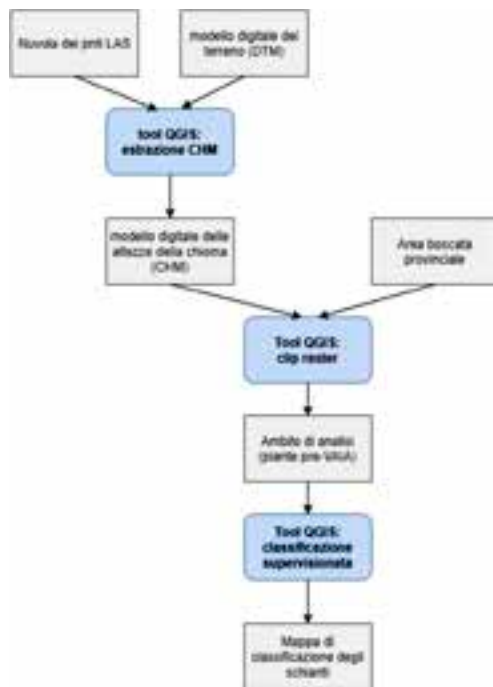


Figura 7 – Diagramma di flusso del processo elaborativo di classificazione.

#### Il processo di classificazione

Sono state individuate le verità a terra, per ciascuna immagine satellitare, sulla base delle ortofoto 2020 post-VAIA e di quella pre-VAIA del 2015. In alcuni casi, in presenza di nuvole o di ombre, oltre alle classi bosco/schianto è stato necessario classificare anche queste due tipologie.

Lo strumento di processing utilizzato è stato quello della “massima verosimiglianza” della toolbox STEM. La classificazione avviene in tre passaggi:

- partendo dalle aree di training il classificatore stima la media e la varianza di ogni classe;
- una funzione di tipo gaussiano viene definita per ogni classe partendo dalle medie e dalle varianze stimate al passaggio precedente;
- per ogni pixel dell’immagine da classificare si ottiene un valore della funzione gaussiana di ogni classe e viene scelta la classe che fornisce il valore più alto.

Gli input al classificatore sono il file di training delle verità a terra e l'immagine raster da classificare.

#### Correzione degli errori di classificazione

Il processo di classificazione ha generato una serie di falsi positivi e negativi in relazione alla bontà dell'immagine: zone d'ombra, aree con schianti sparsi, ecc.

È stato necessario, quindi, procedere ad un controllo puntuale per depurare il risultato dalle errate classificazioni. In particolare, si è provveduto a:

- eliminare le piccole aree con errata classificazione: si è utilizzato lo script *gdal\_sieve* della libreria GDAL. Tale script rimuove le celle raster sotto una determinata soglia (in numero di pixel) e le accorpa alle vicine di dimensioni maggiori;
- accorpare le aree schiantate vicine: si è provveduto ad effettuare due processi di *buffer*, con l'opzione di *dissolve*, prima di +10 m e successivamente di -10 m.
- eliminare i poligoni di superficie inferiore a 2000 m<sup>2</sup>;
- verificare a video ed eliminare manualmente i poligoni errati.

La tabella 3 riassume le superficie ed il numero di poligoni individuati in ciascuna fase nell'area di elaborazione del Distretto Forestale del Primiero (55.500 ha).

Tabella 3 – Superficie e numero di poligoni risultanti nelle varie fasi di post-classificazione nel distretto di Primiero.

operazioni	Area schianti (ha)	n poligoni
Eliminazione pixel singoli ( <i>gdal_sieve</i> )	1.256	14.458
Buffer +/- 10m	1.797	6.101
eliminazione poligoni < 2000 m <sup>2</sup>	1.564	776
Verifica ed eliminazione manuale	1.158	445

L'algoritmo *gdal\_sieve* ha consentito di eliminare tutti i pixel singoli o piccole aree classificati come schianti che costituivano un rumore

di fondo nella classificazione. Nell'area del Distretto Forestale di Primiero tale operazione ha generato 14.458 poligoni. L'operazione poi di accorpamento con il buffer ha generato 6.101 poligoni di cui 776 con area maggiore di 2000 m<sup>2</sup>. L'ultima operazione di verifica a video ha portato alla conferma di 445 aree. L'area individuata come schianto è passata da 1.256 ha a 1.158 ha. Fondamentale, quindi, è risultata essere l'attività di post-classificazione che ha consentito di ripulire le false classificazioni generate dal processo automatico

Nella zona del Trentino occidentale dove si aveva a disposizione solo l'ortofoto 2020 RGB, la classificazione e le successive operazioni di buffer ed eliminazione delle aree sotto i 2000 m<sup>2</sup>, hanno generato 1.370 poligoni con una superficie complessiva di 1.600 ha. La successiva

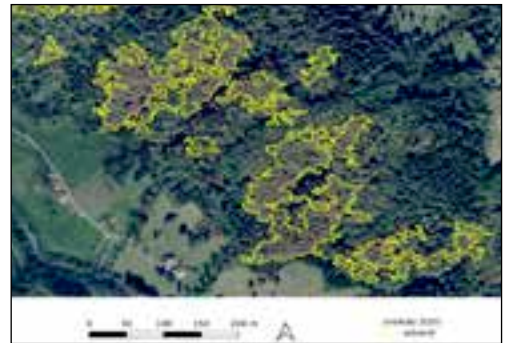


Figura 8 – Classificazione errata in presenza di latifoglie effettuata con il solo supporto dell'ortofoto RGB.

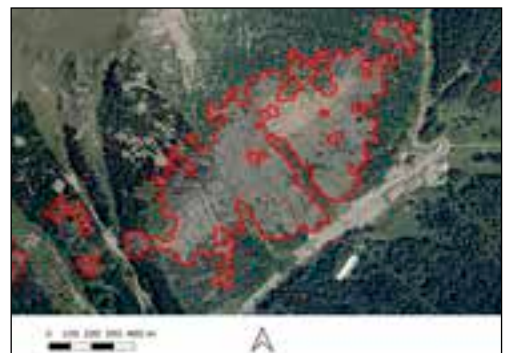


Figura 9 – Schianti individuati correttamente nel comune di Folgaria elaborando immagini satellitari multispettrali + ortofoto RGB.



Figura 10 – Schianti sopra l’abitato di Predazzo: ortofoto del 2015 - pre-VAIA.



Figura 11 – Schianti sopra l’abitato di Predazzo: ortofoto del 2020 - post-VAIA.

operazione manuale di verifica ed eliminazione a video ha portato la superficie degli schianti a 429 ha e 357 poligoni con una diminuzione in termini di superficie di circa il 70%. La classificazione dell’ortofoto utilizzando le sole bande RGB e l’elevato “rumore di fondo” hanno infatti determinato una elevata quantità di falsi positivi e un notevole dispendio di tempo per la correzione degli errori.

#### Stima dell’accuratezza della classificazione

La stima dell’accuratezza è stata effettuata sull’output del processo di classificazione prima dell’eliminazione manuale dei poligoni errati. Il processo è stato effettuato su una macro-

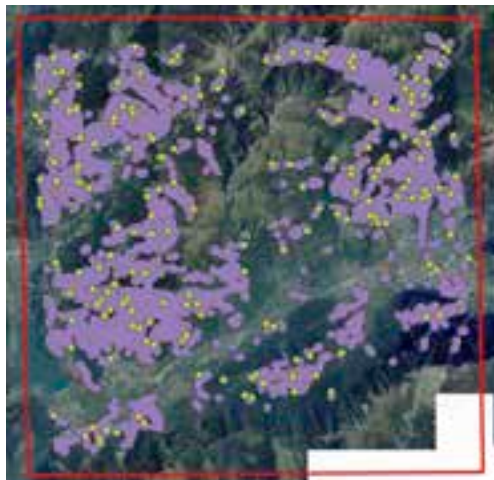


Figura 12 – 200 punti casuali per la stima dell’accuratezza.

area coperta da una singola immagine satellitare e nello specifico, un’area di 53.752 ha, ubicata nel distretto forestale di Borgo Valsugana e rilevata con il satellite *Pleiades* nel giorno 19 settembre 2021. Data la vastità della superficie territoriale rispetto alle aree schiantate, la verifica di accuratezza è stata effettuata solo nelle aree individuate come schianti e in un intorno di 200 m da esse. In queste aree sono stati estratti, in maniera casuale, 200 punti ed è stato comparato l’esito del processo di classificazione supervisionata con le verità “a terra” rilevate sulla base dell’ortofoto AGEA2020. Si riportano la matrice di confusione e le statistiche di accuratezza.

Tabella 4 – Matrice di confusione.

reale/predetto	schianto	non schianto	Totali
schianto	36	7	43
non schianto	5	152	157
Totali	41	159	200

$$\text{Accuratezza} = (36+152) / (36+7+5+152) = 94\%$$

$$\text{Tasso di errore} = (5+7) / (36+7+5+152) = 6\%$$

$$\text{Precisione} = 36 / (36+5) = 88\%$$

$$\text{Richiamo o sensibilità} = 36 / (36+7) = 84\%$$

$$\text{F-score} = 2 * 0,84 * 0,88 / (0,84+0,88) = 86\%$$



### Realizzazione dello strato “schianti VAIA”

Ultimate le classificazioni di tutte le immagini si è proceduto con l'accorpamento dei poligoni “schianti VAIA” e con il calcolo della superficie totale. Questa ammonta a **11.350 ha** con le caratteristiche di superficie minima di 2000 m<sup>2</sup> e di entità di danno, in termini di copertura, superiore al 70%. Il dato risulta essere in linea con quanto stimato dal personale forestale nel corso del 2019.

Come è possibile notare nella figura 13, gli schianti sono localizzati principalmente nel settore orientale provinciale come già segnalato dal personale dei Distretti Forestali.

Lo strato informativo è disponibile nel geocatalogo del portale geocartografico della Provincia di Trento all'indirizzo: <https://siat.provincia.tn.it/geonetwork> ricercando “schianti VAIA”.

### Risultati e conclusioni

La superficie complessiva provinciale delle aree schiantate con danno elevato o totale è risultata essere pari a **11.350 ha**. La classificazione precedentemente descritta ha consentito di individuare con maggiore precisione le aree colpite e gravemente danneggiate dalla tempesta VAIA. Questo permetterà di programmare meglio le attività di esbosco e di recupero del soprassuolo danneggiato e di monitorare meglio l'evoluzione di eventuali processi di sviluppo di patogeni (bostrico). Lo studio conferma quindi le potenzialità applicative delle tecniche di classificazione delle immagini satellitari delle aree forestali sia per il monitoraggio che per la pianificazione forestale.

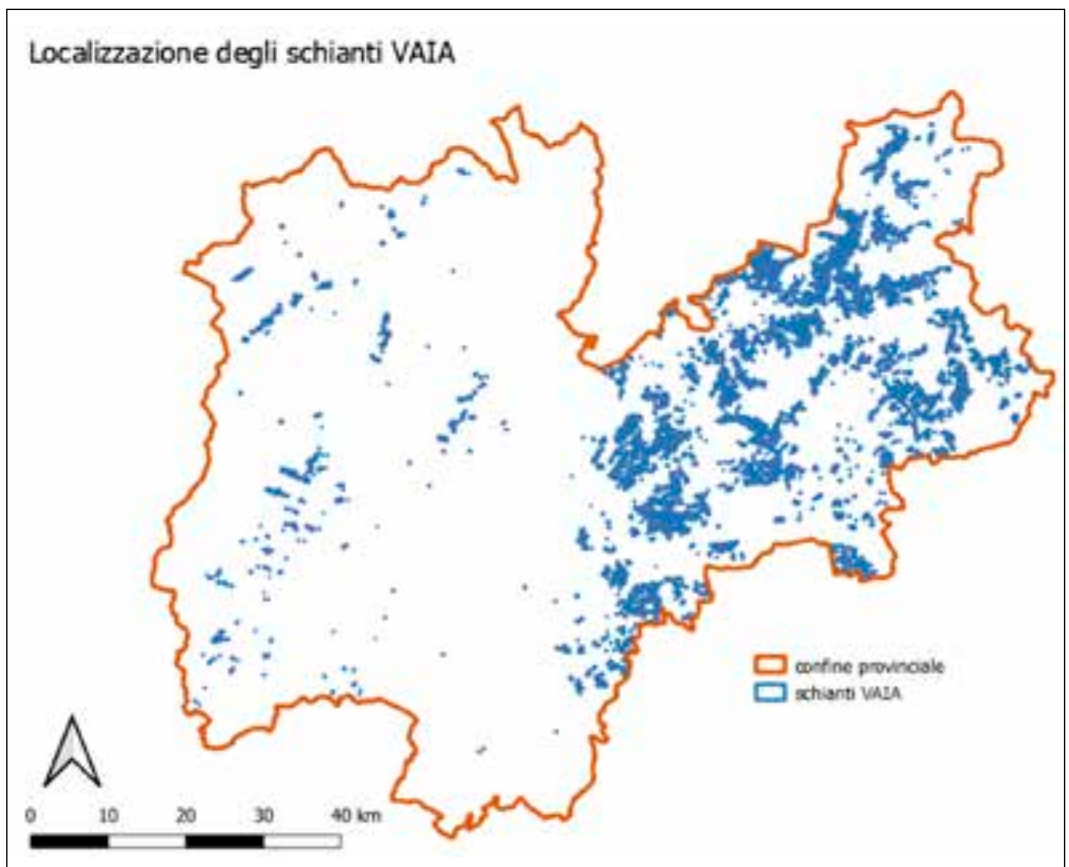


Figura 13 – Localizzazione degli schianti in provincia di Trento.

## 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 al dott. Michele Dalponte della Fondazione Edmund Mach per gli utili consigli e per il supporto nello sviluppo di algoritmi in R.

## BIBLIOGRAFIA

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

DALPONTE M., BRUZZONE L., VESCOVO L., GIANELLE D., 2009 – *The role of spectral resolution and classifier complexity in the analysis of hyperspectral images of forest areas*. Remote Sensing of Environment 113: 2345-2355.

TRENTI A., 2018 – *Perturbazione eccezionale del 27-29 ottobre 2018*. Meteotrentino – [https://content.meteotrentino.it/analisiMM/2018\\_perturbazione\\_ottobre.pdf](https://content.meteotrentino.it/analisiMM/2018_perturbazione_ottobre.pdf) (consultato il 1/6/2021)

**Angelo Carriero**

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

Servizio Foreste – PAT

via Trener, 3 – Trento – Tel. 0461.495676

**PAROLE CHIAVE:** *LiDAR, inventari forestali, 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. Il presente lavoro intende individuare, sulla base di immagini multispettrali, le aree colpite dalla tempesta VAIA di fine ottobre 2018. L'elaborazione è stata effettuata per tutto il territorio della provincia di Trento (6.200 km<sup>2</sup>) utilizzando metodi di classificazione supervisionata. La stima della superficie di schianti (soprassuolo arboreo completamente abbattuto o fortemente danneggiato) è risultata essere pari a circa 11.350 ha.

**KEYWORDS:** *LiDAR, forest inventory, 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. This work intends to identify, on the basis of multispectral images, the areas affected by the VAIA storm that hit the northeast of Italy at the end of October 2018. The study was carried out for the entire territory of the province of Trento (6,200 km<sup>2</sup>) using supervised classification methods. The estimate of the damaged forest areas, destroyed or intensely damaged, is approximately 11,350 hectares.