



FIVE YEARS AFTER VAIA

Forest and land management in mountain environments: experiences and knowledge five years after the Vaia storm

Edited by Andrea Battisti, Stefano Grigolato and Emanuele Lingua

The Vaia Storm had a significant impact on forests and on the related sector in North-Eastern Italy, considerably influencing forest management and the wood supply chain. Five years after the event, on October 30th 2023 in the Aula Magna of the Agripolis campus of the University of Padua, young researchers from the TESAF and DAFNAE Departments presented their results from ongoing research on windthrow and related cascade disturbances (e.g. bark beetle outbreaks). In the first part of the day, contributions from the various regions (Friuli-Venezia Giulia, Lombardy, Veneto) and the autonomous provinces (Bolzano/Bozen and Trento) were presented, with an update on the post-event management experiences and problems. In the second part, the projects financed by the University of Padua were presented (VAIAFRONT of TESAF and the “Young Researchers for Vaia” initiative), followed by talks delivered by doctoral students and research fellows who presented the main results relating to the research conducted on the Vaia storm. The problem was addressed from different points of view and with a multidisciplinary approach, analyzing aspects related to silviculture and forest ecology, mechanization and forest uses, entomology, hydrology, geomatics and the socio-economic context. Given the interest of the topics covered, here we report the summary of the contributions presented by the young researchers, with the hope that this will encourage the exchange of knowledge and provide inspiration for further collaborations and in-depth studies.

Citation: Battisti A., Grigolato S., Lingua E. (edited by), 2023 - *Five years after Vaia. Forest and land management in mountain environments: experiences and knowledge five years after the Vaia storm*. L'Italia Forestale e Montana, 78 (5): 197-213; <https://dx.doi.org/10.36253/ifm-1116>

Received: 23/12/2023 **Revised version:** 04/01/2024 **Published online:** 14/02/2024

Hydrology and Hydraulics

Characterization of the flood response to the Vaia storm (October 27th-30th, 2018) in the Eastern Italian Alps

Eleonora Dallan ^{(a)(*)} - Mattia Zaramella ^(b) - Lorenzo Marchi ^(c) - Francesco Marra ^(d) - Marco Cavalli ^(c)
Stefano Crema ^(c) - Marco Borga ^(a)

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua.

^(b) Inside Climate Service, Italy.

^(c) Research Institute for Geo-hydrological Protection, National Research Council (CNR IRPI), Padova, Italy.

^(d) Department of Geosciences, University of Padova, Italy.

^(*) Corresponding Author; (eleonora.dallan@unipd.it)

In October 2018, the Eastern Italian Alps experienced an unprecedented rainfall event, resulting in destructive flooding and hydro-geological hazards. Leveraging high-resolution rainfall data from rain gauges and weather radar, along with flood response data from stream gauges and post-event surveys, we analyse the hydro-meteorological and hydrological mechanisms of this extreme storm and subsequent flooding in a mountainous catchment. Vaia accumulated rainfall was exceptionally high in most of the area, with severity reaching return periods of 100 years or more. The event was characterized by i) dry antecedent conditions due to a prolonged drought, and ii) two distinct rainfall phases separated by a rainfall hiatus. Employing

a distributed hydrological model, we accurately simulate the flood response in the Cordevole basin, shedding light on the underlying processes. The flood response was controlled by three distinct factors: the prolonged antecedent dry period, the dry hiatus between two phases of intense rainfall, and the high groundwater storage capacity of the area mostly hit by the rainband. This study highlights the significance of combining post-event observations with hydrological modelling to improve our understanding of flood generating processes during extreme precipitation events like Vaia, ultimately improving our preparedness for them.

Key words: extreme event; hydrological modeling; flood; rainfall.

Morphological and sedimentological analysis of the Vaia event in the Rio Cordon and Tegnás Torrent basins

Giacomo Pellegrini

Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua; giacomo.pellegrini@unipd.it

Mountain basins are governed by a dynamic equilibrium, alterable by natural and anthropic disturbances that affect sediment supply and transport capacity of mountain streams. This study explores the effects of the Vaia storm on two mountain basins, the Tegnás Torrent and the Rio Cordon (Northeast Italy, Belluno). For the analysis, data from remote sensing (LiDAR) and from the field were exploited. Along the Tegnás Torrent, the study highlighted predominant erosion along the secondary channel

network, associated with deposition along the valley floor. The study identified geology and land-use types as triggering factors of the newly (re)created instabilities. In the Rio Cordon, the Vaia storm generated the highest hydraulic force ever registered, resulting in lateral erosion, incision, and removal of the armoured layer all along the channel network, with an overall alluvial response. Here, the Vaia's total bedload constituted 79% of the load observed between 1986 and 2018. Nevertheless, monitoring

events secondary to Storm Vaia (2020–2022) revealed an increase in the efficiency of suspended sediment transport. This study underscores how extraordinary disturbances immediately alter the dynamic equilibrium of mountain ba-

sins, facilitating subsequent secondary processes driven by minor events that therefore need to be taken into serious consideration.

Keywords: mountain basins; dynamic equilibrium; sediment transport; secondary effects.

Forest ecology and silviculture

Influence of biological legacies and management activities on regeneration dynamics after stand replacing wind disturbances. Implications on restoration strategies

Davide Marangon ^{(a)(*)} - Emanuele Lingua ^(a)

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; (davide.marangon.1@unipd.it)

Windthrows are the first cause of damage to European forests. To mitigate the damage it is crucial to understand how to deal with deadwood on the ground: total salvage logging, no intervention at all or manipulation of the deadwood. Windthrows and the subsequent management strategies alter the ecosystem services provisioning, therefore it is important to restore forest cover as fast as possible. Natural regeneration plays a key role in this scenario, because it can cover large areas and it is highly cost-effective, even if under some conditions it is hard to recover in short times. Moreover, the distance from the living edges or seed-trees is crucial to make natural regeneration effective.

Deadwood and other disturbance legacies can help in this case, crating favourable microsites for regeneration establishment and survival, mitigating environmental stress at microsite level and protecting seedlings against mechanical damages and browsing. Both natural and artificial (reforestation) regeneration can benefit from this amelioration. In the end, different logging strategies influence the regeneration density, which is reduced in salvage logged areas, where most of the damages are to the advanced regeneration, a critical starting point of post-disturbance forest restoration.

Keywords: natural regeneration; salvage logging; deadwood; restoration; microsite amelioration.

Evaluating wind damage vulnerability of the Alpine forests: from field data to a new wind risk model parameterization

Tommaso Baggio ^{(a)(*)} - Emanuele Lingua ^(a)

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; tommaso.baggio@unipd.it

Windstorms have been responsible for severe damage to European forests in recent decades, and this trend is expected to increase in the near future. Various models have been developed to assess Critical Wind Speeds (CWS). However, the use of these mechanistic models is limited due to the difficulty in obtaining reliable input data. In this study, we propose a

methodology for calculating forest parameters through the analysis of LiDAR data. This algorithm can segment trees and calculate height, crown diameter, dominant height, density, distance from the edge, and gap size. These data are provided to the ForestGALES model to derive the CWS for a specific area. Additionally, species-specific data were improved through

real-scale experiments. The new methodology was applied to assess the CWS of the forests in the municipality of Rocca Pietore. The results are validated thanks to the damages caused by the Vaia storm. The study enhances the applicability of the ForestGALES model in assessing wind damage susceptibility in forest stands through the use of detailed input data. Stake-

holders can benefit from this new semi-automatic procedure to obtain more accurate maps of susceptibility to windthrow, even at a regional scale.

Keywords: windthrows; vulnerability model; critical wind speed; LiDAR.

Forest mechanisation

Eco-efficiency of forest mechanization in salvage logging operations in steep terrain

Alberto Cadei ^{(a)(*)} - Stefano Grigolato ^(a)

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; alberto.cadei@phd.unipd.it

Following the Vaia storm, the large amount of damaged trees that needed rapid removal has required a rapid intervention supported by a high level of forest mechanization. In the context of salvage logging of wind-thrown trees, the advantage of using specific-build forest machines such as harvesters and forwarders or cable yarders paired with processors, brings the advantage of working with high wood productivity while ensuring a higher level of safety for operators compared

to more traditional systems logging. The present work highlighted the advantage of using advanced forest mechanization systems in the utilization of windthrown trees and demonstrated the findings in terms of efficiency at the work sites concerning wood productivity and the efficiency in terms of fuel consumption, i.e. carbon emissions per unit of wood product (cubic meters of timber).

Keywords: logging operation; mechanization; safety; efficiency.

Quantification and spatial distribution of logging residues in salvaged logging areas

Alberto Udali ^{(a)(*)} - Stefano Grigolato ^(a)

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; alberto.udali@phd.unipd.it

Salvage logging post the 2018 Vaia storm has generated substantial residues vital for ecosystem health and regeneration. The operations predominantly employed two systems, Cut-to-Length (CTL) and Full-Tree (FT), with ground-based machinery (e.g., harvester and forwarder) and cable-based machines (e.g., cable yarder), respectively. To assess the distribution and quantity of residues, two areas impacted by the storm were surveyed. One, in the Northeast of the Province of Trento, by employing a Line In-

tercept Sampling (LIS) technique, assessing the quantity and spatial distribution within extraction lines and surrounding areas (10-15m), also considering the operations timing. Conversely, in the second area in the Asiago Plateau, a semi-automatic drone image classification and supervised volume estimation gauged distribution across the entire operational space. Findings indicate that CTL concentrates residues along extraction lines, while FT scatters them widely. Earlier operations yield fewer residues

(FT), with delayed operations leaving more coarse woody debris. CTL systems generally produce more residues, that can be potentially retrieved post-operations, while FT releases finer materials, increasing the coarse component with delayed operations. In essence, the study

reveals the differential impacts of CTL and FT systems on residue distribution and composition, emphasizing their ecological significance after storm-induced disturbances.

Keywords: salvage logging; logging residues; distribution; ecosystem regeneration.

Remote Sensing

Responding to large-scale forest damage in an alpine environment with remote sensing, machine learning, and web-GIS ⁽¹⁾

Marco Piragnolo ^{(a)(*)} - Francesco Pirotti ^(a)

⁽¹⁾ Abstract from the paper published at <https://doi.org/10.3390/rs13081541>

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; marco.piragnolo@unipd.it

Automated workflow for detection and quantification of forest damage from windthrow is a key topic that can be addressed using remote sensing. The Vaia storm in October 2018 provided the chance to validate approaches of different type. A web-GIS platform allows to select the damaged area by drawing polygons; several vegetation indices (VIs) can be automatically calculated using remote sensing data (Sentinel-2A) and tested to identify the more suitable ones for quantifying forest damage using cross-validation with ground-truth data. Results from tests over VAIA-damaged areas show that the mean value of NDVI and NDMI decreased in the damaged areas and have a strong negative correlation with severity. RGI has an opposite behaviour in contrast with NDVI and NDMI, as it highlights the red component of the land surface. In all cases, variance of the VI increases after the event between 0.03 and 0.15. Understorey not damaged from the windthrow, if consisting of 40% or more of the total cover

in the area, significantly undermines the sensibility of the VIs to detecting and predicting severity. Using aggregational statistics (average and standard deviation) of VIs over polygons as input to a machine learning algorithm, i.e., Random Forest, results in severity prediction with regression reaching a root mean square error (RMSE) of 9.96, on a severity scale of 0-100, using an ensemble of area averages and standard deviations of NDVI, NDMI, and RGI indices. The results show that combining more than one VI can significantly improve the estimation of severity, and web-GIS tools can support decisions with selected VIs. The reported results prove that Sentinel-2 imagery can be deployed and analysed via web-tools to estimate forest damage severity and that VIs can be used via machine learning for predicting severity of damage, with careful evaluation of the effect of understorey in each situation.

Keywords: vegetation indices; remote sensing; severity; forest disturbances.

LiDAR, Optical and RADAR imagery - how easily can we detect and quantify damage in mountain forests?

Francesco Pirotti

Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua; francesco.pirotti@unipd.it

Remote sensing is a powerful tool for forest monitoring. Three main technologies are key to this application: light detection and ranging (LiDAR), optical and RADAR imagery. All have complementary aspects that are effective to detect and quantify canopy damage. In mountain areas some added complexity is worth noting; the terrain morphology implies that many areas are differently illuminated and thus have different reflectance capabilities, as well as LiDAR accuracy being diminished by high slope values. Active LiDAR technology uses laser pulses to measure the distance between the sensor and the surfaces, with multiple returns that can capture detailed information on tree vertical structure. Combined with reflected solar radiation

and backscatter from optical and RADAR technologies respectively, damaged forest areas can be detected with high probability. Quantification of the damage by estimating changes in foliage density and colour can be caught by the optical characteristics of the canopy. RADAR imagery uses microwaves and is thus almost unaffected by the atmospheric changes (clouds, rain, fog...), providing an important added value to detect damage in these areas. The combination of these three remote sensing technologies provides a comprehensive approach to monitoring the health of mountain forests.

Keywords: LiDAR; RADAR; optical remote sensing; forest disturbance.

Forest entomology

Bark beetle outbreak after Vaia: combining ground surveys and remote observations ⁽¹⁾

Davide Nardi ^{(a)(*)} - Andrea Battisti ^(a)

⁽¹⁾ Abstract from the paper at <https://doi.org/10.1186/s13595-023-01216-5>.

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; davide.nardi@unipd.it

Spruce forests in northeastern Italy are currently threatened by outbreaks of bark beetles. At this stage, it is critical to implement continuous monitoring of new spots. Using satellite imagery to map spots is difficult in mountainous landscapes due to rugged topography. Field surveys provide detailed information on symptoms and stages of attacks, but they are time-consuming and require intensive fieldwork. For this reason, we used a participatory approach in collecting information from the field through the use of a smartphone application, involving voluntary

citizens, who are aware of forestry practices. Through a WebGIS platform, we collected field reports in real-time and we compared the data with satellite images monthly from June to September 2022. We tested how spot size and infestation stage affect remote detectability. Only 50% of the reports were detected by photointerpretation, decreasing dramatically for smaller and early-stage spots. However, field observations covered only about 10% of remotely detected spots, concentrating near roads. The participatory approach appears particularly useful for mapping small and ear-

ly-stage infestations, while satellite imageries are more suitable for covering large areas and detecting large and late-stage spots.

Keywords: bark beetle; citizen science; GIS; smartphone application.

Early detection of trees colonized by bark beetles: an experimental approach

Aurora Bozzini ^{(a)(*)} - Massimo Faccoli ^(a)

^(a) Department of Agronomy, Food, Natural Resources, Animals and Environment. University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; aurora.bozzini@phd.unipd.it

Climate change-induced extreme weather events cause intensified stress on European conifer forests, leading to increased vulnerability towards pest infestations. Since 2019, the south-eastern Alpine populations of the Eurasian spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) shifted from an endemic to an epidemic phase, elicited by the dramatic windthrow occurred at the end of 2018 (Vaia). The early detection of infested trees remains a challenge for a successful outbreak management. Our study aimed to detect early infestation symptoms using multispectral drone imagery, by identifying the optimal indices and the best timing for early detection. *Ips typographus* attacks were induced on individual spruce trees using aggregation

pheromones. Once every two weeks for three months, the bark beetle development under the bark was monitored and the multispectral drone images were collected. Two vegetation indices, NDRE (Normalized Difference Red Edge) and SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index, correction factor 0.44), enabled the identification of infested trees at least a month before visible symptoms appeared (i.e., crown colour changes). This early-detection tool could allow the automatic diagnosis of the bark beetle infestations and provide a useful guidance for the management of areas suffering pest outbreaks.

Keywords: remote sensing; bark beetles; *Ips typographus*; early detection; drone imagery.

Forest policy, governance and economics

Forest risk assessment in relation to key ecosystem services in areas affected by the Vaia storm: an overview and an in depth study for landscape and recreational ecosystem services

Carolina Bonardi Pellizzari ^{(a)(*)} - Daniel Vecchiato ^(a) - Tiziano Tempesta ^(a)

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; carolina.bonardipellizzari@phd.unipd.it

This study investigates the population's preferences in Northeast Italy's mountainous regions following the 2018 VAIA windstorm, which caused extensive damage to trail networks and altered landscapes. Focusing on cultural services in the Alps, the research addresses the critical need to restore storm-affected areas while promoting forest resilience and aligning with public preferences. A survey conducted in May

2022, involving 830 residents in the Veneto region, utilized a choice experiment (CE) and the psychophysical approach to assess preferences for various reforestation strategies and emotional responses to landscape quality. According to the results obtained with the psychophysical approach, regression models revealed positive correlations between scenic quality and panoramic views, cultivated meadows, and forests, while

negative correlations were observed with abandoned areas and trees felled by VAIA. Emotions significantly influenced landscape perception, with the emotional model outperforming the physical characteristics model. Findings suggest that, for effective forest restoration, felled trees must be removed, and panoramic views enhanced by substituting some forested areas with cultivated meadows. CE results indicate a preference for a mixed reforestation policy (50% planted, 50% natural with fallen trees removed), yielding an average annual benefit of

€ 226.5 per family. In terms of the relative importance of attributes in guiding respondents' preferences, the presence of a natural forest with removed fallen trees emerged as the most crucial attribute (34%), followed by reforestation with planted forests (24%) and removal of fallen trees in less damaged areas (20%). These insights provide valuable guidance for enhancing recreational services in mountain territories and informing future reforestation initiatives.

Keywords: Vaia storm; extreme events; discrete choice experiment; landscape, emotions.

Windstorm impacts on forest-related socio-ecological systems: an analysis from a socio-economic and governance perspective with a focus on the Vaia storm

Alessandra Santini ^{(a)(*)} - Federica Romagnoli ^(a) - Laura Secco ^(a) - Mauro Masiero ^(a) - Davide Pettenella ^(a)
Giacomo Pagot ^(a)

^(a) Department of Land, Environment, Agriculture and Forestry, University of Padua, Italy.

^(*) Corresponding Author; alessandra.santini@phd.unipd.it

Strengthening the resilience capacities of forest socio-ecological systems (SES) to wind disturbances requires understanding also institutional, economic and social aspects. Combining content analysis (policy documents), online survey (68 respondents) and interviews to experts and citizens (304 respondents), the study explores the governance structures of the four most affected Regions/Autonomous Provinces and the stakeholders' satisfaction and priorities concerning public administrations' actions. It tentatively estimates the economic value changes of selected ecosystem services (ES) in the Belluno province and Rocca Pietore municipality. The site-specific results show that after Vaia the value of provisioning ES (wood production) has significantly increased, cultural

ES (tourism/recreation) has decreased and regulating ES (protection) increased. An innovative framework was created to evaluate governance in terms of institutional capacity to deal with windstorms and their consequences. While the governance responses were quite uniform in the emergency phase, differences exist among regions in the post-event phase. All the studied public administrations are weak in their foresight capacities and preparedness. 57% of the local population would like the forests to be restored and then carefully managed so that they will be more resilient to future events; 36% think it is necessary to talk more about forests in schools and the media.

Keywords: Vaia windstorm; governance; stakeholders' perceptions; economic value; ecosystem services.



VAIA 5 ANNI DOPO

La gestione delle foreste e del territorio in ambiente montano: esperienze e conoscenze a cinque anni dalla tempesta Vaia

A cura di Andrea Battisti, Stefano Grigolato e Emanuele Lingua

La tempesta Vaia ha avuto un impatto rilevante sulle foreste e sul relativo settore nell'Italia del Nord-Est, condizionando considerevolmente la gestione dei boschi e la filiera del legno. A cinque anni dall'evento, il 30 ottobre 2023, presso l'Aula Magna del campus di Agripolis dell'Università degli Studi di Padova, si è tenuta una giornata di aggiornamento e di condivisione dei risultati delle ricerche condotte dai giovani ricercatori dei Dipartimenti TESAF e DAFNAE nell'ambito degli schianti da vento e relativi disturbi a cascata (es. attacchi di bostrico). In una prima parte della giornata sono stati presentati contributi delle diverse regioni (Friuli-Venezia Giulia, Lombardia, Veneto) e delle province autonome (Bolzano/Bozen e Trento) nei quali sono state presentate le attività relative alla gestione post evento e le problematiche emerse. Nella seconda parte sono stati presentati i progetti finanziati dall'Università degli Studi di Padova (VAIAFRONT del TESAF e l'iniziativa Young Researchers for Vaia), seguiti da interventi di dottorandi e assegnisti che hanno presentato i principali risultati inerenti alle ricerche condotte sulla tempesta Vaia. La problematica è stata affrontata sotto diversi punti di vista e con un approccio multidisciplinare, analizzando aspetti legati alla selvicoltura e all'ecologia forestale, alla meccanizzazione e alle utilizzazioni forestali, all'entomologia, all'idrologia, alla geomatica e al contesto socio-economico. Dato l'interesse dei temi trattati si è ritenuto utile riportare una sintesi dei contributi presentati dai giovani ricercatori, con l'auspicio che questo possa favorire lo scambio di conoscenze e fornire lo spunto per ulteriori collaborazioni e approfondimenti.

Idrologia e Idraulica

Caratterizzazione della risposta di piena dell'evento Vaia (27-30 ottobre, 2018) nelle Alpi orientali italiane

Eleonora Dallan ^{(a)(*)} - Mattia Zaramella ^(b) - Lorenzo Marchi ^(c) - Francesco Marra ^(d) - Marco Cavalli ^(c)
Stefano Crema ^(c) - Marco Borga ^(a)

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(b) Inside Climate Service, Italia.

^(c) Istituto di ricerca per la protezione idrogeologica, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR IRPI), Padova.

^(d) Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova.

^(*) Autore corrispondente; eleonora.dallan@unipd.it

Il 27-30 ottobre 2018, le Alpi Orientali italiane sono state investite dall'evento Vaia con precipitazioni estreme che hanno generato esondazioni e dissesti idro-geologici. Utilizzando dati di pioggia da pluviometri e radar meteorologici, e dati idrometrici da misure di portata e da rilievi post-evento, abbiamo analizzato i meccanismi idrometeorologici e idrologici della risposta di piena sul bacino del Cordevole (tributario del Piave) particolarmente colpito dall'evento. Le precipitazioni accumulate durante l'evento sono state eccezionalmente elevate, con tempi di ritorno fino a 300 anni. L'evento è stato caratterizzato da i) condizioni antecedenti asciutte causate da una siccità prolungata e ii) due fasi distinte di pioggia separate da uno iato di precipitazione. Utilizzando un modello idrologico

distribuito, la risposta di piena del Cordevole è stata simulata accuratamente, comprendendone i processi fondamentali. In particolare, è stata controllata da tre distinti fenomeni: lo stato inizialmente asciutto dei terreni, lo iato di pioggia fra le due fasi di precipitazione intensa, l'elevata capacità di immagazzinamento delle acque sotterranee nell'area maggiormente colpita dalle precipitazioni. Questo studio sottolinea l'importanza di combinare le osservazioni post-evento con la modellazione idrologica per migliorare la comprensione dei processi che generano piene durante eventi di precipitazioni estreme come Vaia, migliorando la nostra preparazione ad affrontarli.

Parole chiave: evento estremo; modellizzazione idrologica; piene; precipitazioni.

Analisi morfologica e sedimentologica dell'evento Vaia nei bacini del Rio Cordon e del Torrente Tegnas

Giacomo Pellegrini

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova; giacomo.pellegrini@unipd.it

I bacini montani sono regolati da un equilibrio dinamico, facilmente alterabile da disturbi naturali ed antropici che influenzano l'apporto di sedimenti e la capacità di trasporto dei corsi d'acqua. Questo studio esplora gli effetti della tempesta Vaia su due bacini dolomitici, il Torrente Tegnas ed il Rio Cordon (Italia, BL). Per l'analisi sono stati impiegati dati derivanti da telerilevamento (LiDAR) e dati raccolti in campo. Lungo il Torrente Tegnas, lo studio ha evidenziato un'erosione predominante lungo il retico-

lo secondario, associata a deposizione lungo il fondovalle. Si ritiene che le nuove instabilità di versante siano dovute a fattori scatenanti relativi alla tipologia geologica e al diverso uso del suolo. Nel Rio Cordon, Vaia ha causato erosione laterale lungo il reticolo idrografico, con incisione e rimozione dello strato corazzato, generando una risposta complessiva di tipo alluvionale. Qui, il carico di sedimenti trasportato al fondo è risultato pari al 79% del carico osservato nel periodo 1986-2018. Nondimeno, il monito-

raggio degli eventi secondari alla tempesta Vaia (2020-2022) ha rivelato un aumento dell'efficienza di trasporto solido in sospensione. Questo studio sottolinea come disturbi straordinari alterino immediatamente l'equilibrio dinamico

dei bacini montani, facilitando successivi processi secondari veicolati da eventi minori che meritano, quindi, di essere considerati.

Parole chiave: bacini montani; equilibrio dinamico; trasporto solido; effetti secondari.

Selvicoltura ed ecologia forestale

Influenza della copertura forestale e delle attività gestionali sulle dinamiche di rigenerazione dopo disturbi da vento. Implicazioni sulle strategie di ripristino

Davide Marangon ^{(a)(*)} - Emanuele Lingua ^(a)

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(*) Autore corrispondente; davide.marangon.1@unipd.it

Gli schianti da vento rappresentano la principale causa di danno ai popolamenti forestali in Europa. Per mitigarne l'impatto è fondamentale comprendere come gestire in modo ottimale il legno morto a terra: rimozione completa della necromassa (*salvage logging*), rimozione parziale e/o manipolazione della necromassa, la libera evoluzione (*passive management*). Sia gli schianti che gli interventi di esbosco del materiale alterano la fornitura di servizi ecosistemici, risulta quindi fondamentale ripristinare nel minor tempo possibile la copertura forestale. La rinnovazione naturale gioca un ruolo chiave in tal senso, poiché non comporta costi e può coprire vaste aree, anche se i tempi sono difficilmente prevedibili. La distanza da margini o piante porta-seme è un parametro fondamentale per

ottenere una buona rinnovazione naturale. La necromassa ed altre *disturbance legacies* possono aiutare creando micrositio favorevoli per l'inse-diamento e la sopravvivenza della rinnovazione, mitigando gli stress ambientali sul microsito, nonché fornendo protezione da danni meccanici e brucamento. Questa funzione di facilitazione può essere sfruttata sia dalla rinnovazione naturale che artificiale, attraverso rimboschimenti. Infine, diverse strategie di esbosco influenzano la densità di rinnovazione, riducendola in aree sottoposte a *salvage logging*, dove i danni sono prevalentemente a carico della rinnovazione avanzata, punto di partenza fondamentale nella ricostituzione post-disturbo.

Parole chiave: rinnovazione naturale; *salvage logging*; necromassa; ripristino; miglioramento del microsito.

Valutare la vulnerabilità delle foreste alpine agli schianti da vento: dai dati di campo a una nuova parametrizzazione della modellizzazione del rischio da vento

Tommaso Baggio ^{(a)(*)} - Emanuele Lingua ^(a)

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(*) Autore corrispondente; tommaso.baggio@unipd.it

Le tempeste di vento sono responsabili di gravi danni alle foreste europee e si prevede che questa tendenza aumenterà nel prossimo futuro. A tal proposito diversi modelli sono stati sviluppati per valutare le velocità critiche

del vento (CWS). Tuttavia, l'utilizzo di tali modelli meccanicistici è limitata a causa della difficoltà nel ricavare i dati di input. In questo studio proponiamo una metodologia per estrarre i parametri forestali, attraverso l'ana-

lisi di dati LiDAR. Si tratta di un algoritmo in grado di segmentare gli alberi e calcolare altezza, diametro della chioma, altezza dominante, densità, distanza dal margine e dimensione dell'apertura. Questi dati sono forniti al modello ForestGALES per derivare le CWS di una determinata area. Inoltre, i dati specie specifici sono stati migliorati tramite esperimenti su scala reale. La nuova metodologia è stata applicata per valutare le CWS delle foreste del comune di Rocca Pietore (BL), va-

lidando i risultati con i danni causati da Vaia. Lo studio migliora le performance del modello ForestGALES per valutare la suscettibilità dei danni da vento su popolamenti forestali grazie all'uso di dettagliati dati di input. Gli *stakeholders* possono beneficiare di questa nuova metodologia semi-automatica per ottenere mappe più accurate della suscettibilità allo schianto anche a scala regionale.

Parole chiave: schianti da vento; modellazione; *critical wind speed*; LiDAR.

Meccanizzazione forestale

Eco-efficienza della meccanizzazione forestale nelle operazioni di recupero di legname su terreni ripidi

Alberto Cadei ^{(a)(*)} - Stefano Grigolato ^(a)

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(*)Autore corrispondente; alberto.cadei@phd.unipd.it

A seguito della tempesta Vaia, gli elevati quantitativi di legname danneggiato da rimuovere in tempi rapidi ha comportato la necessità di intervenire con un livello di meccanizzazione avanzato. Nel contesto di lavoro di alberi danneggiati e schiantati, il vantaggio dell'impiego di macchine specializzate come *harvester* e *forwarder* per i terreni adatti all'impiego di macchine terrestri e l'impiego di gru a cavo abbinate con processore per i terreni più impervi comporta il vantaggio di lavorare con produttività elevate e allo stesso

tempo garantire un maggiore livello di sicurezza per gli operatori rispetto ai sistemi più tradizionali. Il lavoro presentato ha evidenziato il vantaggio dell'impiego dei sistemi di meccanizzazione avanzata nell'utilizzazione dei soprassuoli schiantati e evidenziato il riscontro in termini di efficienza dei cantieri relativi alla produttività e in termini di consumo di combustibili fossili e quindi di emissioni per unità di prodotto (m³ di legname).

Parole chiave: utilizzazioni forestali; meccanizzazione; sicurezza; efficienza.

Quantificazione e distribuzione spaziale dei residui di utilizzazioni in aree danneggiate da vento

Alberto Udali ^{(a)(*)} - Stefano Grigolato ^(a)

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(*)Autore corrispondente; alberto.udali@phd.unipd.it

Dopo la tempesta Vaia del 2018, la rimozione di legname danneggiato ha generato grossi volumi di residui forestali, preziosi per la salute dell'ecosistema. Le operazioni di salvage logging hanno impiegato principalmente due si-

stemi, Cut-to-Length (CTL) e Full-Tree (FT), con macchinari di terra (e.g., harvester and forwarder) e aerei (e.g., gru a cavo). Due aree colpite dalla tempesta sono state esaminate per valutare distribuzione e quantità di residui. Nel

primo sito in Trentino, utilizzando una tecnica di campionamento lineare (LIS), si è valutata la distribuzione spaziale nelle linee di estrazione e nelle aree circostanti (10-15m), considerando il tempismo delle operazioni. Nel secondo sito sull'Altopiano di Asiago, una classificazione semi-automatica delle immagini drone e la stima del volume hanno valutato la distribuzione nell'intera area delle operazioni. Il sistema CTL concentra i residui lungo le linee di estrazione, mentre FT li distribuisce in maniera più ampia. Le operazioni effettuate appena dopo

Vaia hanno lasciato meno residui (FT), mentre quelle negli anni a seguire hanno generato più detriti grossolani. CTL produce più residui recuperabili, FT rilascia materiali più fini, con componente grossolana crescente negli anni a seguire. In sintesi, lo studio evidenzia gli impatti differenziati di CTL e FT sulla distribuzione e composizione dei residui, sottolineando la loro rilevanza ecologica dopo le perturbazioni causate dalla tempesta.

Parole chiave: salvage logging; residui forestali; distribuzione spaziale; rigenerazione ecosistemica.

Telerilevamento

Analisi di danni forestali su larga scala in un ambiente alpino con telerilevamento, machine learning e web-GIS ⁽¹⁾

Marco Piragnolo ^{(a)(*)} - Francesco Pirotti ^(a)

⁽¹⁾ Abstract dell'articolo pubblicato <https://doi.org/10.3390/rs13081541>

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(*) Autore corrispondente; marco.piragnolo@unipd.it

Il flusso di lavoro automatizzato per il rilevamento e la quantificazione dei danni alle foreste causati dal *windthrow* è un argomento chiave che può essere affrontato utilizzando il telerilevamento. La tempesta Vaia dell'ottobre 2018 ha fornito l'occasione per validare approcci di diverso tipo. Una piattaforma web-GIS consente di selezionare l'area danneggiata disegnando poligoni; diversi indici di vegetazione (*vegetation indices* - VI) possono essere calcolati automaticamente utilizzando dati di telerilevamento (Sentinel-2A) e testati per identificare quelli più adatti a quantificare i danni alle foreste utilizzando una convalida incrociata con dati di verità a terra. I risultati dei test sulle aree danneggiate da VAIA mostrano che il valore medio di NDVI e NDMI è diminuito nelle aree danneggiate e ha una forte correlazione negativa con la gravità. L'RGI ha un comportamento opposto rispetto a NDVI e NDMI, in quanto

evidenzia la componente rossa della superficie del terreno. In tutti i casi, la varianza del VI aumenta dopo l'evento tra 0,03 e 0,15. Il sottobosco non danneggiato dal lancio del vento, se costituito dal 40% o più della copertura totale dell'area, compromette significativamente la sensibilità dei VI nel rilevare e prevedere la gravità. Utilizzando le statistiche aggregate (media e deviazione standard) dei VI sui poligoni come input per un algoritmo di apprendimento automatico, ovvero *Random Forest*, si ottiene una previsione della severità del danno con regressione che raggiunge un errore quadratico medio (RMSE) di 9,96, su una scala di gravità da 0 a 100, utilizzando un insieme di medie e deviazioni standard degli indici NDVI, NDMI e RGI. I risultati mostrano che la combinazione di più VI può migliorare significativamente la stima della gravità e che gli strumenti web-GIS possono supportare le decisioni con VI selezionati. I

risultati riportati dimostrano che le immagini Sentinel-2 possono essere utilizzate e analizzate tramite strumenti web per stimare la gravità dei danni alle foreste e che le VI possono essere utilizzate tramite machine learning per

prevedere la severità dei danni, con un'attenta valutazione dell'effetto del sottobosco in ogni situazione.

Parole chiave: indici vegetazionali; telerilevamento; disturbi forestali.

Immagini LiDAR, ottiche e RADAR: come possiamo rilevare e quantificare i danni nelle foreste montane?

Francesco Pirotti

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova; francesco.pirotti@unipd.it

Il telerilevamento è uno strumento potente per il monitoraggio delle foreste. Tre tecnologie principali sono fondamentali per questa applicazione: il Light Detection and Ranging (LiDAR), le immagini ottiche e RADAR. Tutte hanno aspetti complementari che sono efficaci per rilevare e quantificare i danni alle chiome. Nelle aree montane è opportuno sottolineare un'ulteriore complessità: la morfologia del terreno implica che molte aree sono illuminate in modo diverso e quindi hanno capacità di riflessione differenti, così come l'accuratezza del LiDAR diminuisce a causa degli alti valori di pendenza. La tecnologia LiDAR attiva utilizza impulsi laser per misurare la distanza tra il sensore e le superfici, con ritorni multipli che possono catturare informazioni dettagliate sulla struttura verticale degli alberi. In com-

binazione con la radiazione solare riflessa e il *backscatter* delle tecnologie ottiche e RADAR, rispettivamente, è possibile individuare con elevata probabilità le aree forestali danneggiate. La quantificazione del danno attraverso la stima dei cambiamenti nella densità e nel colore del fogliame può essere catturata dalle caratteristiche ottiche della chioma. Le immagini RADAR utilizzano le microonde e non sono quindi influenzate dai cambiamenti atmosferici (nuvole, pioggia, nebbia...), fornendo un importante valore aggiunto per individuare i danni nelle aree. La combinazione di queste tre tecnologie di telerilevamento fornisce un approccio completo al monitoraggio della salute delle foreste di montagna.

Parole chiave: LiDAR; RADAR; telerilevamento; disturbi forestali.

Entomologia forestale

Attacchi di scolitidi dopo Vaia: analisi con rilievi a terra e osservazioni da remoto ⁽¹⁾

Davide Nardi ^{(a)(*)} - Andrea Battisti ^(a)

⁽¹⁾ Abstract dell'articolo pubblicato <https://doi.org/10.1186/s13595-023-01216-5>.

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(*) Autore corrispondente; ; davide.nardi@unipd.it

Le foreste di abete rosso del Nord-Est Italia sono attualmente minacciate da focolai di bostrico tipografo. In questa fase, è fondamentale attuare un continuo monitoraggio dei nuovi nuclei. L'utilizzo di immagini satellitari per mappare i nuclei risulta difficile nei paesaggi

montani a causa della topografia accidentata. I rilievi sul terreno forniscono informazioni dettagliate sui sintomi e sulla fase degli attacchi, ma richiedono molto tempo e un intenso lavoro sul campo. Per questo motivo, abbiamo utilizzato un approccio partecipativo nella rac-

colta delle informazioni dal campo attraverso l'uso di un'applicazione per smartphone, coinvolgendo cittadini volontari e consapevoli delle pratiche forestali. Una piattaforma WebGIS ha permesso di ricevere le segnalazioni in tempo reale e di confrontare mensilmente i dati con le immagini satellitari da giugno a settembre 2022. Abbiamo testato come la dimensione del nucleo e lo stadio dell'infestazione influiscono sulla rilevabilità da remoto. Soltanto il 50% delle segnalazioni è stato rilevato da fotointerpretazione, diminuendo drasticamente

per gli spot più piccoli e in fase iniziale. Tuttavia, le osservazioni sul campo hanno coperto solo circa il 10% dei punti rilevati da remoto, concentrandosi vicino alle strade. L'approccio partecipativo appare particolarmente utile per mappare le infestazioni in fase iniziale e di piccole dimensioni, mentre le immagini satellitari sono più adatte a coprire aree estese e a rilevare spot grandi e in fase avanzata. Questo contributo è un estratto da Nardi *et al.*, 2023.

Parole chiave: scolitidi; citizen science; GIS; applicazioni smartphone.

Individuazione precoce di alberi colonizzati da scolitidi: un approccio sperimentale

Aurora Bozzini ^{(a)(*)} - Massimo Faccoli ^(a)

^(a) Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova.

^(*) Autore corrispondente; aurora.bozzini@phd.unipd.it

Gli eventi meteorologici estremi indotti dai cambiamenti climatici intensificano lo stress sulle foreste di conifere europee, aumentando la vulnerabilità alle infestazioni di parassiti. Dal 2019, le popolazioni alpine sud-orientali del bostrico tipografo (*Ips typographus* L.) sono passate da una fase endemica a una epidemica, innescate dalla violenta tempesta Vaia avvenuta alla fine del 2018. L'individuazione precoce degli alberi infestati rimane una sfida essenziale per la gestione efficace dell'epidemia. Il nostro studio mira a rilevare i sintomi precoci dell'infestazione utilizzando immagini multispettrali acquisite da drone, identificando gli indici più performanti e le tempistiche migliori per una diagnosi precoce. È stato indotto un attacco di *Ips typographus* su singoli abeti rossi

utilizzando feromoni di aggregazione e, ogni due settimane per tre mesi, è stato monitorato lo sviluppo degli scolitidi sotto corteccia e sono state raccolte le immagini multispettrali. Due indici di vegetazione, NDRE (*Normalized Difference Red Edge*) e SAVI (*Soil Corrected Vegetation Index*, fattore di correzione 0,44), hanno consentito l'identificazione degli alberi infestati almeno un mese prima della comparsa di sintomi visibili (cambiamento di colore della chioma). Questo strumento di rilevamento potrebbe consentire la diagnosi automatica dello stato di infestazione da scolitidi, costituendo un'utile guida per la gestione efficace delle aree infestate.

Parole chiave: remote sensing; scolitidi; *Ips typographus*; individuazione precoce; immagini da drone.

Politica, *governance* ed economia forestale

Valutazione del rischio forestale in relazione ai principali servizi ecosistemici nelle aree colpite dalla tempesta Vaia: una panoramica e un approfondimento per i servizi ecosistemici paesaggistici e ricreativi

Carolina Bonardi Pellizzari ^{(a)(*)} - Daniel Vecchiato ^(a) - Tiziano Tempesta ^(a)

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova

^(*) Autore corrispondente; carolina.bonardipellizzari@phd.unipd.it

Questo studio indaga le preferenze della popolazione nella regione del Nord-Est dell'Italia a seguito della tempesta di Vaia del 2018, che ha causato danni estesi alle reti di sentieri e modificato i paesaggi. Concentrandosi sui servizi ecosistemici di carattere culturale nelle Alpi, la ricerca affronta la necessità di ripristinare le aree colpite dalla tempesta promuovendo al contempo la resilienza forestale e rispettando le preferenze dei cittadini. L'indagine è stata condotta facendo uso di un questionario somministrato nel maggio 2022 a 830 residenti nella regione del Veneto. Da un punto di vista metodologico sono stati utilizzati un esperimento di scelta e l'approccio psicofisico per valutare le preferenze dei cittadini per diverse strategie di riforestazione e le risposte emotive alla qualità del paesaggio. I modelli di regressione applicati con l'approccio psicofisico hanno evidenziato come la qualità del paesaggio sia positivamente correlata a viste panoramiche, prati coltivati e la presenza di foreste, mentre è negativamente

influenzata dalla presenza di aree abbandonate e dagli alberi abbattuti da VAIA. I risultati suggeriscono che, per un efficace ripristino forestale, gli alberi abbattuti devono essere rimossi e le viste panoramiche potenziate sostituendo alcune aree boscate con prati coltivati. I risultati dell'esperimento di scelta indicano una preferenza per una politica di riforestazione mista (50% piantata, 50% naturale con alberi abbattuti rimossi), con un beneficio medio annuo di € 226,5 per famiglia. La presenza di una foresta naturale con alberi abbattuti rimossi è emersa come attributo più cruciale (34%) nell'influenzare le preferenze dei rispondenti, seguita dalla riforestazione con foreste piantate (24%) e dalla rimozione di alberi abbattuti in aree meno danneggiate (20%). Questi risultati forniscono preziose indicazioni per migliorare i servizi ricreativi nei territori montani e per informare future iniziative di riforestazione.

Parole chiave: tempesta Vaia; eventi estremi; esperimento di scelta; paesaggio; emozioni.

Gli impatti delle tempeste sui sistemi socio-ecologici legati alle foreste: un'analisi dal punto di vista socio-economico e di governance con un focus sulla tempesta Vaia

Alessandra Santini ^{(a)(*)} - Federica Romagnoli ^(a) - Laura Secco ^(a) - Mauro Masiero ^(a) - Davide Pettenella ^(a)

Giacomo Pagot ^(a)

^(a) Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali, Università degli Studi di Padova.

^(*) Autore corrispondente; alessandra.santini@phd.unipd.it

Il rafforzamento delle capacità di resilienza dei sistemi socio-ecologici forestali alle tempeste di vento richiede di indagare anche aspetti istituzionali, economici e sociali. Combinando analisi di testi (documenti), un sondaggio online (68 risposte) e interviste a esperti e cittadini (304 intervistati), lo studio esplora le strutture

di governance delle Regioni/Province Autonome più colpite e la soddisfazione e priorità degli stakeholder rispetto alle azioni delle amministrazioni pubbliche. Inoltre, stima in via preliminare le variazioni del valore economico di alcuni servizi ecosistemici (SE) nella provincia di Belluno e nel comune di Rocca Pie-

tore. I risultati mostrano che dopo Vaia, nel sito specifico, il valore dei SE di approvvigionamento (produzione di legname) è aumentato significativamente, quello dei SE culturali (turismo/ricreazione) è diminuito e quello dei SE di regolazione (protezione) è aumentato. Il framework innovativo creato per valutare la governance in termini di capacità istituzionale di affrontare eventi estremi come Vaia mostra che mentre nella fase di emergenza le risposte sono state abbastanza uniformi ovunque, nella

fase post-evento sussistono differenze. Tutte le amministrazioni pubbliche studiate sono deboli in termini di capacità di previsione e livello di preparazione. Il 57% della popolazione vorrebbe che le foreste fossero ripristinate e poi gestite con attenzione, per essere più resilienti agli eventi futuri; il 36% ritiene che sia necessario parlare di più di foreste nelle scuole e nei media.

Parole chiave: tempesta Vaia; governance; percezione dei portatori di interesse; valore economico; servizi ecosistemici.