

## Utilizzo di dati LiDAR per la mappatura dei combustibili forestali in tre aree studio del Friuli-Venezia Giulia

Flavio Taccaliti<sup>1</sup>, Paola Bolzon<sup>1</sup>, Emanuele Lingua<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali,  
Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD).  
[flavio.taccaliti@unipd.it](mailto:flavio.taccaliti@unipd.it); [paola.bolzon@unipd.it](mailto:paola.bolzon@unipd.it); [emanuele.lingua@unipd.it](mailto:emanuele.lingua@unipd.it)

**Abstract.** La mappatura dei combustibili forestali è pratica invalsa in alcuni territori, ma altrove la sua implementazione è ostacolata dai costi di produzione. Nel presente studio si sono associati dati LiDAR con dati di campo raccolti in tre aree studio della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, cercando regressioni significative per inferire i dati di input necessari al funzionamento del software di simulazione FLAMMAP. I risultati preliminari sono promettenti e la cartografia derivante può aiutare i gestori territoriali nella definizione delle aree più a rischio di incendio boschivo.

**Parole chiave:** LiDAR, combustibili forestali, incendi boschivi.

### 1 Introduzione

Gli incendi boschivi costituiscono un disturbo naturale proprio di molti ecosistemi terrestri, nei quali contribuiscono a mantenere un equilibrio tra i vari costituenti [1]. Ciò non ostante, nel caso in cui il fuoco minacci beni o attività umane, è necessario mitigare il rischio connesso per minimizzare gli eventuali danni.

Proprio per questa esigenza di pubblica sicurezza, negli anni si sono sviluppati vari strumenti per la modellazione del comportamento del fuoco e per la conseguente analisi del rischio specifico [2–3]. L'utilizzo di questi strumenti permette di circoscrivere le aree a più alta pericolosità in un territorio, rendendo più efficiente la distribuzione degli interventi di mitigazione del rischio. Per contro, il tipo di dati di ingresso necessari al loro funzionamento ne rappresenta una criticità, limitando l'applicazione di questi strumenti a livello pratico: oltre a dati topografici e meteorologici, di più facile reperimento, è necessario fornire anche informazioni riguardanti il combustibile forestale, vale a dire la quantità di biomassa (alberi, cespugli, erba, lettiera) e la loro disponibilità (disposizione orizzontale e verticale, stato di idratazione, ecc.).

Per ovviare a questa difficoltà, in molti dei territori soggetti a incendi boschivi si sono prodotte delle carte dei combustibili forestali, come già avvenuto per gli Stati Uniti [4] e il Canada [5]. Alcuni problemi collegati a questo tipo di cartografia sono in genere la bassa risoluzione, l'aggiornamento poliennale del dato di base e la scarsità di informazioni sulla struttura verticale della copertura vegetale: spesso infatti il dato di base per la mappatura è costituito da immagini satellitari, alle quali vengono associati

dati di campo raccolti durante gli inventari forestali nazionali—da cui la cadenza decennale, o più in generale poliennale—nel corso dei quali raramente vengono raccolte alcune informazioni fondamentali per la simulazione del comportamento del fuoco, come ad esempio l'altezza media d'inserzione delle chiome arboree (l'altezza dal suolo del primo ramo dell'albero) o il grado di continuità verticale del combustibile naturale.

Con la disponibilità di dati LiDAR [6] da aeromobile (ALS, *aerial laser scanner*), negli ultimi anni questi limiti si sono ridotti, in particolari quelli relativi alla struttura verticale dei popolamenti forestali, sebbene l'applicazione di questa nuova tecnologia per la mappatura dei combustibili forestali sia stata limitata ad aree di studio di estensione sub-nazionale dato l'ancora alto costo di acquisizione [7–9].

All'interno del Progetto CROSSIT SAFER [10], volto a uniformare la gestione delle emergenze di Protezione Civile tra Italia e Slovenia, si sono utilizzati dati ALS per migliorare la caratterizzazione e la mappatura del rischio di incendio boschivo e di interfaccia nelle aree di progetto [11], basandosi su esperienze già maturate in altri progetti europei [12–14]. Gli obiettivi del presente studio sono stati (I) di testare la possibilità di utilizzare dati ALS per spazializzare a scala comunale dei parametri dei combustibili forestali relativi alla copertura arborea e (II) di utilizzare gli strati informativi risultanti per simulare il comportamento del fuoco in tre aree studio.

## 2 Materiali e metodi

### 2.1 Area di studio

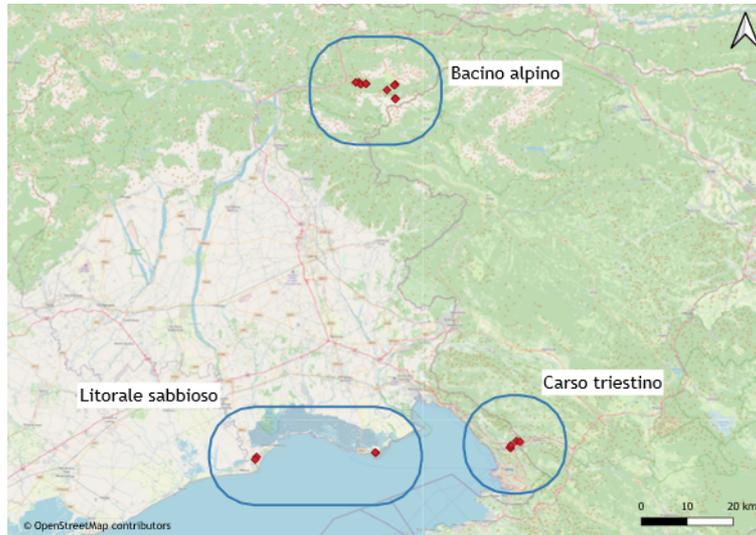
Le tre aree studio individuate sono rappresentative di tre zone del Friuli-Venezia Giulia (FVG) particolarmente soggette a incendi boschivi: un bacino idrografico delle Alpi Giulie, due boschi del litorale sabbioso e una formazione boschiva del Carso triestino (Fig.1).

Il bacino idrografico alpino è situato lungo il torrente Raccolana, nel comune di Chiusaforte (EDR Udine). L'altitudine varia dai 400 ai 2600 m.s.l.m., l'orografia è molto accidentata e la valle si estende in direzione est-ovest, con il versante destro orografico fortemente esposto alla radiazione solare e il sinistro in ombra per buona parte dell'anno. Per questi motivi la vegetazione è molto diversificata, con le formazioni più soggette a incendi boschivi rappresentate da pinete di pino nero (*Pinus nigra* J. F. Arnold) e mughete (*Pinus mugo* Turra) (Fig. 2).

I boschi litoranei, situati nei comuni di Lignano Sabbiadoro (EDR Udine) e Grado (EDR Gorizia), hanno comune origine come impianti artificiali su paleodune per bonifica terriera. La loro composizione è caratterizzata principalmente da pino marittimo (*Pinus pinaster* Aiton) e pino nero con rinnovazione affermata di leccio (*Quercus ilex* L.), orniello (*Fraxinus ornus* L.) e alloro (*Laurus nobilis* L.), ovvero specie che rappresentano la vegetazione naturale di queste zone costiere e in alcuni casi sono presenti come formazioni a sé stanti (Fig. 3).

La formazione boschiva carsica si estende tra i comuni di Trieste e di Monrupino (EDR Trieste). Il terreno è accidentato a causa del carsismo (doline, inghiottitoi) e la vegetazione è composta sia da macchia autoctona di orniello, scotano (*Cotinus*

*cogygria* Scop.), roverella (*Quercus pubescens* Willd.) e carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.), sia da boschi artificiali di pino nero (Fig. 4).



**Fig. 1.** Posizione delle aree studio e dei punti di campionamento a terra (in rosso).



**Fig. 2.** Esempio di pineta di pino nero (sinistra) e mugheta (destra) campionate in Val Raccolana.



**Fig. 3.** Esempio di pineta di pino marittimo (sinistra) e di formazione retrodunale a leccio (destra) campionate lungo la costa sabbiosa della Regione.



**Fig. 4.** Esempio di ostriro-quercceto (sinistra) e pineta di pino nero (destra) campionati nel Carso.

## 2.2 Dati utilizzati

Nello studio si sono utilizzati dati LiDAR da aeromobile e realtà a terra ottenute mediante campionamento per aree di saggio.

I dati ALS impiegati sono quelli già a disposizione della Protezione Civile Regionale del FVG, capofila del Progetto. I voli sono stati effettuati tra 2006 e 2009, con una densità nominale media di circa 3.4 punti/m<sup>2</sup> (calcolo sui dati utilizzati). I dati sono stati riclassificati con un algoritmo proprietario in R [15] in terreno, vegetazione e altro (classi 1-5 LAS 1.4 [16]).

I dati di campo sono stati raccolti in 16 aree di saggio circolari ( $r = 6$  m), divise tra bacino alpino ( $n = 8$ ), costa ( $n = 4$ ) e Carso ( $n = 4$ ) nel corso del 2020. In ogni punto di campionamento si sono raccolti i parametri forestali standard (diametro e altezza di tutti gli alberi, ecc.), misurando anche l'altezza di inserzione della chioma, e i parametri di combustibile necessari per assegnare ad ogni area di saggio un modello "standard" di combustibile superficiale [17], modificando leggermente la procedura di Brown comunemente usata [18]. Si sono inoltre scattate tre foto alla copertura arborea dal basso verso l'alto, ottenendo una media della copertura arborea con il software di elaborazioni di immagini ImageJ [19]. Infine, la posizione del centroide dell'area di

saggio è stata rilevata con un'antenna DGPS Trimble Pro XH, ottenendo una precisione sub-metrica dopo correzione differenziale.

### 2.3 Analisi dei dati LiDAR

I dati ALS sono stati gestiti e analizzati con FUSION, un software gratuito per l'analisi di dati LiDAR progettato per l'uso in ambito forestale [20], utilizzando la sua estensione per QGIS [21].

Dai dati ALS si è creato un modello digitale del terreno (DTM) di maglia 1 m utilizzando solo i punti di classe "terreno", si sono estratte le nuvole di punti corrispondenti alle aree di saggio, e si sono normalizzate le elevazioni dei punti di classe "vegetazione" sul DTM. Si sono poi calcolate per ogni area di saggio le comuni metriche di elevazione (indici di posizione e dispersione, quantili) previste dalla funzione *cloudmetrics* del software, impostando come soglia di altezza per la distinzione tra cespugli e alberi 2 metri.

### 2.4 Modellazione statistica

Alcune metriche dei dati ALS sono state associate con i dati delle 16 aree di saggio mediante regressioni lineari multiple, considerando le prime come predittori e i parametri di combustibile come variabili dipendenti. Sono state escluse dalla selezione dei predittori le metriche di intensità e di conteggio, in quanto non direttamente utilizzabili per il presente lavoro.

Per ogni equazione di regressione si sono scelti un massimo di due predittori, operando una selezione della migliore retta di regressione mediante una *k-fold cross validation* (pacchetto di R "leaps", [22]) e selezionando la combinazione di regressori che minimizza l'errore di predizione (10 iterazioni, *leave-out* = 25%). Si sono contestualmente eliminate le regressioni che presentano evidente multicollinearità (fattore di inflazione della varianza > 5).

Alcune delle regressioni ottenute sono state poi utilizzate nel *raster calculator* di QGIS per spazializzare i parametri di combustibile forestale sull'intera estensione delle tre aree pilota, in particolare: altezza media delle chiome arboree, altezza media di inserzione delle chiome e copertura al suolo delle chiome.

### 2.5 Simulazione degli incendi boschivi

La spazializzazione delle caratteristiche delle chiome arboree è stata funzionale al completamento degli input necessari al software di simulazione del comportamento del fuoco FLAMMAP, un software gratuito semi-empirico sviluppato dal Servizio Forestale statunitense (USFS) [2].

Oltre ai tre parametri ottenuti dai modelli statistici, si sono forniti i valori relativi alla topografia, il modello di combustibile superficiale e la densità apparente delle chiome. I parametri topografici, vale a dire elevazione, pendenza ed esposizione del terreno, sono stati estratti da DTM ottenuti da dati LiDAR per le intere aree, similmente a quanto avvenuto per i punti di campionamento.

Per il modello di combustibile si è fatto riferimento alla carta dei Tipi Forestali della Regione [23] e alla *Corine Land Cover* 2018 [24], confrontando i poligoni dei due

dataset con l'effettiva estensione delle superfici combustibili (prateria/arbusteto/bosco) rilevate in loco e assegnando a ogni poligono il modello di combustibile standard più appropriato sulla base dei dati raccolti in campo.

Per la densità apparente della chioma, sulla base delle osservazioni in campo e dei dati presenti in letteratura [25–27] si è assegnato un valore di  $0.2 \text{ kg/m}^3$  per le peccete,  $0.16 \text{ kg/m}^3$  per le pinete e i lariceti e  $0.1 \text{ kg/m}^3$  per i boschi di latifoglie e le mughete.

A completamento degli strati informativi spazializzati, si sono forniti anche i valori di umidità relativa del combustibile e gli input meteorologici per la simulazione. Riguardo ai primi, si è simulato uno scenario D2L2 [17], corrispondente ad una copertura erbacea quasi completamente secca e ad una bassa umidità relativa del legno morto a terra, e si è assegnata un'umidità relativa della componente fogliare delle chiome arboree del 100%, come usuale in mancanza di dati più precisi al riguardo [28].

Per quanto riguarda i parametri meteorologici, si è impostato un vento di 7 mph proveniente da ovest, nel caso del bacino alpino, e da nord-est, nel caso del litorale e del Carso: la velocità è quella media nei tre siti, mentre la direzione è quella prevalente, sulla costa e nel Carso, o di un vento di valle, nel bacino alpino [29].

### 3 Risultati

Il processo di modellazione statistica ha portato all'ottenimento di molteplici equazioni di regressione, ma solo tre sono state utilizzate per spazializzare i parametri di combustibile forestale nelle aree studio: quelle funzionali alla definizione dell'altezza media del popolamento forestale, della copertura arborea al suolo e dell'inserzione delle chiome. In Tab. 1 sono riassunti i valori principali di queste regressioni. Per la definizione puntuale dei predittori si rimanda al manuale di FUSION [20].

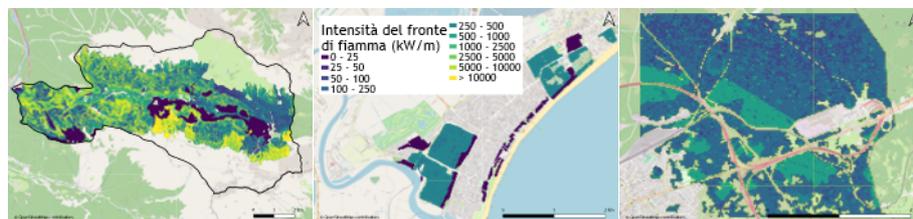
**Tabella 1.** Equazioni di regressione lineare multipla tra dati di campo (variabili dipendenti) e metriche ALS (variabili indipendenti) utilizzate per la spazializzazione sulle tre aree pilota di alcuni parametri dei combustibili forestali (altezza media arborea, altezza di inserzione delle chiome, copertura delle chiome).

| Var. Dipendente      | Variabili indipendenti  | R <sup>2</sup> adj | RMSE  |
|----------------------|---|--------------------|-------|
| Copertura arborea    | Deviazione standard altezze + Deviazione mediana assoluta dalla moda            | 0.48               | 15%   |
| Altezza media        | % primi ritorni sopra media + % rapporto tutti ritorni sopra moda/primi ritorni | 0.45               | 2.6 m |
| Inserzione di chioma | Altezza 70° percentile + L-asimmetria altezze                                   | 0.44               | 1.6 m |

Dalla simulazione con FLAMMAP si sono ottenute delle carte di comportamento del fuoco relative agli aspetti più interessanti per le finalità del Progetto CROSSIT SAFER: il tipo di incendio, ossia se l'incendio è stato superficiale, di chioma passivo o di chioma attivo (Fig. 5), l'intensità del fronte di fiamma (Fig. 6), la velocità di propagazione del fronte di fiamma (Fig. 7) e la lunghezza delle fiamme (Fig. 8). Anche in questo caso si rimanda alla guida ufficiale per approfondimenti [30].



**Fig. 5.** Carte del tipo di incendio per le simulazioni nel bacino alpino (sinistra), bosco costiero (centro) e formazione carsica (destra).



**Fig. 6.** Carte dell'intensità del fronte di fiamma per le simulazioni nel bacino alpino (sinistra), bosco costiero (centro) e formazione carsica (destra).



**Fig. 7.** Carte della velocità di propagazione per le simulazioni nel bacino alpino (sinistra), bosco costiero (centro) e formazione carsica (destra).



**Fig. 8.** Carte della lunghezza delle fiamme per le simulazioni nel bacino alpino (sinistra), bosco costiero (centro) e formazione carsica (destra).

## 4 Discussione

La metodologia utilizzata nel presente studio ha l'obiettivo di utilizzare dati LiDAR aerotrasportati per la caratterizzazione del combustibile forestale.

Come in altri lavori analoghi effettuati in Nord America ed Europa [7–9–31], anche nel nostro caso l'associazione tra dato ALS e di campo è stata eseguita tramite regressioni lineari, in quanto strumento di modellazione statistica al contempo semplice e potente.

La successiva spazializzazione di parametri della copertura forestale su ampie aree mediante inferenza consente di migliorare la mappatura dei combustibili forestali, sorpassando così le carenze intrinseche di altre tipologie di dati telerilevati. In particolare, pur essendo possibile stimare altezza delle chiome e grado di copertura al suolo mediante fotogrammetria [32], l'inserzione della chioma è un parametro che può essere rilevato solo da una tecnologia—come il LiDAR—capace di penetrare le chiome arboree.

Le mappe relative alla copertura di combustibile forestali ottenibili possono essere direttamente inserite nei software di simulazione degli incendi boschivi (come mostrato con FLAMMAP) consentendo di inserire strati informativi altrimenti trascurati, oppure di migliorare la rappresentazione dell'eterogeneità spaziale di alcuni parametri (altezza dei popolamenti, ecc.), i quali altrimenti verrebbero inseriti come un singolo valore per tutto il popolamento forestale o estese porzioni di esso.

Nel presente studio sono ravvisabili anche alcune limitazioni. In primo luogo, le regressioni ottenute hanno un potere predittivo limitato, avendo bassi coefficienti di determinazione e alti errori quadratici medi; ciò è dovuto sia alla variabilità del dato, in quanto si sono analizzate assieme formazioni forestali molto diverse tra loro, sia all'esiguo numero di verità a terra, dovuto al lungo tempo di campionamento richiesto ad ogni punto. In secondo luogo, alcuni limiti sono attribuibili anche al dato LiDAR disponibile: il rilievo in bosco, infatti, è di più di 10 anni posteriore al volo di acquisizione, e la densità di punti a terra, benché al tempo all'avanguardia in Italia, non consente sempre di avere una rappresentazione del bosco utile ai fini della modellizzazione, in particolare dove l'orografia è più accidentata (valle alpina, doline) o dove la formazione vegetale non è chiaramente forestale (macchia carsica, formazione costiera di latifoglie).

Quanto alla prima criticità, essa può essere risolta agevolmente con un'ulteriore raccolta di dati di campo, orientata questa volta al solo ottenimento di parametri delle chiome per velocizzare le operazioni. Inoltre, sebbene con scarso potere predittivo, le regressioni trovate consentono comunque di migliorare la stima di parametri che, al momento attuale, vengono in alternativa ottenuti da tabelle allometriche o tramite giudizio esperto. Quanto alla seconda criticità, nel giro di pochi mesi dovrebbe essere collaudata la nuova acquisizione di dati LiDAR 2017-2020 [33] (comunicazione personale, Servizio Sistemi Informativi della Regione), che andrà a risolvere entrambi i problemi collegati ai vecchi dati e, presumibilmente, dovrebbe migliorare anche le equazioni di regressione.

L'impiego di dati LiDAR per la mappatura del combustibile forestale rappresenta un importante passo in avanti nell'individuazione delle aree più predisposte agli incendi

boschivi e di interfaccia. La metodologia qui presentata si propone come uno strumento ulteriore a disposizione degli amministratori territoriali per la pianificazione territoriale e si propone, facendo tesoro delle limitazioni riscontrate, come un punto di partenza per ulteriori ricerche e miglioramenti.

## 5 Finanziamento

La ricerca è stata svolta all'interno del Progetto CROSSIT SAFER finanziato dal Programma di Cooperazione INTERREG V-A Italia-Slovenia 2014-2020.

### Riferimenti bibliografici

1. Pausas, J. G., Keeley, J. E.: A Burning Story: The Role of Fire in the History of Life. *BioScience* 59 (7), 593–601 (2009).
2. Finney, M. A.: An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: Andrews, P. L., Butler, B. W. (a cura di) *Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings*. 28-30 March 2006; Portland, OR. Proceedings RMRS-P-41, p. 213-220. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA (2006).
3. Parisien, M. A., Kafka, V. G., Hirsch, K. G., Todd, J. B., Lavoie, S. G., Maczek, P. D.: Mapping wildfire susceptibility with the Burn-P3 simulation model. *Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton* (2005).
4. Ryan, K. C., Opperman, T. S.: LANDFIRE – A national vegetation/fuels data base for use in fuels treatment, restoration, and suppression planning. *Forest Ecology and Management* 294, 208–216 (2013).
5. Natural Resources Canada, Canadian Wildland Fire Information System, Background Maps, <https://cwffis.cfs.nrcan.gc.ca/background/maps/fbpf>, ultimo accesso 13/5/2021.
6. Lidar, NSF NEON, Open Data to Understand our Ecosystems, <https://www.neonscience.org/data-collection/lidar>, ultimo accesso 14/5/2021.
7. Riaño, D., Meier, E., Allgöwer, B., Chuvieco, E., Ustin, S. L.: Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote sensing of Environment* 86 (2), 177–186 (2003).
8. Domingo, D., de la Riva, Lamelas, J., M. T., García-Martín, A., Ibarra, P., Echeverría, M., Hoffrén, R.: Fuel Type Classification Using Airborne Laser Scanning and Sentinel 2 Data in Mediterranean Forest Affected by Wildfires. *Remote Sensing* 12 (21), 3660 (2020).
9. Andersen, H.E., McGaughey, R. J., Reutebuch, S. E.: Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 94 (4), 441–449 (2005).
10. Interreg V-A Italia Slovenia, CROSSIT SAFER, <https://www.ita-slo.eu/it/crossit-safer>, ultimo accesso 29/4/2021.
11. Taccaliti, F., Rizzolo, R., Primiero, A., Fischetti, D., Fastelli, C., Vianello, C., Lingua, E.: La mappatura del rischio di incendio boschivo e di interfaccia. *Sherwood. Foreste ed alberi oggi* 249 (2020) 39–41.
12. Holistic IPA, <https://www.adriaholistic.eu>, ultimo accesso 14/5/2021.
13. PBD Virtual Lab, WUIVIEW, <https://www.wuiview.org>, ultimo accesso 20/5/2021.

14. Fire Paradox, European Commission project: combating fire with fire, <http://www.fireparadox.org>, ultimo accesso 20/5/2021.
15. R Core Team: R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2019).
16. Graham, L.: The LAS 1.4 specification. *Photogrammetric engineering and remote sensing* 78 (2), 93–102 (2012).
17. Scott, J. H., Burgan, R. E.: Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA (2005).
18. Brown, J. K., Oberheu, R. D., Johnston, C. M.: Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. Gen. Tech. Rep. INT-129. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station, Ogden, UT, USA (1982).
19. Schneider, C. A., Rasband, W. S., Eliceiri, K. W.: NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods* 9 (7), 671–675 (2012).
20. McGaughey, R.: FUSION/LDV: Software for LIDAR Data Analysis and Visualization. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Seattle, WA, USA (2021).
21. QGIS Development Team, QGIS Geographic Information System. QGIS Association (2021).
22. Lumley, T. based on Fortran code by Miller, A.: leaps: Regression Subset Selection (2020).
23. Del Favero, R., Poldini, L., Bortoli, P. L.: La vegetazione forestale e la selvicoltura nella regione Friuli-Venezia Giulia. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale delle Foreste (1998).
24. European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2018, European Environment Agency (EEA): Corine Land Cover. Version 2020 20\_1. (2018).
25. Rizzolo, R.: Fuel models development to support spatially-explicit forest fire modelling in eastern Italian Alps. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Padova, Padova, Italia (2016).
26. Scott, J., Reinhardt, E.: Stereo photo guide for estimating canopy fuel characteristics in conifer stands. General Technical Report RMRS-GTR-145. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA (2005).
27. Mitsopoulos, I. D., Dimitrakopoulos, A. P.: Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests. *Annals of Forest Science* 64 (3), 287–299 (2007).
28. Scott, J. H., Reinhardt, E. D.: Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. Research Paper RMRS-RP-29. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO, USA (2001).
29. SOC OSMER e GRN: Il clima del Friuli-Venezia Giulia. ARPA Friuli-Venezia Giulia, Palmanova (UD), Italia (2014).
30. FlamMap Help, <http://flammaphelp.s3-website-us-west-2.amazonaws.com>, ultimo accesso 20/5/2021.
31. Engelstad, P. S., Falkowski, M., Wolter, P., Poznanovic, A., Johnson, P.: Estimating Canopy Fuel Attributes from Low-Density LiDAR. *Fire* 2 (3), 38 (2019).

32. Goodbody, T. R. H., Coops, N. C., White, J. C.: Digital Aerial Photogrammetry for Updating Area-Based Forest Inventories: A Review of Opportunities, Challenges, and Future Directions. *Current Forestry Reports* 5 (2), 55–75 (2019).
33. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Catalogo dati ambientali e territoriali, IRDATfvg, dettaglio, <http://irdat.regione.fvg.it/consultatore-dati-ambientali-territoriali/detail/irdat/dataset/11647>, ultimo accesso 20/5/2021.

**#AsitaAcademy2021**