



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Dipartimento Agronomia, Alimenti, Risorse naturali, Animali e Ambiente

Corso di laurea magistrale in
Scienze Forestali e Ambientali – LM 73

**Rilievo di attacchi di bostrico tipografo nella Regione del
Veneto mediante una applicazione per dispositivi mobili**

**Surveillance of *Ips typographus* in the Veneto Region
based on an application for mobile devices**

Relatore

Prof. Andrea BATTISTI

Correlatore

Dott. Davide NARDI

Laureando

Angelo GACCIONE

Matricola n. 2006612

INDICE

Riassunto	2
Abstract	3
1. INTRODUZIONE	4
1.1 Vaia e bostrico	4
1.2 Bostrico e monitoraggio.....	5
1.3 App per rilievi fitosanitari	8
1.4 Remote sensing del bostrico	8
1.5 Obiettivi	9
2. MATERIALI E METODI	10
2.1 Area di studio generale.....	10
2.2 Area di studio specifica.....	14
2.3 Metodi di validazione dell'app.....	15
2.4 Metodi di confronto con i dati satellitari	19
3. RISULTATI	21
4. DISCUSSIONE	24
5. CONCLUSIONI	27
RINGRAZIAMENTI	28
BIBLIOGRAFIA	29
SITOGRAFIA	32

Riassunto

Alla fine dell'ottobre 2018 le Alpi orientali sono state colpite dalla tempesta 'Vaia' che ha causato schianti su ampie superfici (in totale 38.200 ha) e la perdita di oltre 16,5 milioni di m³ di legname, prevalentemente di abete rosso. Una delle conseguenze di questo evento è stata la pullulazione di *Ips typographus*, un coleottero scolitide parassita dell'abete rosso, che ha apportato ulteriori danni sia in termini economici, sia di paesaggio, sia dal punto di vista del dissesto idrogeologico. Negli anni successivi alla tempesta si è reso quindi necessario attivare il monitoraggio del bostrico per valutare l'andamento delle infestazioni, gli effetti dell'attacco e per garantire una corretta gestione dei popolamenti forestali.

Per il monitoraggio di *I. typographus* sono stati impiegati diversi metodi, tra questi molto importante è il 'remote sensing' che, tramite l'impiego di immagini satellitari multispettrali, permette di osservare i cambiamenti delle piante come risposta agli attacchi; il problema di questo metodo è la difficoltà di applicazione nelle aree montane dove la complessa topografia determina molte zone d'ombra. Anche per questo motivo rimane fondamentale la raccolta di dati in campo, oltre che per la disponibilità di informazioni più dettagliate sui sintomi e sullo stadio degli attacchi; le indagini sul territorio richiedono però molto tempo ed un intenso lavoro sul campo.

In questo lavoro di tesi si vuole valutare come un approccio partecipativo, basato sul coinvolgimento di personale non specializzato, possa fornire una maggiore quantità di queste informazioni come supporto alle tecniche di telerilevamento.

Abstract

At the end of October 2018 the Eastern Alps were hit by 'Vaia' windstorm, which caused crashes on large surfaces (a total of 38.200 ha) and the loss of over 16,5 million m³ of timber, mainly Norway spruce. One of the consequences of this event was the outbreaks of *Ips typographus*, a bark beetle parasitic on Norway spruce, which caused further damage both in economic and landscape terms and from hydrogeological disruption perspective. In the years following the storm it was therefore necessary to activate monitoring of bark beetles to evaluate the trend of infestations, the effects of the attack and to guarantee correct management of forest populations. Monitoring of *I. typographus* can be conducted using different methods, such as 'remote sensing' approach which allows us to observe the changes of plants as a response to attacks through the use of multispectral satellite images; however, its application in mountain areas is difficult because the rugged topography leads to shadows. Considering what previously said, the ground data collection remains fundamental, as well as for the availability of more detailed information on symptoms and attacks stage; however, ground surveys require a lot of time and intensive field work.

In this thesis work we want to assess how a participatory approach, based on non-specialized staff, may provide a greater quantity of this information as support to remote sensing techniques.

1. INTRODUZIONE

1.1 Vaia e bostrico

Gli schianti da vento, in particolare quelli su ampia scala, rappresentano il tipo di disturbo che maggiormente interessa i boschi europei: basti pensare ai grandi eventi verificatisi in passato che hanno causato ingenti danni al patrimonio forestale, come le tempeste ‘Vivian’ nel 1990 in Svizzera, ‘Lothar’ nel 1999 in Francia, Germania e Svizzera, o ancora ‘Gudrun’ nel 2005 in Danimarca e Svezia, etc. Questi eventi, inoltre, si verificano nella stagione autunno-invernale, con il picco nei mesi di novembre, dicembre e gennaio.

In Italia, invece, il regime usuale è rappresentato da piccoli schianti nei mesi estivi, con alcuni casi particolari, quali i crolli da vento del novembre 1966 in Trentino Alto Adige e del marzo 2015 in Toscana. Ciò è quanto avvenuto e riportato fino al 2018, quando alla fine di ottobre la tempesta ‘Vaia’ ha colpito le regioni alpine orientali (Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto e Friuli Venezia Giulia), causando la perdita di oltre 16,5 milioni di m³ di legname su una superficie di 38.200 ha. L’evento si descrive in due fasi: la prima fase (27-28 ottobre) è caratterizzata da intense precipitazioni che hanno causato diversi problemi idrologici, come piene, esondazioni, nonché terreno molto bagnato con conseguente scarsa coesione tra radici e suolo stesso; nella seconda fase (29-30 ottobre) il vento, fino a 200 km/h, ha causato schianti diffusi (**fig. 1**).



fig. 1: versante colpito da Vaia.

Fonte: <https://www.simbiosimagazine.it/speciale-vaia/boschi-fragili/>

La tempesta ‘Vaia’ può essere definita un evento eccezionale per diversi motivi: innanzitutto la magnitudo del disturbo, che ha interessato una vasta area e diverse categorie forestali,

quali peccete (particolarmente suscettibili agli schianti), pinete e boschi misti di abete rosso, abete bianco e faggio; poi, il periodo in cui si è abbattuta la tempesta, ossia il mese di ottobre. Quest'ultimo aspetto è molto importante in quanto definisce una stagionalità del disturbo che non solo si colloca al di fuori di quella solita degli eventi che si verificano nella regione alpina, ma non rientra neanche in quella dei grandi eventi europei. Da considerare infine anche che, a differenza di questi ultimi, gli schianti di Vaia sono stati causati da venti caldi provenienti da sud incanalati nelle vallate alpine. Tutti questi elementi potrebbero suggerire l'effetto dei cambiamenti climatici.

Oltre ai danni economici, paesaggistici ed ambientali, ciò che ha destato molta preoccupazione negli anni successivi è stata una delle dirette conseguenze dell'evento, ossia le pullulazioni di *Ips typographus*, un insetto parassita dell'abete rosso, che hanno incrementato le perdite di Vaia, investendo potenzialmente oltre 7.000 ha di peccete, corrispondenti a quasi 3 milioni di m³ di massa legnosa (Faccoli et al., 2022), con ripercussioni anche dal punto di vista ecologico, assestamentale ed idrogeologico.

1.2 Bostrico e monitoraggio

Il bostrico tipografo (*Ips typographus* L., 1758) è un coleottero xilofago appartenente alla famiglia dei *Curculionidae* e rientra nella sottofamiglia degli *Scolytinae*. Originario dell'Asia settentrionale, si è diffuso nel continente europeo causando gravi infestazioni ed estensive mortalità di *Picea abies* dalle Alpi meridionali all'Europa occidentale e centrale fino alla Scandinavia e alla Russia. L'adulto presenta un corpo cilindrico di dimensioni molto ridotte, dai 4 ai 5,5 mm, con una colorazione dal marrone al nero (**fig. 2**); si sviluppa da una larva apoda biancastra che si nutre di legno scavando gallerie al di sotto della corteccia delle piante ospiti fino all'impupamento. Gli adulti appena svernati fuoriescono da fori di 2-3 mm e colonizzano altri alberi, penetrando nella corteccia e scavando le camere nuziali, ognuna occupata di solito da un maschio e da 1 a 3 femmine; a questo punto vengono emessi feromoni di aggregazione per attrarre altri individui, quindi ha luogo la riproduzione. Dalla camera nuziale, la femmina scava una galleria longitudinale fino a 15 cm, in cui vengono deposte fino a 100 uova, dalle quali nasceranno le larve che a loro volta scaveranno gallerie che si presentano ingombre di rosura ed escrementi (**fig. 3**).



fig. 2: adulto di *Ips typographus*.

Fonte: <https://www.vglobale.it/2023/03/14/contro-labete-rosso-si-alleano-bostrico-e-fungo/>



fig. 3: sistema di gallerie nella corteccia.

Fonte: <https://idt2.regione.veneto.it/portfolio/vaia-e-bostrico/>

L'attività di *I. typographus* ha inizio quando le temperature superano i 18°C, per cui a quote maggiori la specie è monovoltina: lo sviluppo larvale si completa nel mese di luglio e ad agosto compaiono gli adulti, che però non sciamano. A quote più basse (800-100 m s.l.m.) le suddette temperature si raggiungono in genere intorno alla metà di aprile; inoltre a queste quote si possono avere anche due generazioni: gli adulti della prima compaiono all'inizio di luglio e danno luogo alla seconda generazione il cui sviluppo può concludersi entro la fine dell'estate con la comparsa di adulti destinati a svernare, o può essere interrotto dal sopraggiungere dell'inverno. A quote inferiori e in annate particolarmente calde si può

assistere addirittura all'avvio di una terza generazione, che però non riesce a concludere lo sviluppo entro l'autunno (Battisti et al., 2013).

Il bostrico ha un ruolo ecologico molto importante in quanto gli attacchi si verificano a carico di piante adulte sradicate, stroncate o in stress, attratto dalle emissioni terpeniche delle stesse; è quindi sempre presente una quota parte di *I. typographus* nei popolamenti di abete rosso. Diventa però un disturbo quando si presenta un innesco esterno al sistema, come siccità o più frequentemente schianti da vento; se questi, come nel caso di Vaia, presentano poi alte severità su ampie superfici, possono dare luogo ad infestazioni importanti durante le quali vengono interessate anche le piante sane che non riescono più ad opporre resistenza all'elevato numero di insetti (**fig. 4 a e b**).



fig. 4: nell'immagine a sinistra (**a**) si osservano i fori di ingresso degli insetti con la rosura attorno; a destra (**b**) un adulto di *I. typographus* ricoperto di resina prodotta dalla pianta come difesa

Il controllo del bostrico in queste situazioni è difficile, ma può portare a buoni risultati se condotto con continuità negli anni. È però fondamentale l'individuazione tempestiva dei focolai di infestazione, la conoscenza delle epoche di volo, ossia della fenologia, nonché del numero di generazioni o 'voltinismo', per garantire una corretta pianificazione degli

interventi di prevenzione e/o lotta. Ciò si ottiene con un corretto e costante monitoraggio, effettuato mediante l'integrazione di diverse tecniche.

A partire dalla primavera del 2019 è stato condotto il monitoraggio delle popolazioni di bostrico mediante l'impiego di trappole attrattive posizionate nei siti a maggior rischio di infestazione (buche di schianto, margini di peccete colpite da Vaia, aree di esbosco e zone di stoccaggio del legname); lo svuotamento delle trappole è stato effettuato ogni 10-15 giorni al fine di monitorare l'andamento delle popolazioni; inoltre, sono stati censiti i focolai di bostrico in termini di estensione e volume infestato. Sono stati utilizzati anche metodi di telerilevamento sia per una rapida valutazione del danno sia per monitorare la diffusione spaziale e temporale delle pullulazioni. Infine, si è ritenuto fondamentale la raccolta dati in campo per la quale è stata sviluppata un'applicazione per dispositivi mobili che ha potuto consentire di raccogliere una serie di informazioni con un approccio partecipativo.

1.3 App per rilievi fitosanitari

Vi sono diversi esempi che testimoniano l'utilità della *citizen science*, ossia il coinvolgimento dei cittadini o di personale non specializzato nella raccolta dati ad uso scientifico. Questi dati possono essere usati dagli scienziati per molteplici scopi quali il monitoraggio fitosanitario di patogeni, come funghi ed oomiceti, o insetti parassiti, o ancora per monitorare la presenza di specie protette. Sono stati quindi sviluppati diversi protocolli e strumenti alla portata di tutti: basti pensare ad applicazioni come 'iNaturalist', o 'InNat' per segnalare la presenza di diverse specie di flora e fauna.

Lo stesso tipo di approccio è stato considerato per il monitoraggio del bostrico tipografo nelle aree colpite da Vaia: a tal proposito è stato attivato un progetto partecipativo che include utenti attivi nel settore forestale, i quali hanno provveduto alla segnalazione di nuclei di attacchi sull'applicativo 'Survey123', appartenente alla suite di ArcGIS, seguendo un modulo personalizzato per una raccolta dati più facilitata.

1.4 Remote sensing del bostrico

Il telerilevamento è ad oggi considerato lo strumento più efficiente per mappare i disturbi forestali, in quanto consente di coprire aree estese ed osservarne i cambiamenti nel tempo: si è passati, infatti, dall'analisi di singoli dati, all'analisi di 'big-data', ossia di serie storiche

di immagini telerilevate (Giannetti, 2022). In particolare, sono stati sviluppati degli algoritmi per mappare i cambiamenti utilizzando come input queste serie storiche di immagini satellitari multispettrali; gli algoritmi sono stati poi utilizzati per lo sviluppo di sistemi di ‘early warning’ che ha trovato largo impiego in vari contesti per monitorare cambiamenti nella crescita della vegetazione, i cambiamenti fenologici stagionali delle foreste, i danni della tempesta Vaia, etc., come testimoniano diversi studi (Brooks et al., 2017; Lambert et al., 2013; Zhu e Woodcock, 2014). Gli algoritmi più efficaci sono i ‘Continuous Change Detection Algorithm’ (o ‘CCDC’) che rilevano i cambiamenti interannuali; gli stessi sono stati utilizzati anche per la mappatura degli attacchi di *I. typographus*: uno studio condotto in Germania ha evidenziato come l’uso di indici spettrali della vegetazione, estratti da immagini Landsat-8 e Sentinel-2, siano in grado di individuare lo stadio precoce dell’attacco del coleottero (Abdullah et al., 2019).

Applicazioni di tecniche di telerilevamento sono state realizzate anche in ambiente alpino nelle aree colpite da Vaia, dove sono in corso infestazioni di bostrico. Sono apparse però alcune problematiche, in particolare non viene sempre garantita la disponibilità di immagini ‘pulite’, ossia prive di copertura nuvolosa o di zone in ombra, che impediscono l’acquisizione delle firme spettrali necessarie alle suddette tecniche di mappatura.

1.5 Obiettivi

Nonostante la disponibilità di tecnologie avanzate che permettano di ottenere grandi quantità di informazioni per un corretto monitoraggio, i rilievi in campo rimangono un supporto fondamentale alle stesse per colmare le lacune che spesso presentano, in particolar modo in ambiente alpino dove per alcune aree non è sempre possibile disporre di immagini satellitari utili; inoltre, vista la mole di lavoro che le indagini di campo richiedono, viene talvolta presa in considerazione il coinvolgimento di personale non specializzato.

Il seguente lavoro di tesi si pone come obiettivo la valutazione dell’approccio partecipativo mediante, innanzitutto, la validazione dell’applicazione utilizzata per il rilievo del bostrico tipografo nella Regione del Veneto; dopodiché viene fatto un confronto delle segnalazioni con dati satellitari relativi ad una stessa area.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Area di studio generale

L'area di studio comprende i boschi della Regione Veneto colpiti dalla tempesta Vaia ed interessati dalle infestazioni del bostrico tipografo. Gli schianti si sono verificati nelle province di Belluno, Treviso, Vicenza e Verona (**fig. 5**).

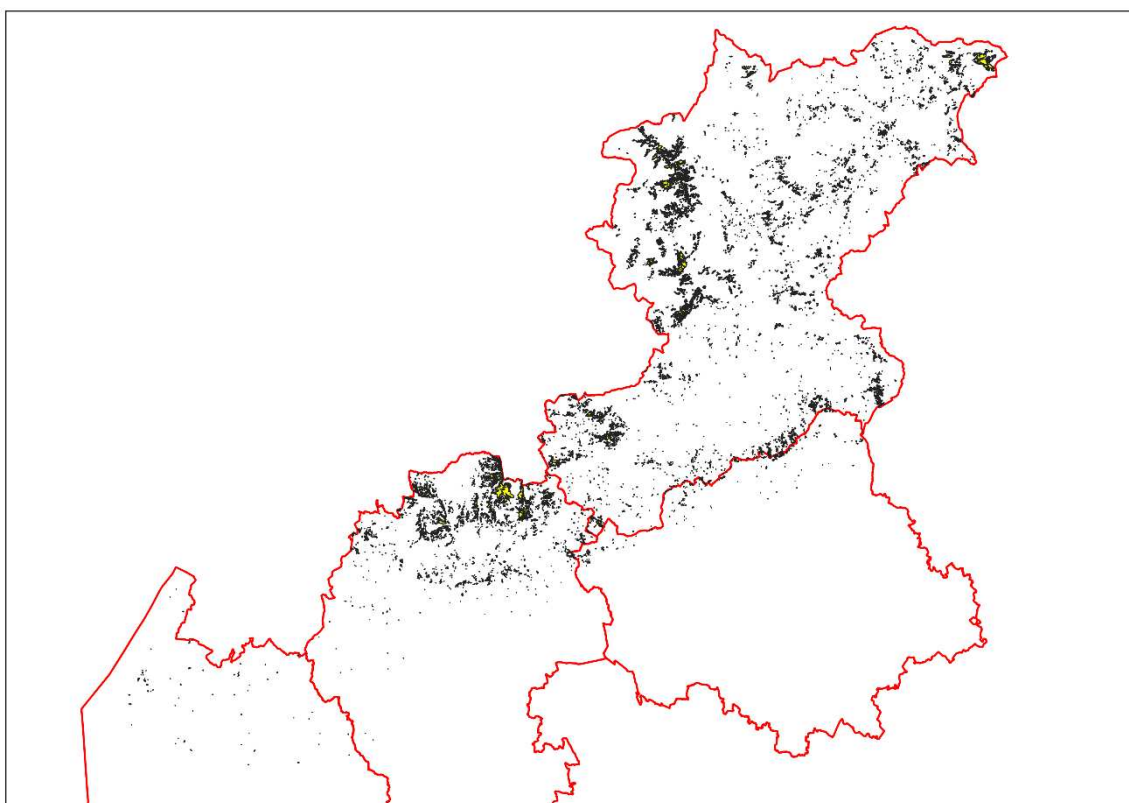


fig. 5: perimetrazione degli schianti di Vaia nella Regione del Veneto.

Fonte: <https://idt2.regione.veneto.it/idt/webgis/viewer?webgisId=204>

A tre anni dall'evento, nel novembre 2021, è stato istituito un Tavolo tecnico-scientifico da parte del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali (MIPAAF) a cui afferiscono Regioni e Province autonome interessate, i Servizi Fitosanitari Centrale e Regionali, l'Istituto Nazionale per la Protezione delle Piante del CREA ed i Dipartimenti TESAF e DAFNAE dell'Università di Padova, finalizzato al confronto sull'evolversi dell'infestazione ed alla gestione delle popolazioni del parassita. Tra le attività intraprese dal gruppo di lavoro all'interno di quelle aree rientra anche il monitoraggio con trappole a feromoni, che fornisce informazioni sulla distribuzione e sulla consistenza delle popolazioni dell'insetto, ed il monitoraggio visivo dei nuovi nuclei di piante attaccate, caratterizzati dal viraggio di colore delle chiome. In **fig. 6** viene mostrata la distribuzione delle trappole della campagna 2021 nelle aree colpite; si riportano inoltre i risultati derivati dal controllo delle

stesse (fig. 7), che mostrano dati molto preoccupanti in quanto le catture vanno ben oltre il limite di allerta per gli attacchi, ossia 7000-8000 individui/trappola:

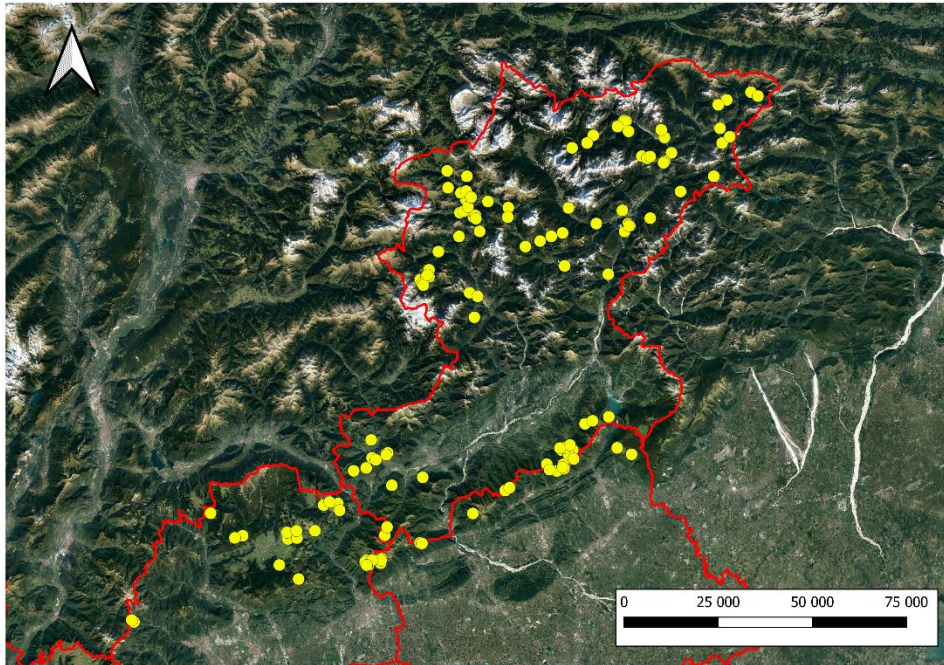


fig. 6: distribuzione delle trappole per il monitoraggio di *I. typographus* del 2021.

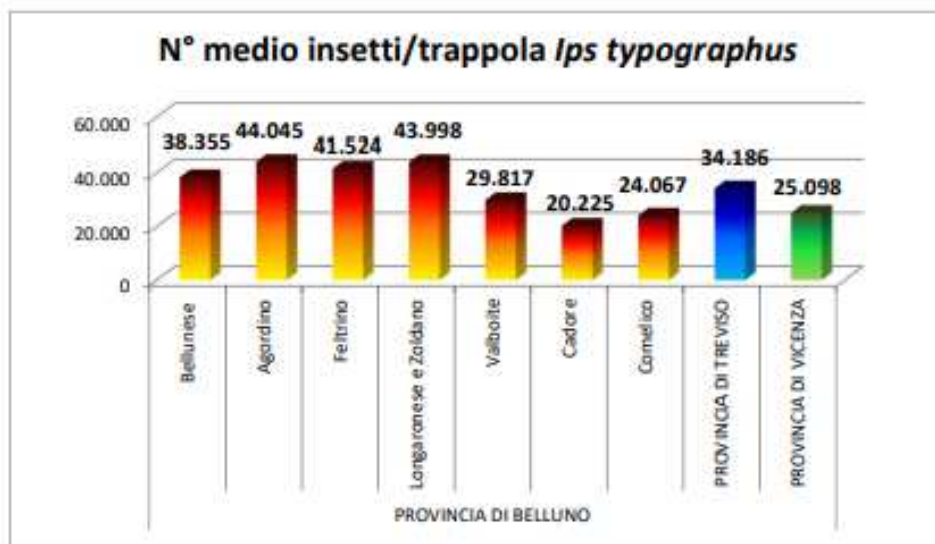


fig. 7: catture delle trappole per il periodo aprile-settembre 2021.

Fonte: https://www.regione.veneto.it/documents/10701/13626556/Dgr_833_22_AllegatoA.pdf/7d2d99e1-a04b-4865-adba-b06b4926ed3a

Il monitoraggio visivo si è svolto con il supporto di un'applicazione per smartphone attraverso cui sono state raccolte le segnalazioni dei nuovi nuclei di attacchi. I progetti di 'Citizen science' hanno avuto un notevole successo nel far progredire la conoscenza scientifica e forniscono una grande quantità di dati (Bonney et al., 2009); per questo motivo è stata ritenuta una valida soluzione al fine di condurre efficacemente un monitoraggio su ampia scala.

Il progetto relativo al bostrico è stato attivato dal 15 giugno fino al 20 settembre 2022. Il primo passo è stato il reclutamento di personale per le indagini in campo, il quale è formato da operatori già attivi sul territorio; dopodiché, sono stati erogati dei workshops formativi relativi al riconoscimento del bostrico e degli attacchi sulle piante ed al corretto utilizzo dell'applicazione impiegata. Successivamente ad una prova in campo, ha avuto inizio l'attività di monitoraggio vera e propria che ha portato al rilievo dei nuclei riportati in **fig. 8**.

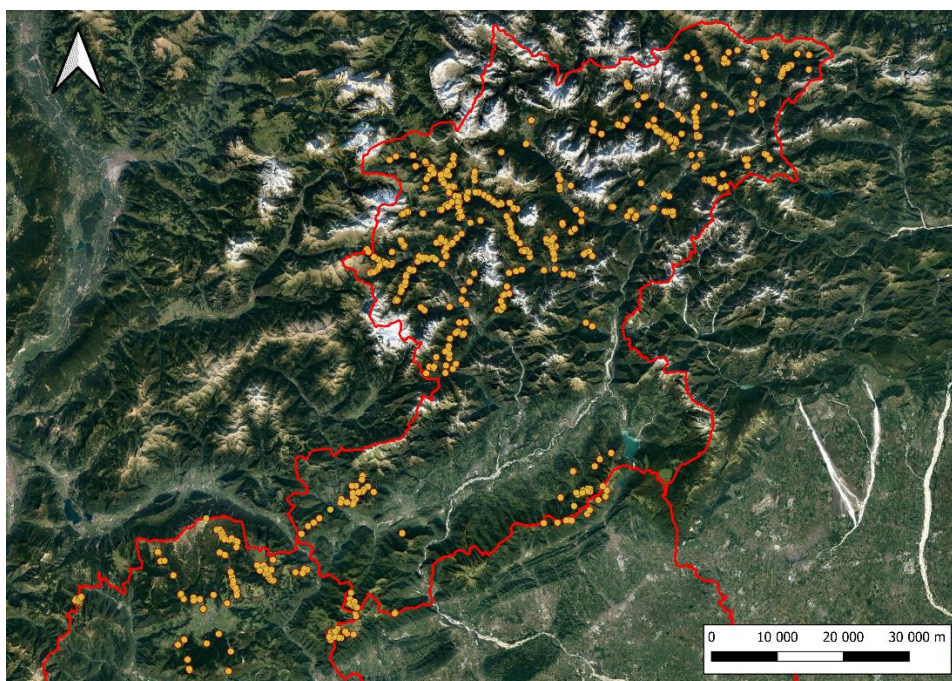


fig. 8: distribuzione dei nuclei di bostrico del 2022 segnalati da terra

Come si osserva, la maggior parte delle segnalazioni ricadono nella Provincia di Belluno, in particolare nella Valle Agordina, e nell'Altopiano di Asiago (VI).

È stata creata, inoltre, dalla Regione Veneto una mappa delle aree colpite da bostrico segnalate tramite la fotointerpretazione di immagini satellitari: in particolare è stata effettuato un confronto tra il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) del 2021 e

quello del 2022; le ‘differenze’ rilevate sono state attribuite agli attacchi del coleottero e sono state quindi mappate (**fig. 9**).

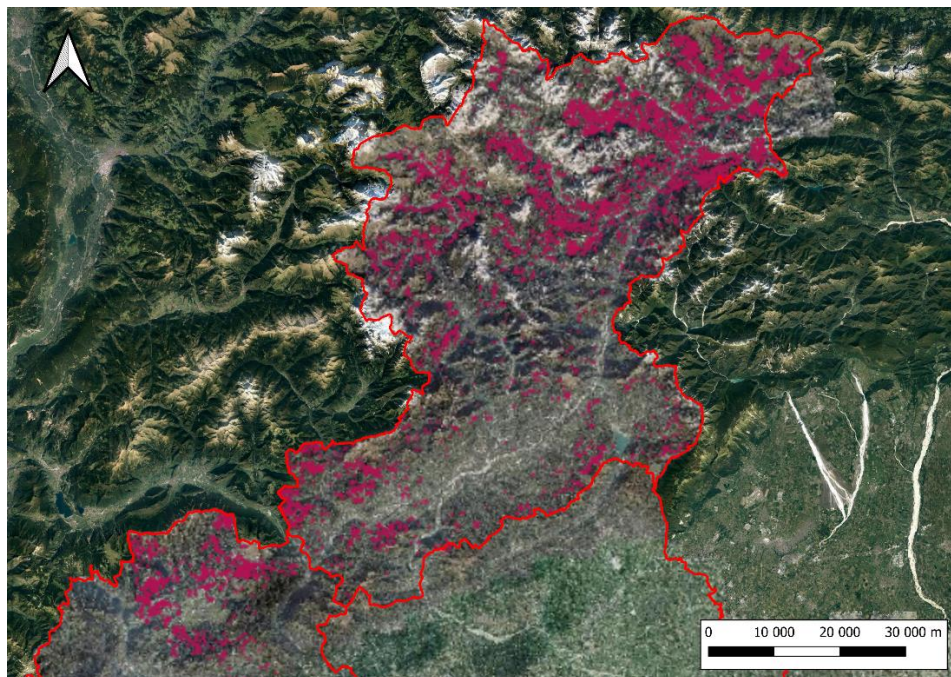


fig. 9: mappatura delle aree bostricate tramite confronto degli indici NDVI, sulla base dell’ortofoto regionale del 2021.

Fonte: <https://idt2.regione.veneto.it/idt/webgis/viewer?webgisId=204>

Dalla sovrapposizione dei layers dei punti rilevati a terra e della mappatura da remoto (**fig. 10**) è possibile verificare congruenze e divergenze dei due metodi di rilevamento.

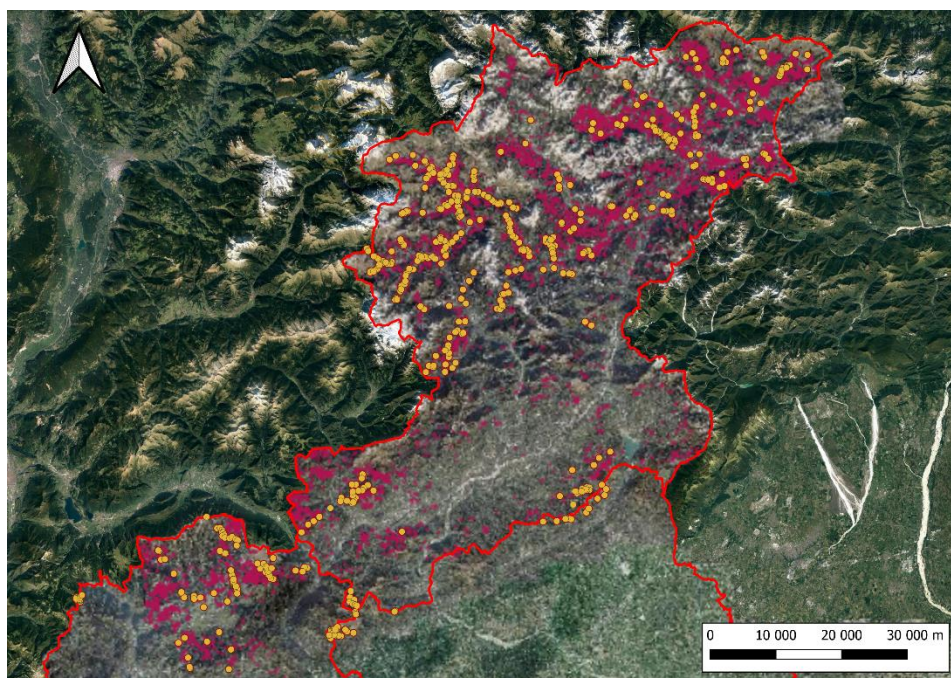


fig. 10: sovrapposizione dei nuclei rilevati da terra e le aree mappate da remoto.

Fonte: <https://idt2.regione.veneto.it/idt/webgis/viewer?webgisId=204>

2.2 Area di studio specifica

Tra le aree interessate dagli attacchi del bostrico tipografo è stata individuata un'area di studio più ristretta per effettuare un confronto tra le segnalazioni riportate sull'applicazione e ciò che risulta visibile dalle immagini satellitari, al fine di definire la completezza dei dati forniti dai rilievi a terra. L'area in questione è rappresentata da una superficie di 8.090 ha ricadente nel comune di Canale d'Agordo (BL) (**fig. 11**):

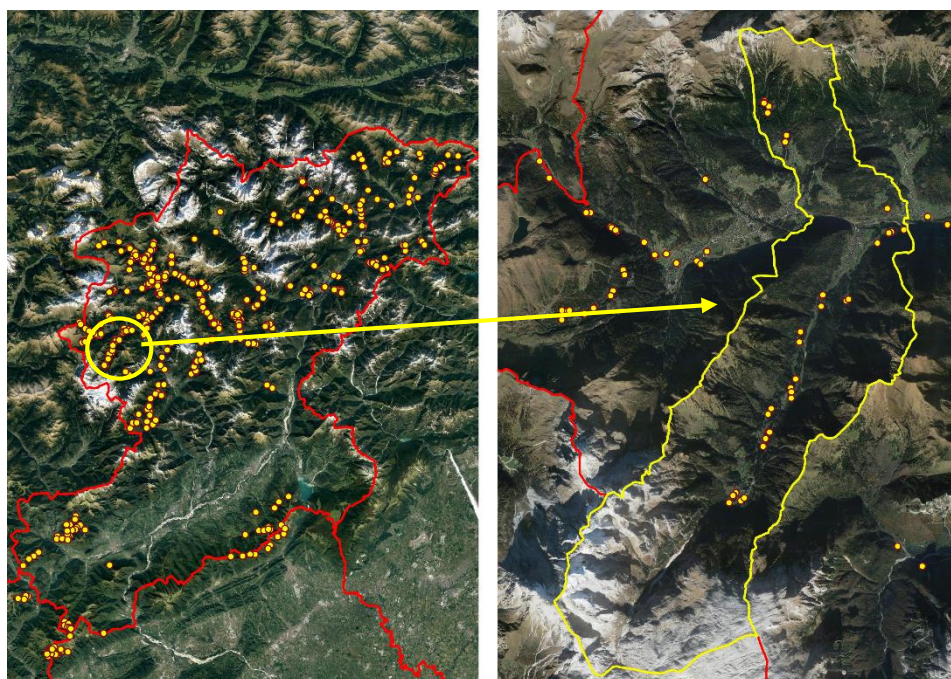
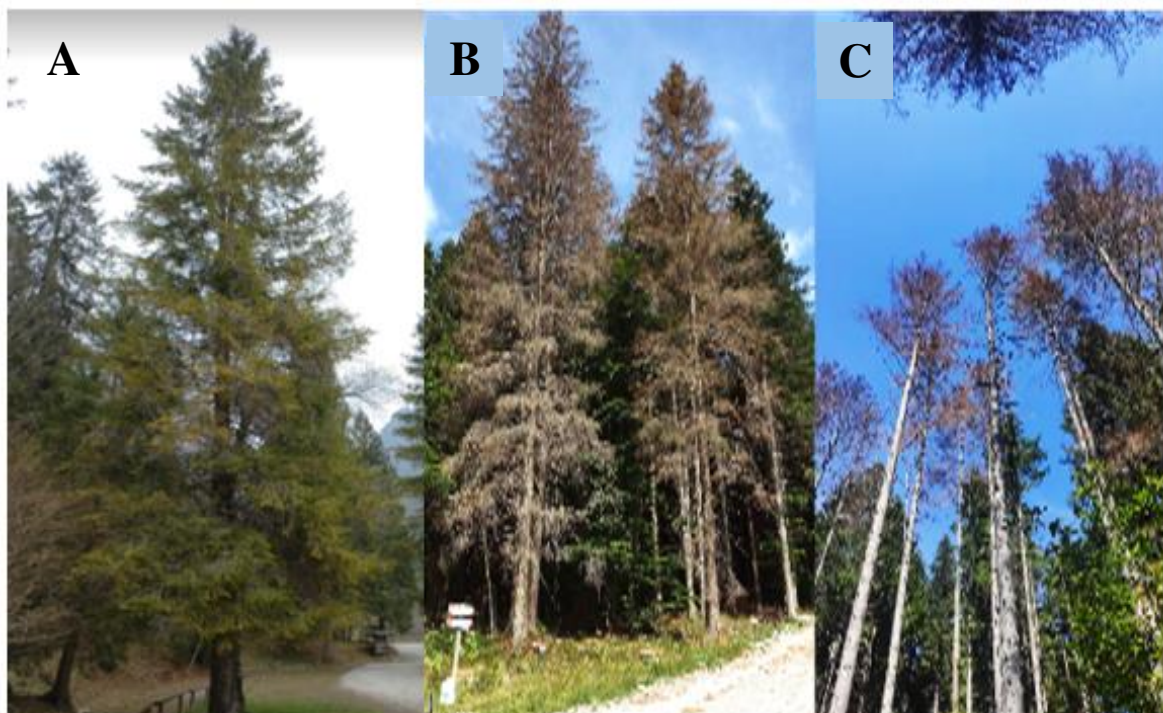


fig. 11: dettaglio dell'area di studio specifica; a destra i limiti amministrativi del comune di Canale d'Agordo

La scelta è stata dettata dal buon numero di segnalazioni e dall'alta qualità delle immagini satellitari, prive di copertura nuvolosa e con una buona illuminazione dei versanti esposti a nord. Questi prodotti sono stati resi disponibili dalla costellazione satellitare Planet Dove, in orbita da gennaio 2021, che restituisce immagini multispettrali con una risoluzione di 3 m.

2.3 Metodi di validazione dell'app

Per il monitoraggio del bostrico tipografo nel Veneto è stata utilizzata l'applicazione web Survey123 per ArcGIS Online che rientra nell'ecosistema dell'Environmental System Research Institute (ESRI). Viene utilizzata per la creazione di moduli semplici e complessi, incluse diverse funzionalità come elementi multimediali, calcoli, etc. (Hennig et al., 2023). Nel progetto relativo all'*Ips typographus* è stato generato un format standardizzato per facilitare agli operatori la raccolta di informazioni georeferenziate, in quanto, al momento della compilazione del modulo vengono registrate le coordinate dell'utente che sta provvedendo alla segnalazione. Il modulo è formato da alcuni campi da compilare scegliendo una tra più opzioni; il primo campo da compilare è la posizione rispetto al nucleo, per la quale vi sono due possibilità, ossia che l'operatore si trovi all'interno del nucleo o che lo veda da distante: nel primo caso le coordinate registrate sono le stesse del nucleo, per cui si passa alla compilazione del campo successivo; nel caso in cui, invece, il nucleo si veda da distante, le coordinate registrate saranno quelle del punto in cui si trova l'operatore, per cui appariranno altri campi in cui viene richiesto di specificare la direzione dal punto di osservazione (Nord, Est, Sud, Ovest, Nord-Est, etc.), una distanza approssimativa dal nucleo (non superiore a 2 km) ed eventualmente altre note utili a definire la posizione. Successivamente, viene chiesto di definire lo stadio dell'infestazione (**fig. 12**) dai sintomi visibili: stadio precoce (**A**), caratterizzato da chiome ancora verdi e rosura evidente; stadio intermedio (**B**), con chiome ingiallite o rosse; stadio avanzato (**C**), assenza di chioma.



Oltre allo stadio, viene definita anche la dimensione del nucleo ed anche in questo caso vengono proposte diverse opzioni: ‘alberi sparsi (nucleo diffuso)’, quando le piante attaccate sono sparse e mescolate con altre specie; ‘nucleo con meno di 10 alberi’; ‘tra 10 e 50’; ‘tra 50 e 200’; ‘più di 200’. Infine, si chiede di specificare l’operatore e si dà la possibilità di aggiungere ulteriori note e di allegare una foto del nucleo segnalato; quest’ultima, in realtà, è fondamentale ai fini della validazione. Di seguito viene riportata l’interfaccia dell’applicazione per la compilazione del modulo (fig. 13).

Scheda inserimento nuovo spot

Inserire un punto per OGNI spot

Sei sul punto? *

Si sono all'interno dell'area colpita

No lo vedo da distante

Sintomi visibili *

stadio precoce: alberi verdi con rosura evidente

Stadio intermedio: alberi con chioma ingiallita o rossa

stadio avanzato: alberi senza aghi

Dimensione *

Considerare solo gli alberi con sintomi segnati in precedenza. In caso di più stadi, inserire un nuovo punto.

alberi sparsi (nucleo diffuso)

nucleo definito con meno di 10 alberi

tra 10 e 50

tra 50 e 200

più di 200

ulteriori note

tiopologia bosco, utilizzazioni forestali...

Eventuale foto

Operatore *

fig. 13: interfaccia di Survey123; in particolare si mostra il modulo delle segnalazioni

L'applicazione è direttamente collegata ad ArcGIS Online, per cui ogni domanda del modulo corrisponde ad un campo della tabella attributi di uno shapefile in cui ogni segnalazione, che viene automaticamente aggiunta ad un progetto condiviso, è rappresentata da un punto.

La validazione delle segnalazioni è stata effettuata mediante il confronto tra quanto dichiarato relativamente allo stadio dell'infestazione e la foto allegata: nel caso in cui quest'ultima non fosse presente, la segnalazione veniva considerata come 'non valida'. Nei casi in cui, invece, la foto non fosse del tutto chiara la segnalazione veniva considerata 'da validare da un esperto' o 'non valida'; infine, qualora lo stadio di infestazione dichiarato non coincidesse con quanto mostrato in foto, si è data priorità a quest'ultima.

È possibile visualizzare tutte le segnalazioni con le relative informazioni e foto allegate, al fine di procedere agevolmente al confronto e validazione, nella 'dashboard' di Survey123 (**fig. 15**) il cui accesso è disponibile ad un numero limitato di utenti. È, inoltre, possibile visualizzare una mappa delle segnalazioni registrate, quindi non ancora sottoposte a validazione (**fig. 14**).

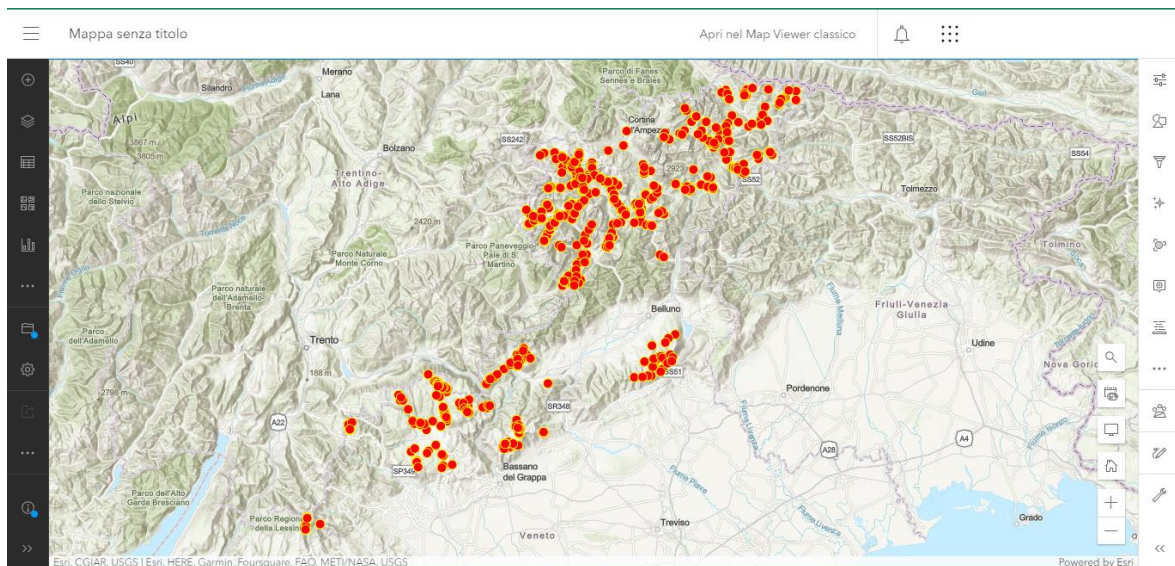


fig. 14: segnalazioni dal 15 giugno al 20 settembre 2022 sul visualizzatore della dashboard di Survey123

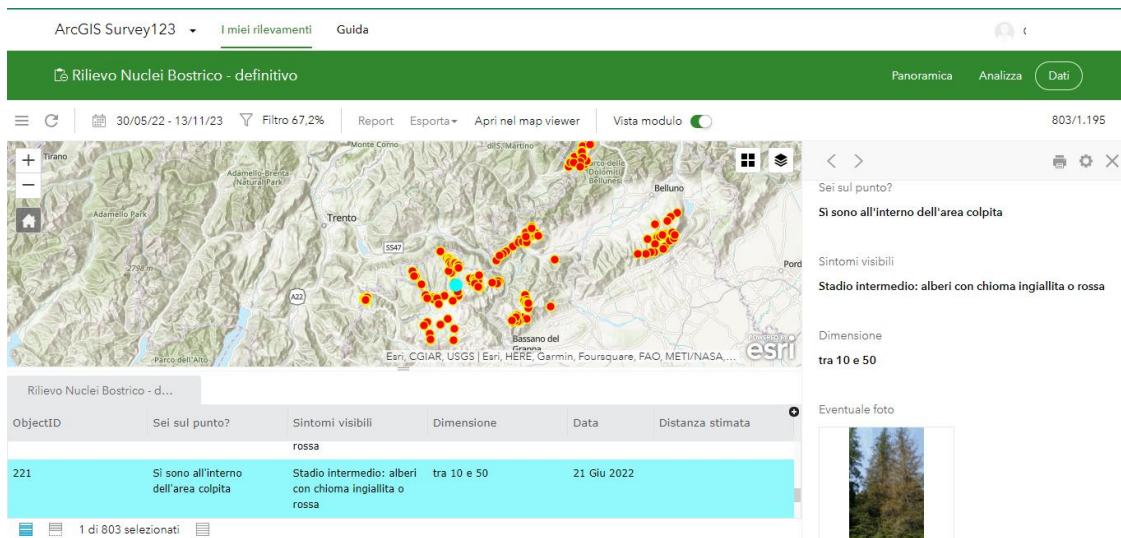


fig. 15: dashboard dell'applicazione al momento della validazione; cliccando su una segnalazione, questa sarà evidenziata e verrà visualizzata la foto allegata

Nell'esempio riportato in figura viene segnalato un nucleo allo stadio intermedio, osservato dall'interno dello stesso. Dalla foto allegata (**fig. 16**) è evidente un ingiallimento piuttosto generalizzato della chioma, per cui la segnalazione è valida.

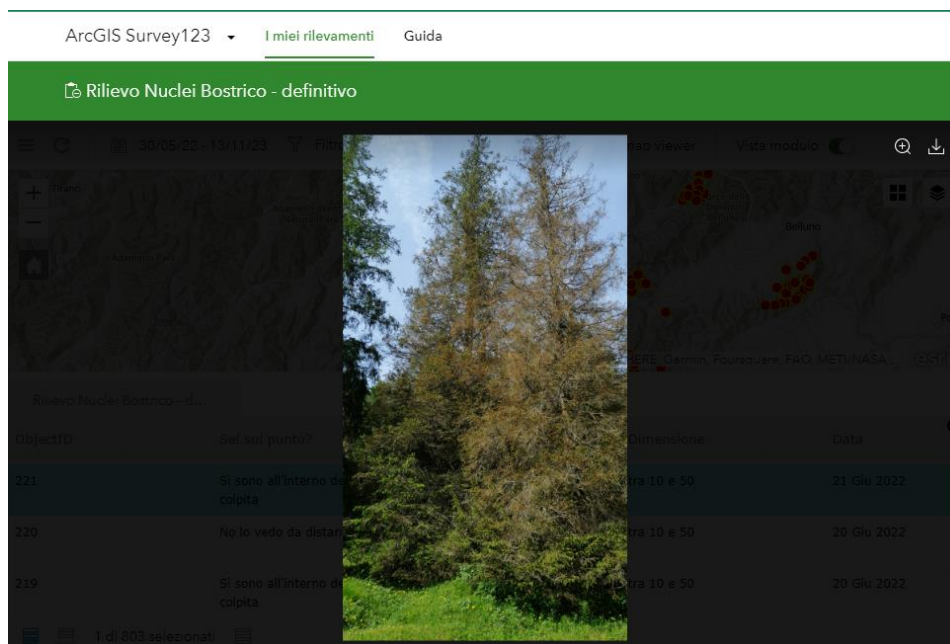


fig. 16: la foto allegata mostra quanto dichiarato relativamente al nucleo in questione, per cui la segnalazione può essere validata

2.4 Metodi di confronto con i dati satellitari

Il confronto con le immagini satellitari rappresenta il passo successivo alla validazione delle segnalazioni fornite dai rilievi a terra. Sono stati effettuati due confronti a scala differente: un primo confronto è stato effettuato a livello regionale utilizzando immagini da giugno a settembre; il secondo è stato effettuato nell'area di studio specifica, all'interno della quale sono stati individuati nuclei di infestazione tramite fotointerpretazione per i quali sono stati creati dei poligoni rappresentanti l'estensione di ognuno.

Nel primo caso sono state utilizzate immagini acquisite quanto più possibile prossime alla data delle segnalazioni, dopodiché sono state controllate e verificate la dimensione e lo stadio di infestazione di ogni nucleo, utilizzando se possibile la direzione e la distanza riportate per identificare gli stessi; allo stesso tempo, tramite fotointerpretazione e senza informazioni riguardo direzione, distanza e tipo di nucleo, è stato effettuato un rilevamento visivo. Infine, è stato effettuato il confronto tra questi nuclei mappati e le segnalazioni dell'applicazione per comprovare la corrispondenza tra il rilievo a terra e le immagini satellitari: in caso di coincidenza tra i nuclei mappati e le segnalazioni, queste sono state classificate come 'rilevate'; in caso contrario sono state classificate come 'non rilevate', motivando se ciò fosse imputabile o meno ad immagini compromesse da nuvole od ombre. Di seguito si riporta uno schema della procedura seguita (**fig. 17**).

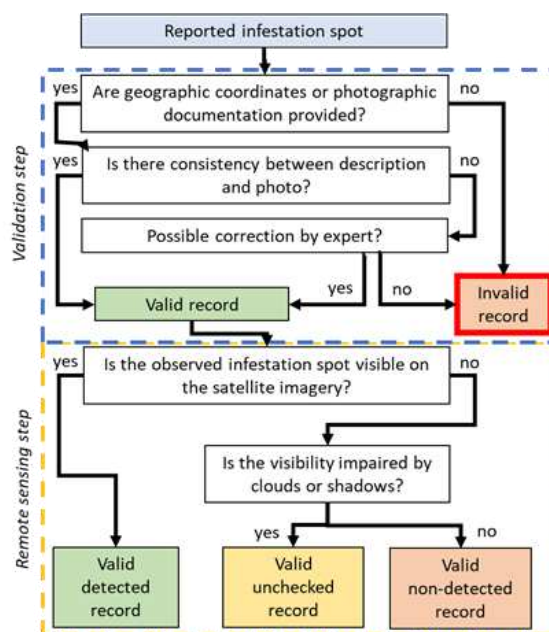


fig. 17: nel riquadro in blu viene sintetizzata la validazione delle segnalazioni; nel riquadro in giallo viene sintetizzato il confronto con le immagini satellitari

Dopo il confronto con le immagini satellitari al fine di verificare la validità dei rilievi a terra, un secondo confronto è stato realizzato in un'area più circoscritta, di 8.090 ha (**fig. 18**), ricadente nel comune di Canale d'Agordo, al fine di verificare la completezza delle segnalazioni. In questo caso sono state utilizzate solo le immagini del settembre 2021 e del 2022 per effettuare un confronto tra i due anni e distinguere i nuovi nuclei di attacchi da quelli dell'anno precedente; la scelta è dovuta al fatto che essendo immagini acquisite a fine stagione, risulta più attendibile la mappatura delle nuove zone di infestazione. Dal confronto visivo sono state quindi individuate delle aree, per le quali sono stati tracciati dei poligoni: questi rappresentano, per la maggior parte, i nuovi nuclei del 2022, mentre altri rappresentano l'espansione dei nuclei vecchi. Successivamente, è stata stimata la distanza di ogni nucleo mappato dalla strada più vicina. Infine, è stato verificato se fosse presente una corrispondenza tra questi nuovi nuclei e quelli rilevati da terra.

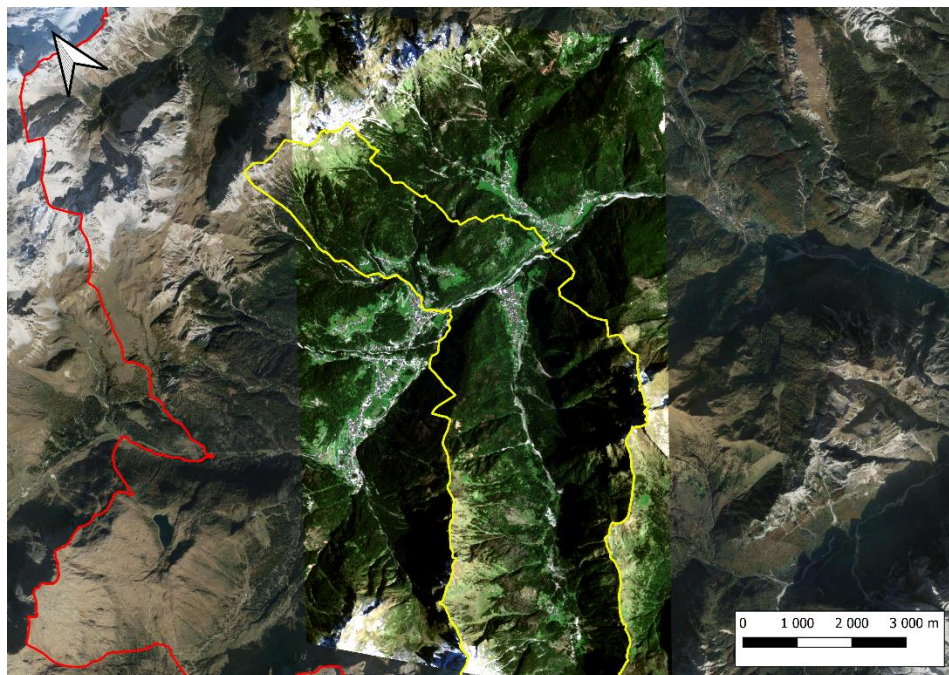


fig. 18: immagine satellitare dell'area di studio specifica acquisita dalla costellazione satellitare PlanetDove

3. RISULTATI

L'utilizzo di un'applicazione per dispositivi mobili ha portato un buon numero di rilevamenti: per quanto riguarda la stagione 2022 sono state registrate 841 segnalazioni, di cui ne sono state validate 740 (88%) (**fig. 19**), le quali sono state ritenute idonee per il confronto con le immagini satellitari. Di queste segnalazioni validate, la maggior parte (410, pari al 55%) riportano uno stadio intermedio dell'infestazione, mentre il 30% (218) testimonia uno stadio avanzato ed il 15% (112) lo stadio precoce. Risulta, poi, che il 54% (402 segnalazioni) è stato fornito da lontano ('off-site'), mentre il restante 46% (338) dall'interno del nucleo ('on-site'): questo dato è molto importante ed interessante in quanto, come risultato anche dal confronto con i dati satellitari nell'area di studio specifica, ciò potrebbe essere dovuto alla presenza o assenza di strade. Un altro risultato molto importante, nonché correlato a quello precedente, è la dimensione dei nuclei: il 42% di essi (corrispondenti a 308 segnalazioni) presenterebbe dimensioni medie, ossia da 10 a 50 alberi; a seguire, il 24% dei nuclei segnalati (175) presentano grandi dimensioni con un numero di piante da 50 a 200; il 18% (132 segnalazioni) con meno di 10 piante per nucleo; il 13% (99) è descritto come nuclei diffusi; infine, il 3% (26) segnala nuclei molto estesi con oltre 200 piante per ognuno. I risultati fin qui esposti sono sintetizzati nei grafici riportati di seguito (**fig. 20 A, B, C**).

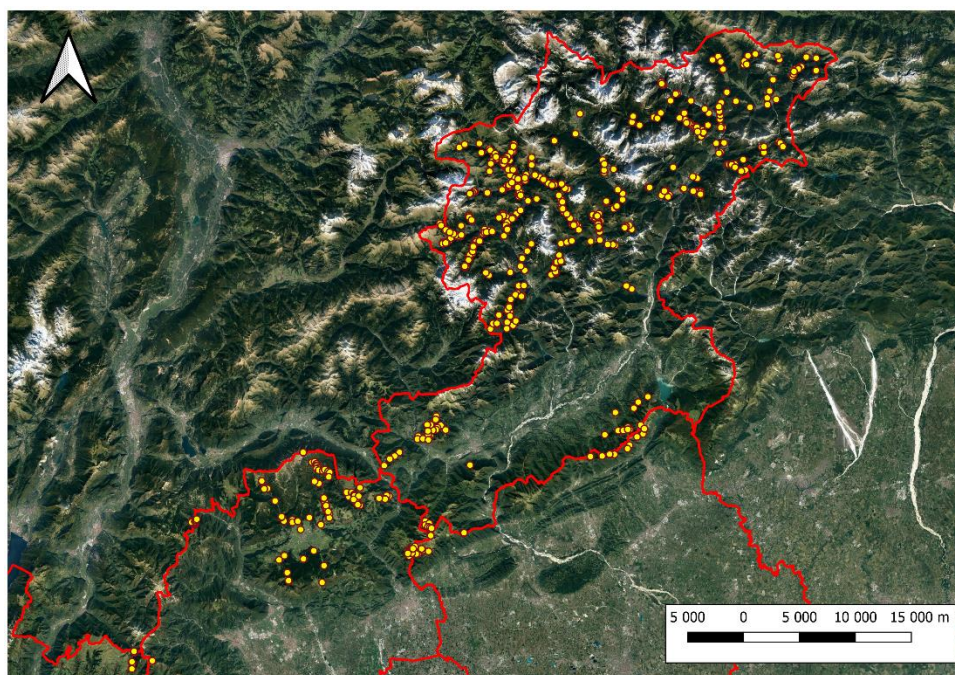
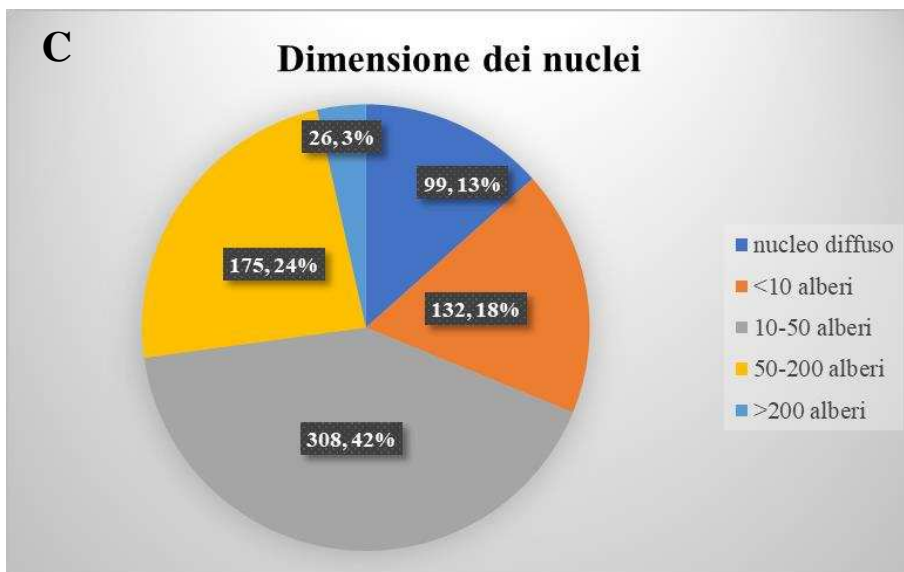
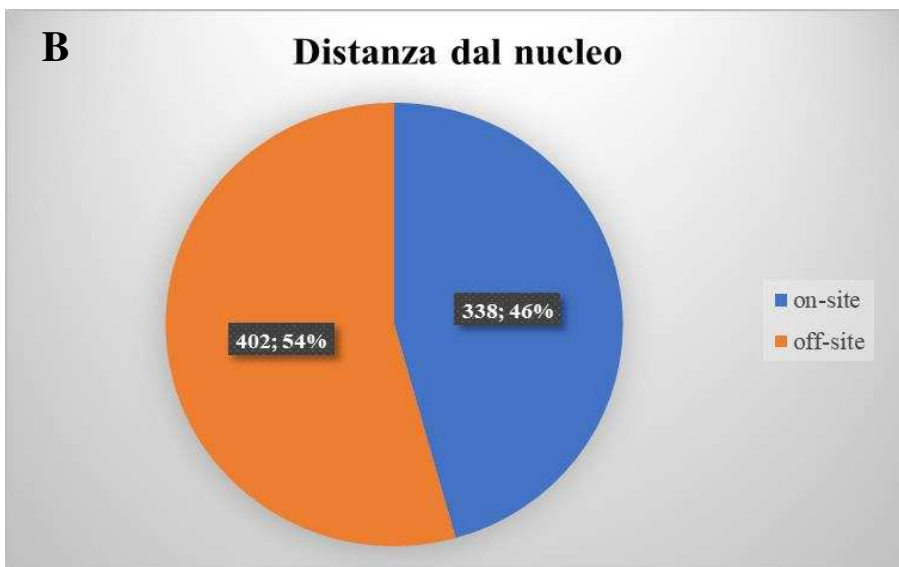


fig. 19: nuclei di bostrico del 2022 rilevati da terra dopo la validazione



Dal confronto con le immagini satellitari e dall'analisi di quelle relative all'area di studio specifica sono stati ottenuti altrettanto interessanti risultati di seguito presentati.

Per il primo studio sono state escluse, innanzitutto, 35 delle segnalazioni validate a causa di copertura nuvolosa e zone d'ombra che hanno impedito il confronto; delle rimanenti segnalazioni, circa la metà, ossia 355, sono state rilevate solo da terra, mentre le altre 350 sono state sottoposte con successo al confronto. Da questo è risultato che le segnalazioni 'in situ' hanno una bassa rilevabilità, soprattutto per nuclei di piccole dimensioni, mentre le segnalazioni 'a distanza' sono facilmente rilevabili. Inoltre, i nuclei allo stadio precoce sono risultati piuttosto difficili da rilevare, a prescindere dalle dimensioni e dalla distanza.

Per quanto riguarda il secondo studio, nell'area specifica, dalla fotointerpretazione delle immagini sono stati poligonati 717 nuclei per un totale di 190,5 ha; 54 di questi hanno trovato corrispondenza con le segnalazioni dell'applicazione, per un totale di 25,9 ha (**fig. 21**).

Da questo secondo confronto, inoltre, è emerso che nel rilievo a terra vengono commessi alcuni errori nella descrizione dei nuclei di attacco, in particolare in riferimento alle dimensioni degli stessi e ciò è dovuto ad una relazione con la vicinanza dei nuclei alle strade.

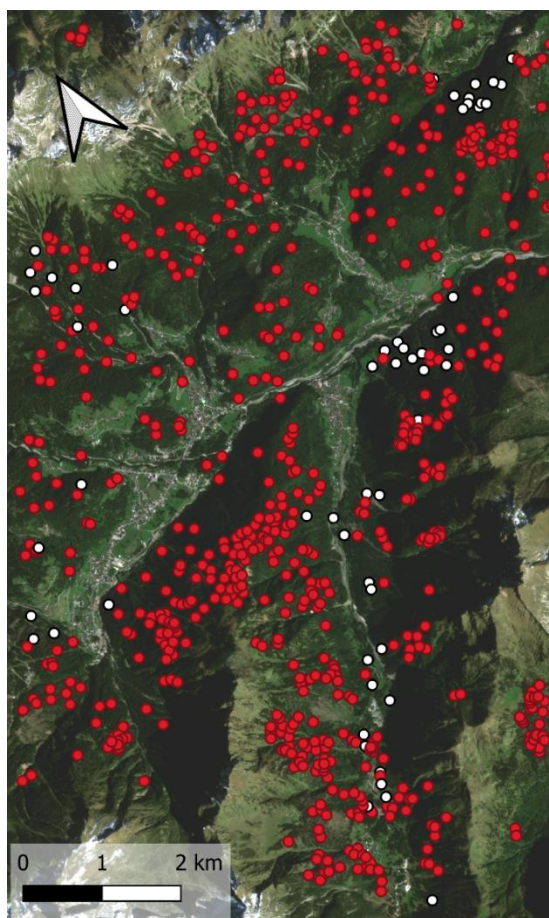


fig. 21: i punti in bianco rappresentano i nuclei rilevati con l'applicazione, mentre quelli in rosso rappresentano i centroidi dei poligoni rilevati dalla fotointerpretazione

4. DISCUSSIONE

Il rilievo del bostrico tipografo risulta fondamentale per lo sviluppo di strategie di gestione dei boschi, atte a minimizzare le perdite economiche e a mitigare danni ambientali ed ecologici; è necessario, però, svolgere questa attività su ampia scala affinché possa portare a risultati utili. Dai risultati ottenuti dalle diverse fasi dello studio condotto emerge la possibilità di effettuare un monitoraggio coprendo aree molto estese, ma allo stesso tempo viene resa nota la necessità dell'integrazione dei rilievi a terra con approccio partecipativo e del monitoraggio da remoto e ciò è dovuto ai pro ed ai contro di entrambi i metodi.

Dalla validazione dei rilievi in campo, si evince la validità dell'approccio partecipativo in quanto ha permesso di avere un buon numero di segnalazioni, distribuite anche su gran parte del territorio regionale interessato dal problema. Questo è dovuto proprio alla possibilità, per il personale coinvolto nei rilievi, di svolgere l'attività di monitoraggio utilizzando una tecnologia, quale lo smartphone, di uso quotidiano e accessibile che ultimamente ha guadagnato interesse e popolarità anche nella comunità delle scienze ambientali (Nowak et al., 2020). Questo permette, quindi, di disporre di un numero sempre maggiore di persone.

Dai rilievi in campo è possibile ottenere una serie di informazioni o un tipo di segnalazioni che i dati satellitari non sarebbero in grado di fornire: basti pensare allo stadio precoce di infestazione, ad esempio, il quale, per la caratteristica della chioma ancora verde che lo definisce, risulta quasi impossibile da distinguere osservando le immagini satellitari, anche ad alta risoluzione, mentre ad occhio nudo è possibile notare anche piccoli cambiamenti di colore o i fori di entrata sulla corteccia, così come la presenza di nuclei diffusi o l'infestazione anche di una singola pianta; questo è dovuto soprattutto alla possibilità di rilevare lo stadio da molto vicino, il che è favorito dalla presenza di strade. Inoltre, proprio grazie alla presenza di strade, il rilievo a terra permette molto spesso di fornire segnalazioni anche dall'interno del nucleo, mentre, come suggeriscono i risultati dello studio, esse rappresentano un problema per la rilevabilità tramite fotointerpretazione delle stesse segnalazioni: la spiegazione potrebbe essere attribuita al 'rumore' delle immagini satellitari causato proprio dalla vicinanza alle strade. La viabilità risulta, dunque, molto importante soprattutto per i rilievi a terra, in quanto i nuclei a breve distanza hanno una maggiore probabilità di essere individuati e segnalati; questo comporta spesso errori di interpretazione (Dickinson et al., 2010; Sicacha-Parada et al., 2021), in particolare delle dimensioni, che non trovano corrispondenza con quanto emerge dal satellite fornendo informazioni sbagliate; allo

stesso tempo, la mancanza di strade all'interno dei popolamenti forestali preclude i rilevamenti di nuclei più addentrati.

Dallo studio emergono aspetti positivi e negativi anche per quanto riguarda il 'remote sensing': a differenza dei rilievi a terra, esso offre la possibilità di coprire grandi aree in poco tempo; per contro, però, per poter effettuare un corretto lavoro di fotointerpretazione e/o elaborazioni a partire dalle immagini satellitari, si richiede che queste siano state acquisite in assenza di nuvole, il che non è sempre possibile; inoltre, come accennato, le immagini risentono della presenza di strade, così come risultano 'disturbate' anche in corrispondenza del margine del bosco. Tuttavia, nei casi di nuclei rilevati da terra, che riportano dimensioni sottostimate, i dati satellitari consentono una correzione di queste segnalazioni, come è avvenuto durante il confronto nella seconda area di studio (**fig. 22**).



fig. 22: in **A** è riportata la foto di un nucleo allegata alla relativa segnalazione; in **B** si può osservare la vera dimensione del nucleo visibile dall'immagine satellitare

Nell'esempio si riporta un confronto tra una segnalazione fornita tramite applicazione e l'immagine satellitare relativa alla stessa area, nota grazie alle informazioni aggiuntive richieste durante la compilazione del modulo di Survey123, ossia coordinate del punto, distanza e direzione. Dalla foto allegata alla segnalazione appare chiaro come la topografia in questo caso abbia portato ad un errore di interpretazione delle caratteristiche del nucleo, in particolare della dimensione; con il supporto del *remote sensing* è possibile apportare una correzione alla segnalazione.

Ciononostante, un problema che si riscontra nell'analisi delle immagini, relativamente alla dimensione dei nuclei, riguarda la mappatura dei nuclei diffusi: molto spesso, infatti, accade che le piante attaccate siano mescolate con altre specie rendendo più difficile il riconoscimento da satellite, soprattutto in alcuni periodi: ad esempio, se si manifestano attacchi diffusi di bostrico in una pecceta in cui vi sia la presenza di larice, risulta difficile la distinzione tra quest'ultimo ed un abete rosso allo stadio avanzato durante la stagione invernale; questo aspetto, unitamente alla discreta risoluzione delle immagini, rende spesso impossibile il rilevamento da remoto di nuclei piccoli o diffusi.

Certamente, fatta eccezione per i casi descritti di stadio precoce e dimensioni ridotte, il *remote sensing* rappresenta uno strumento di indiscussa utilità per il rilievo del bostrico.

5. CONCLUSIONI

Dallo studio si evince l'importante ruolo dell'approccio partecipativo nella raccolta dati che, come testimoniano i tanti progetti di 'Citizen science', possono essere di grande utilità nella ricerca scientifica. Inoltre, questo tipo di approccio può contribuire ad aumentare la sensibilità e la consapevolezza pubblica rispetto a problemi di salute delle piante (Bonney et al., 2016).

I risultati indicano che affidarsi ai soli rilievi in campo può essere rischioso, proprio perché richiedono molto tempo e presentano vari problemi, quali la stretta relazione con la presenza di strade, errori del personale nella descrizione dei nuclei, copertura di aree nettamente inferiori rispetto al *remote sensing*, etc. Allo stesso tempo, affidarsi al solo telerilevamento può portare informazioni incomplete, spesso quando i nuclei sono di piccole dimensioni o si formano in contesti ad alto disturbo come bordi di strade o bosco misto. Integrando i dati riportati da entrambe le tecniche di monitoraggio si possono ottenere risultati più completi che possano offrire una visione più corretta dell'attuale situazione fitosanitaria dei boschi, utile ad una pianificazione degli interventi di gestione, soprattutto in termini di prevenzione.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato svolto grazie ad un finanziamento della Regione del Veneto Servizio Fitosanitario-Progetto triennale di ricerca e sperimentazione finalizzato allo sviluppo di una strategia di gestione integrata del bostrico tipografo (*Ips typographus*) nella Regione del Veneto. Si ringrazia il Dott. Valerio Finozzi per la proficua collaborazione.

Ringrazio inoltre il Professor Andrea Battisti per avermi dato l'opportunità di seguire lo studio presentato e per la disponibilità dimostrata durante l'intero percorso.

Un ringraziamento va anche ai dottorandi Aurora Bozzini, Davide Nardi e Giuseppe Morgante per la disponibilità e l'aiuto fornito durante lo svolgimento della tesi.

BIBLIOGRAFIA

- Abdullah H., Skidmore A.K., Darvishzadeh R., Heurich M. (2019). Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8. *Remote Sens Ecol Conserv*, 5: 87-106. <https://doi.org/10.1002/rse2.93>;
- Annala E. (1969). Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). *Annales Zoologici Fennici*, 6, 161–208. <http://www.jstor.org/stable/23731366>;
- Bárta V., Hanuš J., Dobrovolný L., Homolová L. (2022). Comparison of field survey and remote sensing techniques for detection of bark beetle-infested trees. *Forest Ecology and Management* 506, 119984. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2021.119984>;
- Battisti A., De Battisti R., Faccoli M., Masutti L., Paolucci P., Stergulc F. (2013). *Lineamenti di zoologia forestale*. Padova University Press, Padova;
- Bonney R., Cooper C.B., Dickinson J., Kelling S., Phillips T., Rosenberg K.V., Shirk J., (2009). Citizen Science: A Developing Tool for Expanding Science Knowledge and Scientific Literacy. *BioScience* 59, 977–984. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9>;
- Bonney R., Phillips T. B., Ballard H. L., Enck J. W. (2016). Can citizen science enhance public understanding of science? *Public Understanding of Science*, 25, 2-16. <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>;
- Brooks E.B., Yang Z., Thomas V.A., Wynne R.H. (2017). Edyn: Dynamic Signaling of Changes to Forests Using Exponentially Weighted Moving Average Charts. *Forests* 9: 304. <https://doi.org/10.3390/f8090304>;
- Deganutti L., Faccoli M. (2022). Scolitidi e cambiamenti climatici. Una sfida globale per la gestione dei boschi di conifere. *SHERWOOD. FORESTE ED ALBERI OGGI*, 257: 20-22. <https://hdl.handle.net/11577/3498897>;

- Dickinson J.L., Zuckerberg B., Bonter D.N. (2010). Citizen Science as an Ecological Research Tool: Challenges and Benefits. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41, 149–172. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144636>;

- Esri. (2022). ArcGIS Survey123 General FAQ. <https://doc.arcgis.com/en/survey123/faq/faqgeneral.htm#anchor6>;

- Faccoli M., Finozzi V., Andriolo A., Bernardinelli I., Salvadori C., Deganutti L., Battisti A. (2022). Il bostrico tipografo sulle Alpi orientali. Evoluzione, gestione e prospettive future dopo Vaia. *SHERWOOD. FORESTE ED ALBERI OGGI*, 257: 23-26. handle: <http://hdl.handle.net/10449/73754>;

- Fernandez-Carrillo A., Patočka Z., Dobrovolný L., Franco-Nieto A., Revilla-Romero B. (2020). Monitoring bark beetle forest damage in Central Europe. A remote sensing approach validated with field data. *Remote Sensing* 12, 3634. <https://doi.org/10.3390/rs12213634>;

- Giannetti F. (2022). Early warning. Potenzialità e limiti del telerilevamento per il monitoraggio del bostrico in ambiente alpino. *SHERWOOD. FORESTE ED ALBERI OGGI*, 257: 27-28;

- Giannetti F., Pecchi M., Travaglini D., Francini S., D'Amico G., Vangi E., Coccozza C., Chirici G. (2021). Estimating VAIA Windstorm Damaged Forest Area in Italy Using Time Series Sentinel-2 Imagery and Continuous Change Detection Algorithms. *Forests* 12, 680. <https://doi.org/10.3390/f12060680>;

- Hennig S., Vogler R., Pánek J. (2023). Survey123 for ArcGIS Online. In: Burnett, C.M. (eds) *Evaluating Participatory Mapping Software*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19594-5_8;

- Lambert J., Drenou C., Denux J.P., Balent G., Cheret V. (2013). Monitoring forest decline through remote sensing time series analysis. *GIScience Remote Sens.* 50, 437-457. <https://doi.org/10.1080/15481603.2013.820070>;

- Marini L., Økland B., Jönsson A.M., Bentz B., Carroll A., Forster B., Grégoire J.-C., Hurling R., Nageleisen L.M., Netherer S., Ravn H.P., Weed A., Schroeder M. (2017). Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography*, 40: 1426-1435. <https://doi.org/10.1111/ecog.02769>;
- Nardi D., Jactel H., Pagot E., Samalens J., Marini L., (2022). Drought and stand susceptibility to attacks by the European spruce bark beetle: A remote sensing approach. *Agricultural and Forest Entomology*. <https://doi.org/10.1111/afe.12536>;
- Nowak M.M., Dziób K., Ludwisiak Ł., Chmiel J. (2020). Mobile GIS applications for environmental field surveys: A state of the art. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01089, ISSN 2351-9894. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01089>;
- Sicacha-Parada J., Steinsland I., Cretois B., Borgelt J. (2021). Accounting for spatial varying sampling effort due to accessibility in Citizen Science data: A case study of moose in Norway. *Spatial Statistics, Towards Spatial Data Science* 42, 100446. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2020.100446>;
- Vaglio Laurin G., Puletti N., Tattoni C., Ferrara C., Pirotti F. (2021). Estimated Biomass Loss Caused by the Vaia Windthrow in Northern Italy: Evaluation of Active and Passive Remote Sensing Options. *Remote Sensing* 13, no. 23: 4924. <https://doi.org/10.3390/rs13234924>;
- Zabihi K., Surovy P., Trubin A., Singh V.V., Jakuš R. (2021). A review of major factors influencing the accuracy of mapping green-attack stage of bark beetle infestations using satellite imagery: Prospects to avoid data redundancy. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 24, 100638. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2021.100638>;
- Zhu Z., Woodcock C.E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 144, 152-171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>;

SITOGRAFIA

<https://bur.regione.veneto.it/BurvServices/pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=481034;>

[https://idt2.regione.veneto.it/;](https://idt2.regione.veneto.it/)

<https://idt2.regione.veneto.it/idt/webgis/viewer?webgisId=204;>

[https://idt2.regione.veneto.it/portfolio/vaia-e-bostrico/;](https://idt2.regione.veneto.it/portfolio/vaia-e-bostrico/)

<https://www.esri.com/it-it/arcgis/products/arcgis-survey123/overview?rsource=https%3A%2F%2Fwww.esri.com%2Fit-it%2Farcgis%2Fproducts%2Fsurvey123%2Foverview;>

<https://www.regione.veneto.it/web/agricoltura-e-foreste/bostrico;>

https://www.regione.veneto.it/documents/10701/12279177/Linee_guida_regionali_di_difesa_dal_bostrico_sett2021.pdf/d73ea271-52ac-4e47-9641-d5d8ec82d8f1;

https://www.regione.veneto.it/documents/10701/13626556/Dgr_833_22_AllegatoA.pdf/7d2d99e1-a04b-4865-adba-b06b4926ed3a;

[https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/dove-3m/;](https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/dove-3m/)