



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali

Corso di laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

Studio della mortalità invernale di popolazioni nord-orientali di bostrico tipografo
(*Ips typographus*) nell'inverno 2024-25

Study of the winter mortality of northeastern populations of the spruce bark beetle
(*Ips typographus*) in the 2024-25 winter

Relatore

Prof. Massimo Faccoli

Laureando

Nicola Marchel

Matricola

2067539

Anno accademico 2024-2025

Sommario

Riassunto.....	4
Abstract.....	5
1. Introduzione.....	6
1.1 I coleotteri scolitidi.....	6
1.2 <i>Ips typographus</i> : tassonomia, morfologia e biologia.....	8
1.3 Fenologia e voltinismo di <i>Ips typographus</i> e influenza dei cambiamenti climatici.....	11
1.4 Sintomatologia dell'attacco su <i>Picea abies</i> e strategie di difesa della pianta.....	13
1.5 Infestazioni, pullulazioni e dannosità di <i>Ips typographus</i>	15
1.6 Pullulazioni di bostrico tipografo, il caso della tempesta Vaia.....	16
1.7 Antagonisti naturali di <i>Ips typographus</i>	18
1.8 Mortalità invernale di <i>Ips typographus</i>	19
1.9 Obiettivo dello studio.....	20
2. Materiali e metodi.....	21
2.1 Descrizione dell'area di studio.....	21
2.2 Scelta dei siti sperimentali.....	21
2.3 Campionamento in foresta.....	22
2.4 Conservazione dei campioni.....	25
2.5 Analisi dei campioni in laboratorio.....	25
2.6 Analisi dei dati raccolti.....	26
3. Risultati.....	29
3.1 Mortalità media fra stadi di sviluppo.....	29
3.2 Mortalità invernale per provincia.....	30
3.3 Andamento temporale della mortalità.....	32
3.4 Correlazione fra mortalità e quota.....	33
3.5 Fattori di mortalità.....	33
3.5.1 Beauveria Bassiana.....	33
3.5.2 Predatori e parassitoidi.....	35
4. Discussione.....	38
4.1 Mortalità media fra stadi di sviluppo.....	38
4.2 Mortalità invernale per provincia.....	39
4.3 Andamento temporale della mortalità.....	39
4.4 Correlazione fra mortalità e quota.....	40
4.5 Fattori di mortalità.....	41
4.5.1 Fattori di mortalità: <i>Beauveria bassiana</i>	41
4.5.2 Fattori di mortalità: predatori e parassitoidi.....	42

5. Conclusioni	43
6. Bibliografia	45

Riassunto

Il bostrico tipografo (*Ips typographus*) è un coleottero scolitide che si sviluppa a carico dell'abete rosso (*Picea abies*) in tutta Europa. Attacca generalmente, in fase endemica, piante vive ma deperenti o in condizioni di forte stress e piante morte da poco con la corteccia ancora fresca, nutrendosi del floema della pianta. In fase endemica lo scolitide svolge dei ruoli ecologicamente molto importanti perché elimina le piante più deboli, operando una selezione degli individui più adatti alla stagione di crescita. Per questa sua caratteristica il bostrico tipografo viene definito un parassita di debolezza.

Le popolazioni di bostrico tipografo possono tuttavia andare incontro a forti pullulazioni per via del cambiamento climatico, il quale sottopone un gran numero di piante a forti stress idrici e termici e aumenta la frequenza eventi climatici estremi che possono distruggere ampie porzioni di bosco rendendo improvvisamente disponibili allo scolitide una grande quantità di alberi colonizzabili. L'ultima grande pullulazione attualmente in fase di studio si è verificata sulle Alpi Orientali a seguito della tempesta Vaia che nel 2018 abbatté circa 16,5 milioni di metri cubi di legname. Tale pullulazione è stata favorita in seguito anche da schianti da neve avvenuti nell'inverno 2019-2020 e dalla siccità primaverile-estiva nel 2022.

L'innalzamento delle temperature a seguito dei cambiamenti climatici gioca quindi un ruolo fondamentale nel determinare l'entità dei danni causati dalle infestazioni di *Ips typographus* in quanto ne influenzano tempi di sviluppo, voltinismo e mortalità invernale. La mortalità invernale è uno dei più importanti fattori di regolazione della densità di popolazione, a causa di inverni sempre più miti riesce a sopravvivere una quota maggiore di insetti, a volte anche allo stadio larvale che è quello più sensibile alle basse temperature, influenzando la densità di attacco primaverile su *Picea abies*.

Questo studio ha voluto indagare la mortalità invernale di individui svernanti sotto corteccia nell'inverno 2024-2025 nelle regioni Friuli Venezia Giulia, Trentino Alto Adige e Veneto. In sintesi la mortalità invernale del bostrico è risultata pari al 33% per la provincia di Vicenza, 44% per la provincia di Belluno, 36% per la provincia di Udine, 40% per la provincia di Trento e 29% per la provincia di Bolzano.

Per quanto riguarda gli stadi di sviluppo la mortalità ha invece interessato il: 57,78% delle larve, il 58,33% delle pupe, il 26,05% degli adulti immaturi e il 35,69% degli adulti maturi.

Abstract

The spruce bark beetle (*Ips typographus*) is a bark beetle that infests Norway spruce (*Picea abies*) throughout Europe. During the endemic phase generally attacks living trees weakened or under severe water stress, as well as recently dead trees with fresh bark, feeding on the plant's phloem. In this phase, the beetle plays ecologically important roles by eliminating weakest trees, thereby selecting individuals better suited to the field conditions. However, *Ips typographus* can experience severe outbreaks due to climate change, which exposes a large number of trees to intense water and heat stress. Moreover the increased frequency of extreme weather events can destroy large forest areas, suddenly making vast amounts of suitable trees available to the beetle. The most recent major outbreak, currently under study, occurred in the Eastern Alps following the storm "Vaia" in 2018, which felled approximately 16.5 million cubic meters of timber. This outbreak was further fueled by snow damage during the winter of 2019–2020 and by the spring–summer drought in 2022.

The rise in temperatures due to climate change thus plays a key role in determining the extension of damage caused by *Ips typographus* infestations, affecting insect's development times, number of generations per year (voltinism), and winter mortality. Specifically, winter mortality is one of the most important factors regulating population density. Due to increasingly mild winters, a larger proportion of insects are able to survive — sometimes even in the larval stage, which is the most sensitive to low temperatures — thereby affecting the density of spring infestations on spruce.

This study aimed to investigate the winter mortality of insect overwintering under the spruce bark during the winter of 2024–2025 in the regions of Friuli Venezia Giulia, Trentino-Alto Adige, and Veneto. The results showed a mean mortality of 33% in the province of Vicenza, 44% in the province of Belluno, 36% in the province of Udine, 40% in the province of Trento and 29% in the province of Bolzano.

Regarding developmental stages, winter mortality affected different stages with different intensity: 57.78% for larvae, 58.33% for pupae, 26.05% for immature adults and 35.69% for mature adults.

1. Introduzione

1.1 I coleotteri scolitidi

I coleotteri scolitidi (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) sono una sottofamiglia della famiglia Curculionoidea. Fanno parte degli scolitidi circa 6500 specie appartenenti a 225 generi raggruppati a loro volta in 25 tribù (Wood & Bright, 1992).

La maggior parte delle specie appartenenti a questa sottofamiglia sono endemiche delle foreste equatoriali e pluviali ma circa 350 specie si trovano in Europa e Nord-Africa, di queste solo 150 circa sono presenti in Italia (Faccoli, 2015).

La maggior parte delle specie di scolitidi si nutrono di tessuti più o meno lignificati di latifoglie o conifere (Faccoli, 2015). Questi insetti attaccano piante in condizioni di stress o deperenti provocandone la morte. Dal punto di vista ecologico gli scolitidi sono dunque fondamentali per lo svolgimento di alcuni importanti processi negli ecosistemi forestali: avviano e accelerano la degradazione del legno rimettendo in circolo sostanze altrimenti poco biodisponibili, essi attaccano inoltre piante deperenti o sotto stress accelerandone il fine vita e selezionando gli individui, e di conseguenza i genotipi, più idonei alla stazione.

Le sostanze, soprattutto quelle azotate, rimesse in circolo dagli scolitidi sono alla base di molte catene alimentari; inoltre la loro attività di scavo crea microambienti favorevoli all'insediamento delle faune saproxiliche contribuendo all'aumento della biodiversità e quindi alla stabilità delle foreste.

Nonostante le numerose funzioni ecologicamente utili svolte dagli scolitidi alcune specie possono passare da una fase endemica ad una epidemica causando la distruzione di grandi superfici forestali. Questo passaggio avviene quando l'equilibrio fra popolazione del coleottero e ambiente si rompe e diventano improvvisamente disponibili per l'insetto grandi quantità di piante da attaccare. L'equilibrio solitamente viene meno a seguito di cambiamenti stagionali oppure climatici, ma anche per via di eventi atmosferici estremi. A seguito di una pullulazione gli scolitidi sono in grado di infestare anche piante sane provocandone la morte su ampie superfici. In questo scenario gli scolitidi provocano danni a livello economico ed idrogeologico.

I danni economici sono dovuti al deprezzamento del legname in quanto ne vengono alterate le qualità tecnologiche perché l'insetto vi scava gallerie oppure perché trasporta funghi simbiotici che lo degradano.

Le diverse specie di scolitidi sono morfologicamente molto simili fra loro. Gli adulti sono di piccole dimensioni (sempre inferiori al centimetro di lunghezza), il corpo ha forma cilindrica allungata ed è di colore scuro. Le larve sono anch'esse di piccole dimensioni, apode, di colore bianco e assumono una caratteristica forma a C. Per via di queste forti somiglianze morfologiche fra le diverse specie l'identificazione viene effettuata analizzando la forma dei sistemi riproduttivi e tenendo conto della specie della pianta ospite (Faccoli, 2015).

Dal punto di vista nutrizionale e quindi del tessuto ligneo attaccato si possono dividere gli scolitidi in 2 principali gruppi: corticicoli (o floematici) e xilomicetofagi.

Gli scolitidi floematici sono altamente specie-specifici e attaccano piante già in sofferenza per altri fattori oppure piante recentemente morte con floema ancora fresco. Gli adulti pionieri di queste specie praticano un foro nella corteccia e scavano una "camera nuziale" o "vestibolo" nel floema all'interno del quale avviene l'accoppiamento. Fra gli scolitidi floematici si distinguono specie monogame e poligame. Nelle specie monogame la femmina è pioniera e va a colonizzare la nuova pianta, in questo caso ogni maschio si accoppia quindi con una sola femmina e in ogni sistema riproduttivo vi è una sola galleria materna. Nelle specie poligame invece è il maschio a colonizzare per primo la pianta e a richiamare le femmine grazie al rilascio di feromoni, in questo caso ogni maschio si accoppia con più femmine e nel sistema riproduttivo si trovano quindi più gallerie materne. A seguito dell'accoppiamento le femmine scavano all'interno del floema una galleria materna, con diametro costante e libera da rosura, lungo la quale depongono le uova. Le larve si nutrono del floema scavando gallerie perpendicolari a quella materna, con sezione crescente e ingombre di escrementi e rosura. Una volta che si sono nutrite a sufficienza, le larve, scavano una cella pupale e si impupano per poi diventare adulte. Gli adulti neoschiusi hanno un esoscheletro molle e con colorazioni più chiare rispetto a quelle degli adulti maturi, per raggiungere la maturità sessuale hanno bisogno di alimentarsi. Nelle specie poligame gli adulti neoschiusi compiono una maturazione pre-sfarfallamento andando a consumare il floema che non è stato mangiato dagli stessi durante lo stadio larvale. In questa fase gli adulti di nuova formazione possono imbrattarsi con le spore di funghi con cui vivono in simbiosi. Al contrario le specie monogame compiono morsicature di maturazione post-sfarfallamento su germogli di piante vigorose indebolendole e preparando così il substrato per le generazioni future.

Le specie xilomicetofaghe al contrario si sviluppano più in profondità nel legno, dove però il substrato è meno nutritivo. Per ovviare a questo problema le femmine adulte hanno sul loro

esoscheletro spore di funghi simbiotici. Questi funghi si sviluppano sulle pareti della galleria scavata dalla femmina lungo la quale vengono deposte le uova. Le larve una volta uscite dalle uova si nutrono esclusivamente del micelio del fungo simbiotico. Alcune specie presentano i micangi, strutture apposite per il contenimento delle spore del simbiotico. Al termine dello sviluppo gli adulti neoformati sfarfallano percorrendo a ritroso le gallerie materne ed imbrattandosi con le spore del fungo simbiotico.

Sia gli scolitidi xilofagi che quelli floematici vivono in simbiosi con funghi che appartengono però a generi diversi. La simbiosi è detta primaria nel caso di specie xilomicetofaghe, perché le larve si nutrono esclusivamente del micelio fungino di funghi appartenenti ai generi *Ambrosia* e *Ambrosiella*. Questi 2 generi di funghi sono caratterizzati da bassa patogenicità e fungono quindi solo da nutrimento per lo scolitide senza aiutarlo a sopraffare la pianta.

Nelle specie floematiche invece la simbiosi avviene principalmente con funghi dei generi *Ophiostoma* e *Leptographium*. In questo caso le larve si nutrono del floema delle piante ricco di sostanze nutritive e la simbiosi effettuata col fungo non avviene perciò a scopo alimentare. I funghi appartenenti a questi generi infatti sono però patogeni per la pianta ed abbassandone le difese aiutano lo scolitide durante l'attacco (Battisti *et al.*, 2013).

1.2 *Ips typographus*: tassonomia, morfologia e biologia

La specie *Ips typographus* appartiene all'ordine dei coleotteri, alla famiglia dei curculionidi e alla sottofamiglia degli scolytinae (Faccoli, 2015).

Questo insetto, comunemente noto come bostrico tipografo o bostrico dell'abete rosso, è distribuito in Europa ed Asia dove si sviluppa su abete rosso (*Picea abies*).

L'insetto nello stadio di adulto ha una dimensione che varia dai 4 ai 5 millimetri ed è di forma cilindrica, il tegumento è di colore marrone più chiaro negli individui immaturi e più scuro in quelli maturi. Gli adulti presentano inoltre dimorfismo sessuale. Secondo uno studio effettuato da Schlyter e Cederholm nel 1981 il metodo più efficace per distinguere maschio e femmina di *Ips typographus* è quello di controllare la densità di setole sul pronoto (parte anteriore del corpo) utilizzando uno stereo microscopio. Queste setole vengono utilizzate dalle femmine per orientarsi sotto corteccia durante lo scavo della galleria principale in cui verranno deposte le uova. Il maschio presenta invece una minor densità di setole sul pronoto. Questo metodo permette di riconoscere il 94% degli individui vivi maneggiati con una precisione del 98,5%. Per ridurre ulteriormente le

possibilità di errore si può controllare, contemporaneamente alla densità di setole sulla parte posteriore del corpo, anche la dimensione del tubercolo frontale e quella della terza spina dell'elitra. Il tubercolo frontale ha dimensioni maggiori nei maschi mentre la terza spina dell'elitra di questi ultimi risulta più pronunciata ed appuntita anche se solo l'altezza media risulta significativamente diversa fra i 2 sessi. Nello studio si evidenzia però che la dimensione del tubercolo frontale e quella della terza spina elitrale da soli portano a compiere errori maggiori nella distinzione fra i 2 sessi rispetto alla densità delle setole sul pronoto.

Le larve di bostrico presentano una morfologia comune a gran parte degli scolitidi: queste sono apode, di colore bianco, lunghe pochi millimetri e con forma a "C" (Faccoli, 2015).

Il bostrico tipografo colonizza preferibilmente piante di abete rosso in peccete pure mature o stramature, in caso di grandi pullulazioni può però occasionalmente attaccare anche pini o larici (Annala, 1969). Questo scolitide è floematico e solitamente attacca piante vive ma molto deboli oppure piante morte recentemente e che possiedono perciò del floema ancora fresco. Per questo motivo l'insetto svolge dei ruoli ecologicamente molto importanti: seleziona le piante più adatte alla stazione di crescita, accelera il fine vita delle piante e avvia i processi di decomposizione. (Schebeck *et al.*, 2022). Le piante da attaccare vengono trovate dall'insetto perché queste emettono terpeni che lo attirano.

Il bostrico dell'abete rosso è una specie poligama e, pertanto, è il maschio a trovare la pianta da attaccare, a colonizzarla per primo e a scavare il vestibolo (Faccoli, 2015). I maschi all'interno della camera nuziale rilasciano dei ferormoni che oltre ad attirare femmine pronte ad accoppiarsi attirano anche altri maschi con l'intento di rendere la colonizzazione della pianta ospite più veloce ed efficace.

L'attacco di piante di abete rosso da parte del bostrico tipografo interessa tutto il fusto ad eccezione della parte più alta e di quella più bassa. La parte più alta del trono viene evitata dallo scolitide perché in quella zona la corteccia è troppo sottile e ciò potrebbe compromettere la sopravvivenza delle larve. La parte alla base del fusto al contrario presenta una corteccia troppo spessa che rende difficile la penetrazione da parte dell'insetto.

Le femmine dopo la fecondazione scavano una galleria longitudinale lunga fino a 15 cm che poi ripuliscono dalla rosura spingendola fuori dal foro di entrata creato dal maschio per entrare sotto corteccia e scavare il vestibolo. La rosura che esce dal foro di entrata è uno dei primi segnali di

attacco osservabili sulla pianta. Il bostrico tipografo crea sotto corteccia un sistema riproduttivo dove le gallerie materne sono il più parallele possibile all'asse del fusto e viene per questo definito longitudinale. A seconda del numero di femmine che il maschio feconda all'interno del vestibolo il sistema può essere doppio o triplo, in condizioni endemiche infatti ogni maschio si accoppia con 2-3 femmine che scavano ognuna la propria galleria materna. Nel caso di un sistema riproduttivo triplo questo assume una caratteristica forma ad "Y". Quando invece il sistema riproduttivo è doppio una femmina scaverà la sua galleria verso l'alto e l'altra andrà verso il basso; sotto corteccia il sistema avrà una lunghezza complessiva di circa 20 cm. Tuttavia in caso di forti pullulazioni a seguito di un evento che ha reso improvvisamente disponibile una grande quantità di materiale attaccabile, *I. typographus* può creare un sistema riproduttivo con una sola galleria materna. In questo caso una sola femmina scava una galleria verso l'alto e una verso il basso, sotto corteccia si osserva perciò un sistema riproduttivo simile a quello doppio ma più corto.

La femmina crea delle nicchie ovigere lungo tutto il bordo della galleria, all'interno di ognuna di queste viene deposto un uovo per un totale di circa 80-100 uova per femmina. Quando le uova si schiudono le larve scavano delle gallerie perpendicolari a quelle materne, lunghe 5-6 cm dal diametro crescente e ingombre di rosura.

Le gallerie larvali non si incrociano mai fra loro, perché avanzando sotto corteccia gli individui percepiscono le vibrazioni prodotte dalle altre larve durante la masticazione del floema e modificano quindi la loro direzione. Grazie a questo sistema le larve riescono ad orientarsi sotto corteccia e ad evitare di finire nelle gallerie di altri individui che sarebbero ingombre di rosura ma prive di sostanze nutritive da loro utilizzabili. Nel caso in cui sotto corteccia ci sia un'alta densità di individui e quindi una scarsa disponibilità di substrato, alcune femmine già fecondate interrompono l'ovideposizione per completarla all'interno di un'altra pianta dove scavano una galleria materna singola. Questo fenomeno viene definito riemersione, di solito si verifica dopo tre-quattro settimane dai voli della generazione principale e ne deriva una prole detta generazione sorella (Battisti *et al.*, 2013). Sulle Alpi si può osservare questo comportamento per entrambe le generazioni annuali di *I. typographus*.

Dopo essersi nutrita a sufficienza la larva crea una cella pupale e si impupa.

Una volta finita la metamorfosi gli individui neoformati rimangono sotto corteccia per nutrirsi del floema avanzato dalle larve, questo consente agli adulti di raggiungere la maturità sessuale. Raggiunta la maturità, gli adulti, praticano fori di sfarfallamento che utilizzano per uscire dalla

pianta alla ricerca di nuovi alberi da colonizzazione o, al termine della stagione favorevole, dove svernare.

Il ciclo di sviluppo di *Ips typographus* appena descritto dura mediamente 7-8 settimane, la durata varia in base soprattutto alla temperatura e quindi, di conseguenza, in base al clima e all'altitudine (Wermelinger *et al.*, 1998).

1.3 Fenologia e voltinismo di *Ips typographus* e influenza dei cambiamenti climatici

Voltinismo e fenologia del bostrico tipografo sono fortemente legati alla temperatura.

Alcuni recenti studi come quelli di Jönsson *et al.* (2007) e di Andrei & Ifrim (2021) evidenziano il legame che intercorre fra la fenologia del bostrico dell'abete rosso e l'andamento delle temperature del luogo in cui si trova. La temperatura influenza: la rapidità di sviluppo, la riproduzione e di conseguenza il numero di generazioni all'anno. La temperatura minima per far partire il volo primaverile e porre quindi fine alla diapausa invernale è di circa 16,5°C, tuttavia quella ottimale si aggira fra i 22°C e 26°C (Lobinger, 1994). Questo insetto diminuisce inoltre la sua attività di volo sopra ai 30°C (Lobinger, 1994).

Nei paesi dell'Europa centro-settentrionale, *I. typographus* compie solitamente una sola generazione all'anno, per via delle estati brevi (Anilla, 1969). L'insetto è monovoltino anche nella fascia alpina e subalpina (sopra i 1400-1500 metri di quota) del nostro Paese, dove la temperatura minima necessaria per far iniziare i voli primaverili viene raggiunta solitamente a fine maggio. In queste circostanze gli insetti adulti a fine ciclo svernano sotto corteccia. Dopo quattro settimane circa dall'inizio dei voli primaverili gli adulti svernanti hanno deposto le uova della prima generazione, questi possono, in caso di forti infestazioni, abbandonare le piante già colpite e finire l'ovideposizione su altri alberi. Quando questo fenomeno avviene si ha quella che viene chiamata "generazione sorella", la quale si sviluppa parallelamente alla generazione principale e, perciò, alla fine dell'estate tutti gli insetti sverneranno come adulti maturi.

Nella fascia montana (dai 1000 ai 1500 metri di quota) invece l'insetto inizia prima i voli primaverili e diviene quindi bivoltino. Anche in questo caso se le piante hanno alte densità di individui a qualsiasi stadio sotto corteccia possono verificarsi delle generazioni sorelle, una per ogni generazione principale. In questa fascia altimetrica gli individui della seconda generazione svernano come adulti maturi sotto corteccia. Al contrario gli individui che fanno parte della

seconda generazione sorella non sono in grado di portare a termine lo sviluppo prima dell'autunno e svernano quindi allo stadio larvale, di pupa o di adulto immaturo sempre sotto corteccia.

Al di sotto dei 1000 metri di quota vi è un'ulteriore anticipazione dell'attività di volo e l'insetto può quindi iniziare ancora prima il suo ciclo ma le elevate temperature estive riducono la sua attività di volo durante i giorni più caldi. In queste circostanze il bostrico dell'abete rosso riesce a concludere la seconda generazione nel mese di agosto e ad iniziarne una terza che però non si sviluppa completamente per via della comparsa tardiva ed è quindi costretta a svernare sotto corteccia allo stadio larvale. Il verificarsi di 3 generazioni in un anno con la possibilità di avere altrettante generazioni sorelle causa nelle piante di abete rosso infestate uno stato di attacco prolungato e continuo, compromettendole gravemente.

Mentre l'inizio dei voli primaverili dipende soltanto dalla temperatura l'entrata in diapausa invernale dipende anche dal fotoperiodo. La diapausa è indotta negli individui di *I. typographus* sotto le 16 ore di luce (Doležal *et al.*, 2007), l'esposizione degli insetti adulti non in diapausa ad una temperatura di 5°C o inferiore per diversi giorni blocca l'alimentazione e causa nell'animale uno stato simile alla diapausa (Doležal *et al.*, 2007).

Il ciclo biologico del bostrico tipografo sopra descritto si sta modificando a seguito dei cambiamenti climatici, in particolare l'insetto inizia prima i voli primaverili e ciò consente in alcuni casi di aumentare il numero di generazioni svolte in un anno e/o di avere individui che svernano in stadi diversi da quello tipico per quella generazione a quella quota. Ciò è di particolare importanza per la salute delle peccete in quanto l'aumento di generazioni svolte in un anno porta ad attacchi ripetuti all'interno dello stesso bosco e perché quando gli individui svernano da adulti invece di farlo allo stadio larvale la mortalità invernale è sensibilmente inferiore. Primavera ed estati più calde inoltre riducono i tempi di sviluppo dell'insetto. Questi mutamenti nel ciclo biologico di *I. typographus* vengono evidenziati in una pubblicazione di Faccoli (2009), lo studio riguarda il periodo che va dal 1996 al 2005 di popolazioni dell'insetto nelle Alpi sud-orientali. Lo studio ha rilevato che il volo primaverile della generazione svernante negli anni esaminati è stato anticipato da inizio giugno a inizio maggio. Risulta essersi anticipato anche lo sfarfallamento della prima generazione, che negli anni si è spostato da metà luglio agli ultimi 10 giorni di giugno.

Il periodo in cui inizia la seconda generazione, quando questa avviene, è fondamentale per quanto riguarda la mortalità invernale delle popolazioni di bostrico tipografo: se lo sviluppo degli individui termina entro la fine dell'estate questi sverneranno come adulti, altrimenti lo faranno come larve

o pupe che sono meno resistenti alle basse temperature e di conseguenza soggette a mortalità più elevate. Nello studio condotto da Faccoli (2009) è stata riscontrata la tendenza dello scolitide, nelle alpi orientali, ad anticipare la prima, ed eventualmente, la seconda generazione. Tuttavia durante tutti gli anni di studio non si è verificata la comparsa di una terza generazione.

Il cambiamento climatico, oltre a favorire il bostrico tipografo come sopra descritto ha anche un effetto negativo sulle piante ospiti, ciò gioca a favore dello scolitide che, come già detto, attacca preferibilmente piante deboli. Gli effetti dei cambiamenti climatici come temperature più elevate, periodi siccitosi più frequenti, intensi e prolungati ed eventi meteorici estremi indeboliscono le peccete rendendole ancora più suscettibili agli attacchi.

Gli effetti negativi dei cambiamenti climatici sulle peccete ed il conseguente aumento della gravità e del numero di attacchi ad esse da parte di *I. typographus* è stato indagato anche in uno studio condotto da Marini *et al.* (2012). Nello studio la presenza di estati secche combinate con le alte temperature sono risultate essere i principali fattori abiotici scatenanti l'aumento della gravità delle epidemie. Lo studio evidenzia anche che: il danno forestale per ettaro è stato in media 7 volte più elevato laddove l'abete rosso è stato piantato in siti più caldi rispetto a quelli all'interno del suo areale climatico storico. Inoltre le estati secche, ma non la temperatura, nello studio sono state correlate positivamente con l'innalzamento di quota delle infestazioni.

1.4 Sintomatologia dell'attacco su *Picea abies* e strategie di difesa della pianta

La sintomatologia dell'attacco da *Ips typographus* sulle piante di abete rosso è diversa a seconda del periodo in cui questo avviene. Nel caso di popolazioni monovoltine gli attacchi saranno ovviamente solo primaverili, al contrario popolazioni bivoltine compiono attacchi sia primaverili (precoci) che estivi (tardivi).

Quando si verificano attacchi primaverili la pianta è asintomatica solamente in una breve fase iniziale nella quale il tessuto floematico presente è ancora sufficiente a svolgere le funzioni vitali dell'albero attaccato. Questo stato di asintomaticità iniziale evolverà poi, nel giro di qualche settimana, andando ad operare un'alterazione cromatica della chioma degli abeti che passerà da un colore verde sempre meno intenso a uno rossastro (Andreatta, 2023). Ciò è dovuto al totale disseccamento della chioma la cui attività vitale non è più sostenuta dal floema ormai completamente distrutto. Parallelamente all'arrossarsi della chioma inizia anche la caduta di aghi ancora verdi (Andreatta, 2023), questo provoca la comparsa, all'interno della parte di pecceta

colpita, di tappeti verdi di aghi caduti. Oltre a ciò nelle prime fasi dell'attacco è possibile osservare sui fusti delle piante colpite della rosura rossastra al di fuori dei fori d'entrata scavati dai maschi pionieri per entrare nella pianta ed iniziare la colonizzazione con la costruzione del vestibolo. Negli stadi finali dell'attacco quando il floema è ormai completamente compromesso la corteccia si stacca dal fusto in grosse placche. In questa fase osservando la parte interna della corteccia è possibile notare i sistemi riproduttivi con la forma tipica creata dal bostrico tipografo oppure che il floema è stato completamente distrutto dall'azione combinata delle larve e degli adulti immaturi.

Quando l'attacco avviene a fine estate questo risulta più difficile da individuare perché i sintomi normalmente osservabili anche a distanza in questo caso non sono visibili. Siccome la pianta ha già bloccato l'attività di trasporto linfatico per prepararsi all'inverno il disseccamento della chioma si verificherà soltanto in primavera quando gli aghi necessiteranno della linfa per sopravvivere ma questa non arriverà in quanto il floema è stato distrutto ancora durante l'autunno precedente. In questo caso è ancora più importante l'analisi fatta sul campo perché sono comunque presenti sintomi come: il distacco della corteccia, la presenza di rosura all'esterno dei fori d'entrata e dei sistemi riproduttivi dell'insetto sotto corteccia che aiutano l'identificazione del nucleo attaccato.

Quando l'attacco è ormai concluso e i neo-adulti sono già sfarfallati, si nota sulle piante attaccate una grandissima quantità di fori di sfarfallamento.

I. typographus colpisce preferibilmente piante dalla salute già compromessa e che non riescono perciò ad adottare i giusti meccanismi di difesa per combatterlo. Le piante sane infatti contrastano l'attacco dello scolitide utilizzando 3 diverse strategie di difesa studiate da Rohde *et al.* (1996), Baier *et al.* (2002). La prima strategia di difesa adottata dalla pianta è detta "resistenza primaria" oppure "difesa costituzionale" e consiste nella produzione di resina nella zona dove i maschi pionieri creano i fori d'entrata per compiere la colonizzazione (Paine *et al.*, 1997). Ciò funge da barriera fisica per l'ingresso di nuovi insetti ed intrappola quelli che stavano praticando il foro soffocandoli. Qualora gli individui di bostrico tipografo che stanno attaccando la pianta riuscissero a baipassare questa prima strategia di difesa si attiva nell'albero quella che viene definita "resistenza indotta" la quale consiste nella produzione di composti chimici difensivi come la procianidina. La procianidina altera la qualità nutritiva del floema compromettendo perciò lo sviluppo di una futura covata (Rohde *et al.*, 1996). La terza tipologia di difesa adottata consiste in un cambiamento totale del metabolismo della pianta attaccata che aumenta la produzione di

proteine a discapito di quella dei carboidrati. Questo processo rende disponibile una minor quantità di cibo per gli scolitidi e allo stesso tempo aumenta la concentrazione delle sostanze di difesa all'interno dell'albero attaccato. Viene pertanto ostacolato l'insediamento di altre covate (Lieutier, 2002; Wermelinger, 2004). Quest'ultimo meccanismo di difesa è associato alla reazione ad una ferita e si formano pertanto nuovi tessuti peridermici e nuovi dotti resinosi (Wermelinger, 2004).

1.5 Infestazioni, pullulazioni e dannosità di *Ips typographus*

In generale i danni indotti da scolitidi che comportano la comparsa dei sintomi sulla pianta sono dovuti per la maggior parte all'attività di nutrizione delle larve (Paine *et al.*, 1997; Lieutier *et al.*, 2009) e soltanto in parte a quella operata dagli insetti maturi durante la colonizzazione e riproduzione sotto corteccia. Il danno grave causato dagli adulti è invece dovuto al fatto che questi trasportano funghi simbionti che infettano la pianta abbassandone le difese (Paine *et al.*, 1997; Lieutier *et al.*, 2009). I funghi che più spesso instaurano un rapporto di simbiosi con *Ips typographus* appartengono ai generi *Ophiostoma* e *Ceratocystis* (Paine *et al.*, 1997; Lieutier, 2002).

In condizioni endemiche il bostrico tipografo è in equilibrio nell'ecosistema forestale e svolge delle funzioni fondamentali al suo interno. Opera una selezione rimuovendo dall'ecosistema le piante deboli e deperenti favorendo i genotipi più adatti alla stazione di crescita, ciò si traduce in uno stimolo all'evoluzione del soprassuolo e all'incremento della biodiversità (Salvadori, 2022). Lo stimolo all'incremento della biodiversità avviene perché *Ips typographus* contribuisce positivamente alla creazione di nicchie ecologiche che consentono lo sviluppo di organismi saproxilici. Questo avvia e velocizza i processi di degradazione del legno e vengono così rimesse in circolo sostanze che altrimenti sarebbero poco disponibili (Faccoli, 2015). Tuttavia *I. typographus* può, a seguito di determinati eventi, passare da una fase endemica positiva per gli ecosistemi ad una epidemica che ha su di questi effetti devastanti.

Le pullulazioni di bostrico dell'abete rosso sono favorite da eventi come: stress idrico del popolamento, schianti da neve o da vento. Importanti pullulazioni si verificano quando viene abbattuta una grande quantità di piante a seguito di eventi atmosferici estremi sempre più frequenti per via dei cambiamenti climatici. Questo si verifica perché a seguito dello schianto di ampie superfici di bosco l'insetto trova improvvisamente disponibile una grande quantità di corteccia fresca, da utilizzare a fini trofici e riproduttivi, di piante che non possono attuare dei meccanismi di difesa perché morte o morenti.

Proprio come gli eventi atmosferici estremi anche le condizioni atmosferiche che provocano uno stress idrico nella pianta si verificano sempre più frequentemente a seguito dei cambiamenti climatici, questo sfavorisce indubbiamente l'abete rosso. Al contrario un generale innalzamento della temperatura favorisce lo sviluppo di *I. typographus* perché né modifica la fenologia aumentando il numero di generazioni all'anno, anticipando i voli primaverili, riducendone la mortalità invernale e velocizzando il ciclo di sviluppo (Faccoli, 2009; Marini *et al.*, 2012). La sofferenza dell'abete rosso a seguito di un lungo periodo di siccità favorisce le pullulazioni di bostrico tipografo (Faccoli, 2009). Pertanto i popolamenti di abete rosso, soprattutto se situati a bassa quota, sono sempre più suscettibili a subire attacchi da parte del bostrico tipografo (Marini *et al.*, 2012)

Solitamente le pullulazioni di bostrico tipografo rientrano spontaneamente dopo 5-7 anni in media (Salvadori, 2022).

1.6 Pullulazioni di bostrico tipografo, il caso della tempesta Vaia

Tra sabato 27 e martedì 30 ottobre 2018 l'Italia è stata interessata dagli effetti di una profonda depressione denominata "Vaia" che, soprattutto lunedì 29, ha determinato violentissime raffiche di scirocco e piogge alluvionali soprattutto sulle Alpi orientali. Tra il mattino e il pomeriggio di lunedì 29 ottobre le potenti raffiche di vento meridionale si sono combinate con rinforzi e turbolenze locali in corrispondenza dei rilievi, raggiungendo punte di oltre 200 km/h (Chirici *et al.*, 2019).

Si stima che la tempesta Vaia abbia interessato 494 Comuni e un territorio complessivo di 2.306.968 ha. Si tratta di un'area con una dominante copertura del suolo a bosco, in particolare peccete, piceo-abieteti e piceo-abieto-faggeti (Chirici *et al.*, 2019). L'area dove ci sono stati danni al bosco è pari a 42.525 ettari (Figura 1), per un totale di circa 16.5 milioni di m³ di legname schiantato. Le Regioni maggiormente interessate dai danni alle foreste della tempesta Vaia sono il Trentino Alto Adige e il Veneto, seguiti da Lombardia, Friuli Venezia Giulia e, marginalmente, Piemonte e Valle d'Aosta (Chirici *et al.*, 2019).

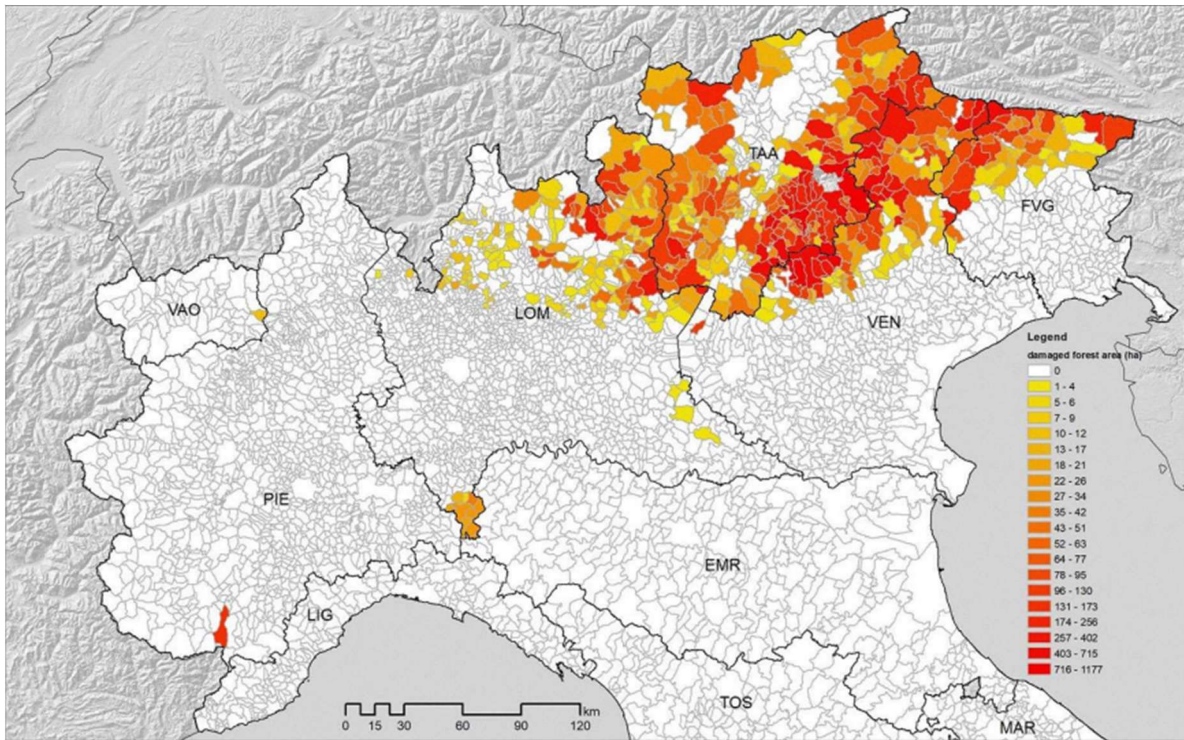


Figura 1 Superficie forestale distrutta dalla tempesta Vaia per Comune (Chirici et al., 2019)

A seguito di questa grande quantità di alberi morti disponibili per il suo sviluppo si è verificata una rapida crescita delle popolazioni di bostrico tipografo. Lo scolitide ha inizialmente attaccato le piante danneggiate da Vaia per poi infestare anche alberi sani. *I. typographus* è quindi passato da una fase endemica ad una epidemica a seguito della rottura dell'equilibrio ospite-parassita causata dalla tempesta Vaia.

Nei due anni immediatamente successivi a Vaia la densità del bostrico è stata da bassa a media, con catture pari o poco superiori al valore soglia di 8.000-10.000 dove la maggior parte della popolazione si trovava nei fusti abbattuti, che in molti casi avevano conservato floema fresco. Nel 2021 c'è stato un incremento sia nelle catture sia nelle piante in piedi colpite, mentre nel 2022 è stato osservato un aumento vertiginoso delle catture e degli attacchi in tutte le aree (Battisti, 2023).

In quasi tutte le aree l'andamento stagionale delle catture mostra almeno tre principali picchi di cattura. Il primo, a inizio maggio, è costituito dalla ripresa primaverile dei voli degli insetti svernanti che avviano la prima generazione; il secondo, dopo circa un mese, rappresenta la comparsa di una generazione sorella, ovvero di insetti dello stesso gruppo alla ricerca di nuovi alberi da colonizzare; il terzo, a inizio luglio, indica la fine della prima generazione e l'avvio della

seconda che si svilupperà di seguito e produrrà nuovi individui destinati a svernare. Questo schema generale di sviluppo, normalmente osservabile alle quote medio-basse, è apparso comune fino al limite superiore del bosco nel 2022, a seguito dell'estate calda e asciutta (Battisti, 2023).

La situazione climatica è sempre più sfavorevole all'abete rosso e le popolazioni di *Ips typographus* sembrano quindi pronte a beneficiarne. L'esito dipenderà in modo diretto dalla coincidenza di temperature elevate e piovosità ridotte nelle stagioni estive dei prossimi anni, che potranno influire negativamente sulle difese naturali degli alberi; è altrettanto prevedibile che il collasso delle popolazioni di scolitidi seguirà gli attacchi, per lo stabilirsi di vari meccanismi di regolazione densità-dipendenti (Marini *et al.*, 2017; Battisti, 2023).

1.7 Antagonisti naturali di *Ips typographus*

Il bostrico tipografo avvia diverse catene alimentari sia verso i vertebrati (pipistrelli e uccelli come cince e picchi) che verso gli invertebrati. Fra gli invertebrati predatori di bostrico tipografo troviamo coleotteri predatori della famiglia Cleridae, ditteri della famiglia Dolichopodidae, imenotteri parassitoidi delle famiglie Pteromalidae, Braconidae (Weslien & Schroeder, 1999; Wermelinger, 2002). Fra questi i più rilevanti sono il coleottero *Thanasimus formicarius* (L.) e la famiglia di vespe Dolichopodidae. In particolare *T. formicarius* è predatore sia da larva che da adulto sul bostrico tipografo.

Questi predatori trovano le prede attraverso stimoli ottici, vibranti, termici, tattili e olfattivi (Wermelinger, 2004). La numerosità delle popolazioni di questi predatori è influenzata principalmente da 2 fattori: la presenza di prede e la gestione del soprassuolo. I predatori arrivano sulla pianta dopo che questa è stata infestata da *I. typographus* e vi permangono anche dopo che lo scolitide se n'è andato (Weslein e Ragnander, 1992). Rimuovendo gli alberi dopo che il bostrico tipografo se n'è andato ma prima che se ne vadano i suoi nemici naturali si favorisce lo scolitide perché i suoi antagonisti vengono allontanati dall'ecosistema. L'efficacia dei nemici naturali del bostrico tipografo nel contenere la sua popolazione viene ridotta anche dalle basse temperature invernali (Faccoli, 2002).

Anche alcuni funghi entomopatogeni come *Beauveria bassiana* possono provocare la morte del bostrico tipografo infettandolo.

1.8 Mortalità invernale di *Ips typographus*

Un altro importante fattore di controllo delle popolazioni di bostrico tipografo è la mortalità invernale (Košťál *et al.*, 2011), uno studio condotto da Faccoli (2002) sulle alpi orientali nell'inverno 1997-1998 mostra infatti come da novembre ad aprile il numero di individui sotto corteccia sia diminuito del 49%, la maggior parte di questi apparteneva a stadi preimaginali.

Dalla fascia climatica o dall'altitudine dipende il numero di generazioni che *I. typographus* riesce a compiere durante la stagione favorevole e di conseguenza anche lo stadio in cui si ritrova ad affrontare l'inverno (Wermelinger and Seifert, 1999).

La mortalità invernale è causata principalmente dal clima rigido e dal basso contenuto di grasso nell'organismo, il quale è necessario agli insetti per affrontare l'inverno (Maslov and Matusевич, 1990).

Uno studio effettuato da Košťál *et al.* (2011) su due popolazioni di bostrico tipografo in Repubblica Ceca ha confrontato 2 inverni (2008-2009 e 2009-2010). Da questo studio si possono ricavare alcune risposte utili per capire quale sia la strategia adottata dallo scolitide per resistere al freddo. Secondo Košťál *et al.* (2011) *I. typographus* adotta una strategia detta supercooling per affrontare le basse temperature. Il supercooling consiste nell'avere un'alta concentrazione di zuccheri e all'interno dei fluidi corporei così che questi congelino a temperature inferiori rispetto al punto di congelamento naturale. Altri studi (Annala, 1969) affermano che questa specie di insetto sia parzialmente resistente al congelamento. Il campionamento di alcuni insetti mostra come la capacità di *I. typographus* di sopravvivere alle basse temperature grazie al supercooling aumenti negli individui man mano che si avvicina l'inverno per poi diminuire nuovamente in primavera (Košťál *et al.*, 2011). In particolare nello studio di Košťál *et al.* (2011) si è visto che il punto di congelamento dei fluidi corporei dei tipografi a fine estate era di -12°C circa, questo in inverno era invece compreso fra i -20°C e i -22°C. Lo stesso in primavera era compreso solo fra -6°C e -9°C.

In Nord Europa sono stati osservati individui di bostrico tipografo svernare all'interno di alberi caduti a terra o nella lettiera coperti dalla neve che funge da isolante termico (Botterweg, 1982) ciò permette loro di resistere a temperature di -30°C (Annala, 1969). In generale, per quanto riguarda la mortalità dovuta alle basse temperature, si è visto che questa è maggiore a temperature di circa 5°C (Košťál *et al.*, 2011). Al contrario a temperature di -5/-10°C la mortalità è inferiore per via di un maggior rallentamento del metabolismo associato ad un minor consumo energie (Košťál *et al.*, 2011).

Oltre alle basse temperature, che sono letali principalmente negli stadi preimaginali (Faccoli, 2002), la mortalità invernale è dovuta anche ad altri fattori come la proliferazione di patogeni o parassiti all'interno delle gallerie; ad esempio *Beauveria bassiana*, come detto in precedenza, può causare la morte del bostrico tipografo. *B. bassiana* è fungo ascomicete che ricopre gli insetti attaccati con un micelio biancastro. Il rischio di infezioni fungine durante l'inverno è tuttavia minimo se le cortecce in cui sverna l'insetto sono asciutte.

1.9 Obiettivo dello studio

L'obiettivo principale dello studio è stato quello di indagare mortalità invernale di *Ips typographus* distinguendo fra i vari stadi di sviluppo e fra le diverse quote delle aree campionate. L'ipotesi è che la mortalità sia più alta per gli individui che si trovano allo stadio di larva o di pupa e che questa aumenti all'aumentare della quota. Lo studio prende in considerazione le popolazioni dell'Italia Nord-orientale nell'inverno 2024-2025.

Durante l'analisi dei campioni in laboratorio si sono raccolti anche dati riguardanti la mortalità indotta a causa di *Beauveria bassiana* e di parassitoidi. Si è anche indagato riguardo a una possibile correlazione fra numero di morti e numero predatori appartenenti alla famiglia Lonchaeidae.

2. Materiali e metodi

2.1 Descrizione dell'area di studio

L'area oggetto di studio è quella delle Alpi orientali delle regioni: Friuli-Venezia-Giulia, Trentino Alto-Adige e Veneto. Le provincie coinvolte dallo studio sono state: Udine, Bolzano, Trento, Belluno e Vicenza.

Essendo l'area di studio molto ampia le sue caratteristiche pedologiche risultano differenti a seconda del sito considerato. La parte meridionale dell'area è caratterizzata dalla presenza di rocce metamorfiche, quella delle Alpi Carniche dalla presenza di rocce sedimentarie e porfiriche in Alto-Adige. Sull'altopiano di Asiago (Prealpi Vicentine) sono invece presenti rocce di tipo carbonatico. In generale nell'area oggetto di studio la composizione litologica può essere sia acidofila (prevalentemente basaltica) che basofila (in questo caso prevalentemente dolomitica).

Anche il tipo di vegetazione è molto diverso per via dell'ampiezza dell'area ma soprattutto perché questa è in prevalenza montuosa. Ne consegue un variare del tipo di vegetazione al variare della quota e di conseguenza delle condizioni climatiche. In generale alle quote più alte la vegetazione forestale è dominata da specie come: larice comune (*Larix decidua* Mill.), pino cembro (*Pinus cembra* L.), pino mugo (*Pinus mugo* Turra) e ontano verde (*Alnus alnobetula* (Ehrh.) K.Koch). In zone prevalentemente montane (zone mesalpine) prevale sicuramente l'abete rosso, ma è presente anche abete bianco (*Abies alba* Mill.) e faggio (*Fagus sylvatica* L.). Il faggio alle quote più alte forma vegetazioni miste con abete bianco e rosso mentre a quelle inferiori forma faggete pure. A queste quote intermedie è frequente trovare boschi dominati dal pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) che si formano su substrati carbonatici molto pendenti e poco sviluppati, dove quindi la disponibilità di acqua è scarsa. A quote inferiori ai 1000 metri s.l.m. troviamo ancora il faggio questa volta associato ad altre latifoglie termofile come carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.) e orniello (*Fraxinus ornus* L.). In queste zone è possibile trovare ancora l'abete rosso che però, essendo fuori dal suo naturale areale di diffusione, si trova solitamente in peccete di origine antropica.

2.2 Scelta dei siti sperimentali

I 24 siti di campionamento sono stati distribuiti uniformemente all'interno dell'area di studio in modo da ottenere dei campioni che potessero essere rappresentativi della mortalità invernale della zona studiata.

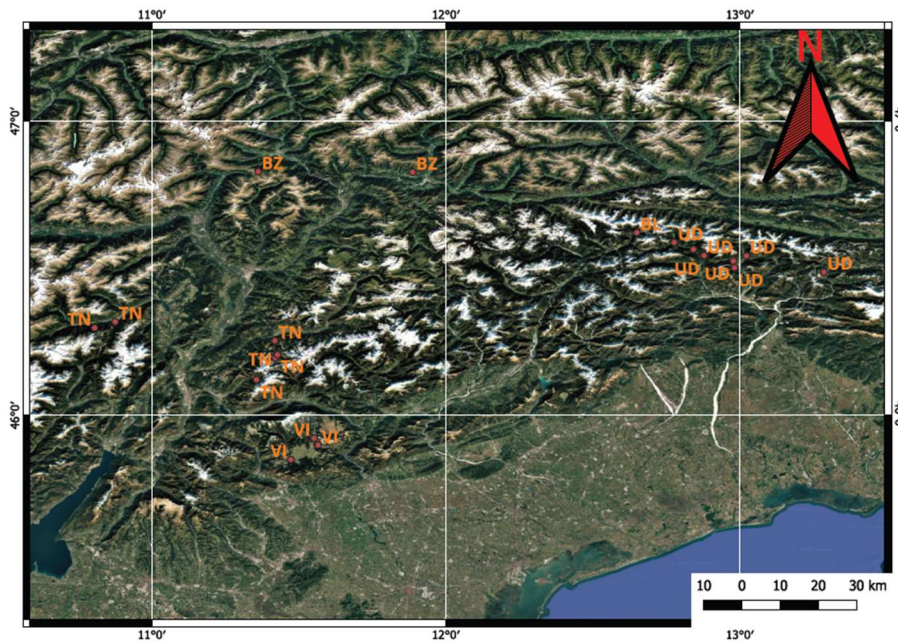


Figura 2 Localizzazione dei siti di campionamento

I siti di campionamento sono stati scelti anche attraverso l'aiuto dei servizi forestali locali e di esperti del settore. Grazie a queste figure è stato possibile trovare alberi infestati dalla generazione svernante. L'identificazione di queste piante viene effettuata cercando dei gruppi di alberi con chioma non più di colore verde scuro ma di un verde giallastro o arrossata e con una densità di aghi minore del normale. Sono questi i sintomi caratteristici di un attacco tardivo e non concluso perché gli insetti sono entrati in diapausa invernale.

2.3 Campionamento in foresta

I campionamenti sono stati eseguiti alla fine della stagione invernale e prima che la generazione svernante uscisse dalla diapausa per iniziare i voli primaverili in un periodo compreso dal 31 gennaio 2025 al 18 di marzo 2025 (in tabella 2 sono riportate le date in cui sono stati eseguiti i campionamenti in ogni sito). Ciò è fondamentale per intercettare tutta la popolazione svernante.

All'interno di ogni sito di campionamento sono stati campionati almeno 3 alberi infestati. Sono stati campionati in totale 91 alberi da cui sono stati estratti 176 campioni di corteccia.

Tabella 1 Date in cui sono stati eseguiti i campionamenti nei vari siti e loro coordinate geografiche. Numero di alberi campionati per ogni sito.

Provincia	Sito	data campionamento	Latitudine	Longitudine	alberi campionati
Belluno	Val Visdende	30/01/2025	46,621391	12,649508	10
Bolzano	Pfalzen	28/02/2025	46,826833	11,886972	1
Bolzano	Stefansdort	04/03/2025	46,828300	11,361700	3
Trento	Marileva	04/02/2025	46,195667	11,419768	4
Trento	Scandarecia	04/02/2025	46,208819	11,425914	4
Trento	Fosinace	04/02/2025	46,253670	11,418540	3
Trento	Valcava	28/02/2025	46,253670	11,418540	7
Trento	Filzeri	28/02/2025	46,318181	10,875589	4
Trento	Molina di Fiemme s. 4	18/03/2025	46,115476	11,331819	3
Trento	Molina di Fiemme s. 2	18/03/2025	46,121396	11,355861	2
Trento	Molina di Fiemme s. 1	18/03/2025	46,205889	11,427306	2
Trento	Molina di Fiemme s. 3	18/03/2025	46,297472	10,805833	2
Udine	Forni Avoltri	13/02/2025	46,486900	13,285490	3
Udine	Claupa	13/02/2025	46,502150	12,981670	3
Udine	Ponte Lans	13/02/2025	46,524390	12,977800	6
Udine	Saustri	21/02/2025	46,540990	12,870570	3
Udine	Tualis A	13/02/2025	46,541380	12,875550	2
Udine	Cercivento	21/02/2025	46,542070	13,021900	3
Udine	Maina das Milis	21/02/2025	46,543350	12,877940	3
Udine	Tualis B	13/02/2025	46,564410	12,841900	2
Udine	Slenza	13/01/2025	46,588010	12,776500	4
Vicenza	Boscon Picnic	31/01/2025	45,849796	11,472567	11
Vicenza	Melette di Gallio	31/01/2025	45,898750	11,565389	4
Vicenza	Foza-Gallio strada	31/01/2025	45,922111	11,551944	2



Figura 3 Estrattore metallico

Una volta individuato un nucleo di piante contenenti individui svernanti di bostrico tipografo si è proceduto ad estrarre una porzione di corteccia con un estrattore metallico (figura 3) costruito appositamente per questo tipo di lavoro. Con l'estrattore si riesce a prelevare un campione di corteccia circolare di diametro 13 centimetri. L'estrattore viene colpito dall'operatore con un martello per farlo penetrare nella corteccia. L'operazione risulta più facile quando l'infestazione è già in uno stadio avanzato e quindi il floema della pianta in quel punto è già stato degradato dal parassita; in questo caso la corteccia si stacca facilmente. Per aumentare le probabilità di intercettare le gallerie dell'insetto durante il prelievo con l'estrattore questo viene posto preferibilmente in dei punti dove è possibile notare dei fori d'entrata dei maschi pionieri di *I. typographus* sulla corteccia. Per ogni albero vanno prelevati 2 campioni di corteccia, prima è però necessario capire a che altezza del fusto farlo. L'attacco del bostrico tipografo avviene in una prima fase nella porzione centrale del tronco, tuttavia la seconda generazione o le femmine riemergenti possono attaccare anche le altre parti del fusto se lo spessore della corteccia lo permette. Nella maggior parte dei casi i prelievi sono avvenuti su alberi in piedi ed il campione è stato preso da terra o utilizzando una scala. Sono stati campionati anche alberi schiantati oppure accatastati purché fosse possibile constatare un'infestazione da *I. typographus* ancora in corso. In questo secondo caso risulta ovviamente più facile prelevare una porzione di corteccia dalla parte centrale del fusto.

In alternativa all'utilizzo dell'estrattore può essere prelevato un lembo di corteccia utilizzando un'accetta (figura 3). In questo caso la porzione di corteccia prelevata era comunque sufficientemente grande da poterne ricavare 2 campioni circolari di diametro 13 centimetri in un successivo momento. Una volta prelevati i campioni questi venivano posizionati in piastre Petri forate e con una retina incollata sul foro nel caso il prelievo sia avvenuto utilizzando l'estrattore. Nel caso in cui, invece, i campioni siano stati prelevati staccando un pezzo di corteccia con l'accetta questi vengono riposti in scatole più grandi anch'esse forate e con una retina incollata al foro per tapparlo. Il foro tappato dalla retina serve per far circolare l'aria all'interno del contenitore ed evitare che gli insetti nel campione muoiano soffocati e allo stesso tempo non scappino dal contenitore.

Campioni provenienti da alberi o siti diversi devono chiaramente rimanere separati. Per riconoscere i campioni sul contenitore che li contiene vengono scritte: località di raccolta del campione e numero dell'albero campionato.

Durante il campionamento per ogni località vengono prese le coordinate GPS e la quota. Tramite le coordinate GPS è possibile risalire alla quota anche in un momento successivo.

2.4 Conservazione dei campioni

Di fondamentale importanza per evitare di falsare i dati raccolti durante l'analisi di laboratorio è la corretta conservazione dei campioni. I campioni sono stati conservati in cella frigorifera, al buio e a una temperatura di 4°C, per evitare che gli individui di bostrico tipografo contenuti nelle cortecce uscissero dalla diapausa o che ne venisse influenzata la mortalità.

Se le cortecce sono umide può succedere che si formi della condensa sulle pareti del contenitore in cui è conservato il campione. A seguito di tale avvenimento possono formarsi delle muffe sui campioni raccolti, queste possono provocare la morte degli individui di *Ips typographus* contenuti nelle cortecce campionate falsando i dati. Per evitare che questo accada i campioni nelle celle frigorifere sono stati controllati almeno una volta ogni due giorni e nel caso fosse presente condensa sulle pareti dei contenitori questa è stata asciugata con carta assorbente.

Per non sottoporre gli insetti a continui sbalzi termici, cosa che può falsare i dati, i campioni vanno prelevati dalle celle frigorifere man mano che vengono analizzati in laboratorio.

2.5 Analisi dei campioni in laboratorio

I campioni una volta estratti dalla cella frigorifera sono stati lasciati in laboratorio per circa 5-10 minuti prima di iniziare l'analisi. Questa operazione è fondamentale per far sì che gli individui vivi all'interno delle cortecce si attivino e sia quindi possibile distinguerli da quelli morti. Gli individui vivi all'interno delle cortecce ricominciano a muoversi se lasciati fuori dalle celle frigorifere purché esposti a temperature maggiori di 16,5°C, che è la soglia termica a cui iniziano gli sfarfallamenti primaverili (Lobinger, 1994).

I campioni sono stati analizzati procedendo a distruggere la corteccia in pezzi il più piccoli possibile con le mani. Questa operazione è fondamentale per riuscire ad individuare la quasi totalità degli *I. typographus* presenti nello spessore della corteccia. Una volta estratti gli individui dalla corteccia questi sono stati contati distinguendo per stadio di sviluppo (adulto maturo, adulto immaturo, larva, pupa) e fra vivi e morti (nel caso degli individui morti è stata effettuata un'ulteriore distinzione fra insetti parassitizzati (figura 4), morti da *B. bassiana* (figura 5) oppure morti per altre cause). I dati raccolti venivano poi annotati su una tabella di laboratorio e successivamente

trasferiti su Excel. L'operazione è stata effettuata separatamente per ogni disco di corteccia da 13 centimetri.



Figura 4 Larve di bostrico tipografo parassitizzate da un parassitoide



Figura 5 Bostrico tipografo infettato da *B. bassiana*



Figura 6 Adulti di *I. typographus* e larve dei loro predatori della famiglia Lonchaeidae

Gli insetti sono stati considerati morti in caso: non si muovessero, di deformazioni o se infettati da funghi, se parassitati.

Contemporaneamente alla conta degli individui di *I. typographus* presenti in ogni campione sono stati presi anche dati riguardanti la presenza, ed eventualmente il numero, di antagonisti naturali (figura 6) dello scolitide oggetto di studio.

2.6 Analisi dei dati raccolti

I dati raccolti sono stati trasferiti dalla tabella di laboratorio ad un file Excel riorganizzati in modo da semplificare la successiva rielaborazione.

I dati sono stati poi rielaborati in modo da ottenere:

- Mortalità media per albero intesa come mortalità del campione 1 sommata a quella del campione 2 e dividendo il risultato per 2. Moltiplicando per 100 si ottiene la mortalità media percentuale per albero.
- Istogramma con la mortalità media e la mortalità media per stadio. Ciò è stato fatto per ogni provincia.

- Istogramma con la mortalità causata da *B. bassiana* distinguendo per stadio e per provincia. Nell'istogramma è inclusa anche la mortalità media di tutti gli stadi.
- Tramite la regressione lineare si è indagato su una possibile correlazione fra aumento di mortalità all'aumentare della quota.
- Istogramma con la mortalità media nei 3 mesi. Tramite la regressione lineare è stato anche indagato riguardo una possibile correlazione fra mortalità di *I. typographus* e data in cui si è svolto il campionamento.
- Tramite la regressione lineare si è indagato una possibile correlazione fra percentuale di morti e presenza di nemici naturali.
- Analisi della varianza a un fattore utilizzando il test ANOVA su Excel per indagare una differenza significativa di mortalità fra le varie provincie.
- Analisi della varianza a un fattore utilizzando il test ANOVA su Excel per indagare una differenza significativa di mortalità fra i vari stadi.
- Analisi della varianza a un fattore utilizzando il test ANOVA su Excel per indagare una differenza significativa di mortalità nei 3 mesi di campionamento.

Per effettuare l'analisi della varianza utilizzando l'ANOVA i dati sono stati organizzati in modo da avere una colonna per ogni gruppo che si intendesse mettere a confronto. In questo caso i dati sono stati organizzati in 3 tabelle:

- Una contenente la mortalità percentuale degli *I. typographus* per ogni albero campionato distinguendo per provincia. In questo modo è stato possibile verificare se ci fossero differenze significative di mortalità fra le 5 provincie.
- Una contenente la mortalità percentuale degli *I. typographus* per ogni albero campionato distinguendo per stadio di sviluppo. In questo modo è stato possibile verificare se ci fossero differenze significative di mortalità fra i 4 stadi. Essendo presenti solo 13 pupe (un numero non sufficiente per essere considerato rappresentativo) l'ANOVA è stato effettuato anche considerando gli stadi di adulto maturo, adulto immaturo e larva.

- Una contenente la mortalità percentuale degli *I. typographus* per ogni albero campionato distinguendo solamente per mese di campionamento. In questo modo è stato possibile verificare se ci fossero differenze significative di mortalità fra i 3 mesi di campionamento.

3. Risultati

3.1 Mortalità media fra stadi di sviluppo

In totale all'interno dei campioni erano presenti 1336 individui di *I. typographus*, di questi 746 erano adulti maturi, 371 erano adulti immaturi, 206 erano larve e 13 erano pupe. Dei 1336 individui campionati 845 erano vivi mentre 491 erano morti (tabella 2).

Tabella 2 Numero di insetti rilevati divisi per stadio ed in totale delle 5 province. Mortalità media di *I. typographus* distinguendo per provincia

stadio	numerosità	mortalità media
adulto maturo	746	35,69%
adulto immaturo	371	26,05%
larva	206	57,78%
pupa	13	58,33%
totale	1336	
totale vivi	845	
totale morti	491	

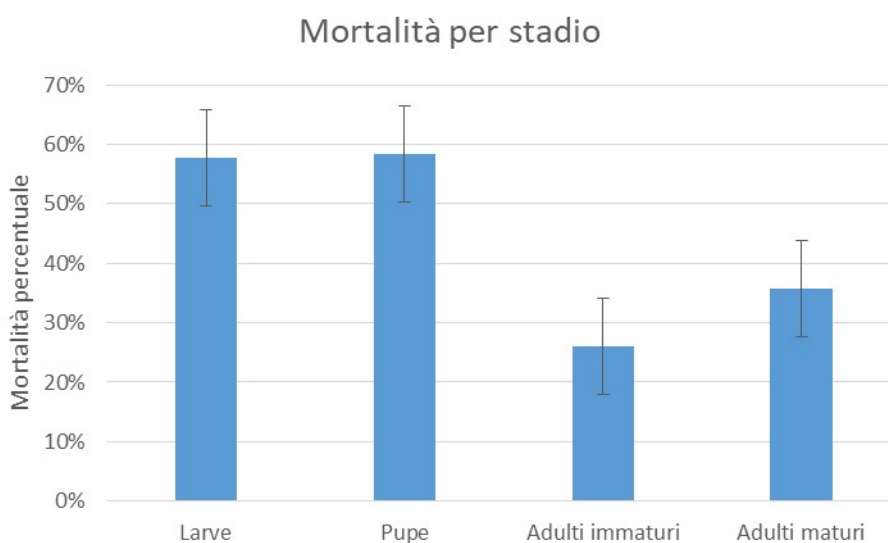


Figura 4 mortalità di *I. typographus* per stadio di sviluppo

Dall'analisi statistica (ANOVA, tabella 3) effettuata sui dati di mortalità si rilevano differenze significative fra i 4 stadi di sviluppo ($P < 0,05$). La mortalità è più alta negli stadi di pupa e di larva. Tuttavia le pupe erano presenti in piccolissimo numero rispetto al totale del campione e non sono quindi rappresentative della popolazione. Per questo motivo è stato eseguito un secondo test ANOVA confrontando la mortalità degli stadi di sviluppo escludendo però quello pupale (tabella 4).

Tabella 3 Risultati del test ANOVA sulla mortalità media percentuale di *I. typographus* distinguendo per stadio.

ANALISI VARIANZA						
Origine della variazione	SQ	gdl	MQ	F	Valore di significatività	F crit
Tra gruppi	2,836497958	3	0,945499	11,63375	4,83622E-07	2,651396
In gruppi	15,68552136	193	0,081272			
Totale	18,52201932	196				

Senza considerare lo stadio di pupa l'ANOVA restituisce comunque un valore significativo ($P < 0,05$) nei differenti stadi di sviluppo. Nello specifico la mortalità è maggiore allo stadio larvale (tabella 4).

Tabella 4 Risultati del test ANOVA sulla mortalità media percentuale di *I. typographus* distinguendo per stadio, ma senza considerare lo stadio di pupa.

ANALISI VARIANZA						
Origine della variazione	SQ	gdl	MQ	F	Valore di significatività	F crit
Tra gruppi	2,580799024	2	1,2904	15,67437	5,05983E-07	3,04398
In gruppi	15,47718803	188	0,082325			
Totale	18,05798705	190				

3.2 Mortalità invernale per provincia

I dati riguardanti la mortalità media osservata in ciascuna provincia campionata indicano che questa è pari al 33% per Vicenza, 44% per Belluno, 36% per Udine, 40% per Trento e 29% per Bolzano. Nella tabella 5 è mostrata la mortalità media per ogni provincia (senza distinguere per stadio di sviluppo).

Anche in questo caso la presenza delle pupe, che essendo solamente 13 su un totale di 1336 individui campionati, non rappresenta un campione rappresentativo. Per lo stesso motivo la mortalità delle pupe non viene riportata nei grafici.

Tabella 5 mortalità invernale percentuale per stadio di sviluppo e provincia.

Mortalità per provincia				
	Adulti maturi	Adulti immaturi	Larve	Media
Vicenza	26%	29%	48%	33%
Belluno	59%	15%	55%	44%
Udine	35%	28%	63%	36%
Trento	34%	29%	63%	40%
Bolzano	42%	17%	0%	29%

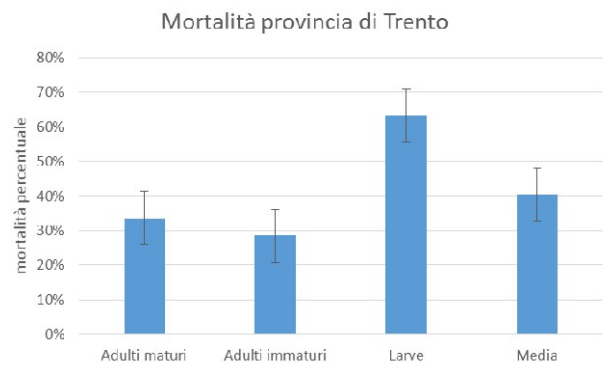
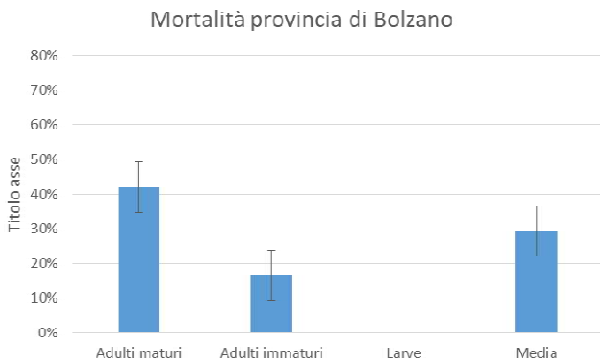
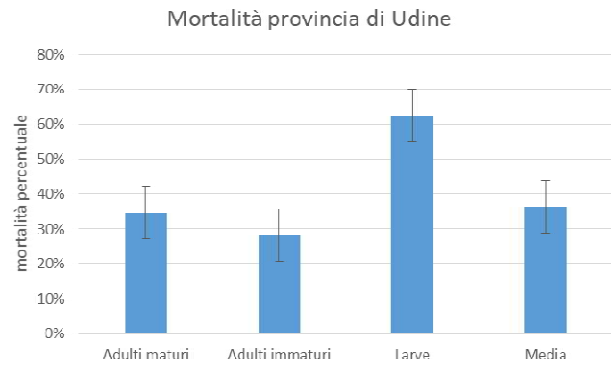
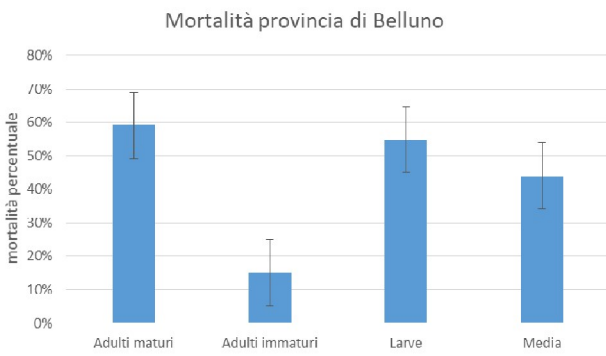
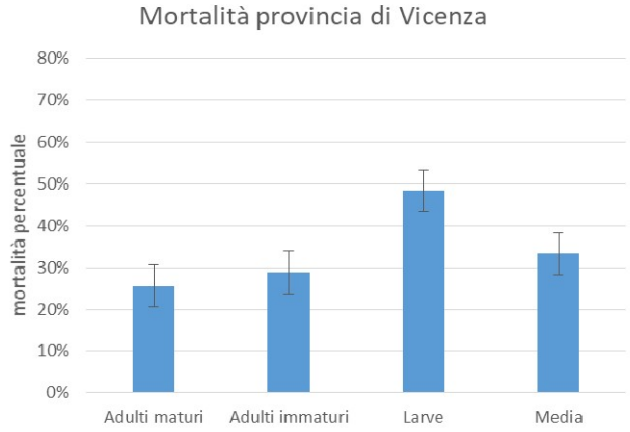
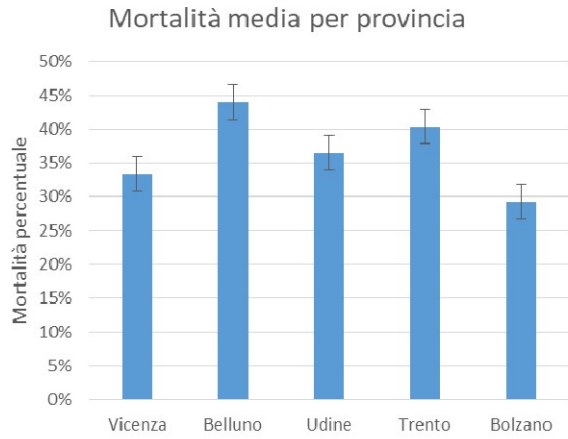


Figura 5 Andamento della mortalità nelle diverse province campionate

Dal test ANOVA effettuato sui dati di mortalità emerge che non vi sono differenze significative fra province per quanto riguarda la mortalità invernale di *I. typographus* ($P= 0,54884$) (Tabella 6).

Tabella 6 Risultati del test ANOVA sulla mortalità media percentuale di *I. typographus* per provincia

ANALISI VARIANZA						
Origine della variazione	SQ	gdl	MQ	F	Valore di significatività	F crit
	0,29078	4	0,07270	0,76558	0,54884	2,41869
In gruppi	18,23124	192	0,09495			
Totale	18,52202	196				

3.3 Andamento temporale della mortalità

Non è stata trovata, utilizzando la regressione lineare, alcuna correlazione fra mortalità di *I. typographus* e data di campionamento. I dati relativi alla mortalità media per mese di campionamento indicano che nel mese di gennaio questa è stata del 39%. Nel mese di febbraio la mortalità media è diminuita leggermente avendo un valore del 35%. Infine la mortalità più alta si è registrata durante i campionamenti di marzo dove questa è stata pari al 49%.

Tabella 7 Mortalità media per mese di campionamento. Numero di campioni raccolti per mese di campionamento.

mese	totale campioni	mortalità media
gennaio	77	39%
febbraio	98	35%
marzo	22	49%

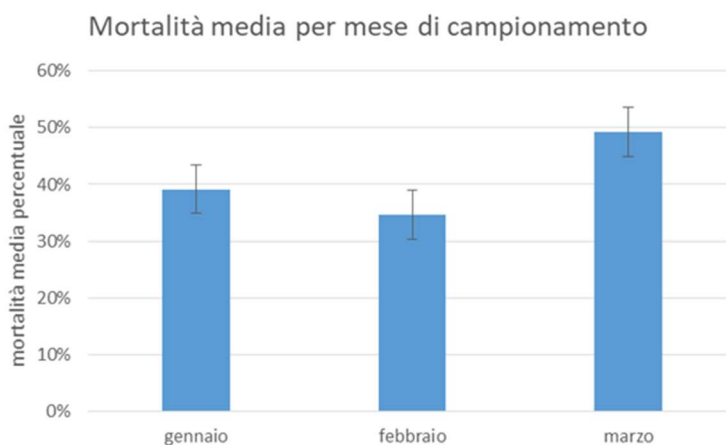


Figura 6 mortalità media riscontrata in relazione al mese di campionamento (+/- SEM)

Dal test ANOVA effettuato sui dati di mortalità emerge che non vi sono differenze significative nei mesi di campionamento per quanto riguarda la mortalità invernale di *I. typographus* ($P=0,118817591$) (Tabella 8).

Tabella 8 Risultati del test ANOVA sulla mortalità media percentuale di *I. typographus* per mese di campionamento

Origine della variazione	SQ	gdl	MQ	F	Valore di significatività	F crit
Tra gruppi	0,40231857	2	0,20115929	2,1537277	0,118817591	3,04247206
In gruppi	18,1197007	194	0,09340052			
Totale	18,5220193	196				

3.4 Correlazione fra mortalità e quota

La mortalità invernale mostra una leggera crescita al crescere della quota di campionamento (Figura 9), sebbene questa non sia significativa ($R^2 = 0,1411$).

Tabella 9 Mortalità media per fascia di quota

Mortalità media per quota											
quota	200	600	700	800	900	1000	1200	1300	1400	1500	
mortalità media	38%	25%	37%	38%	36%	49%	32%	42%	43%	39%	

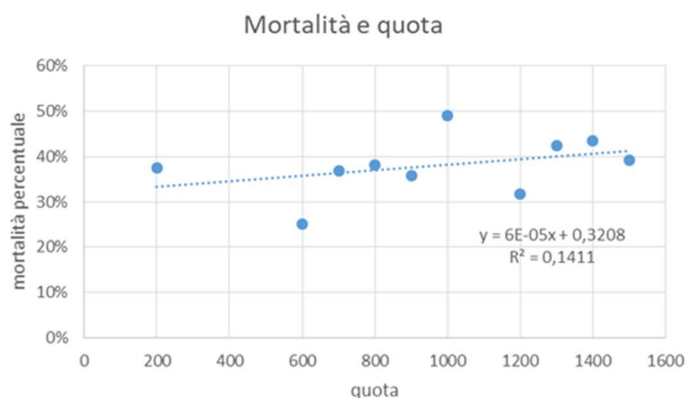


Figura 7 correlazione fra aumento di mortalità e aumento di quota attraverso la regressione lineare

3.5 Fattori di mortalità

I principali nemici naturali di *I. typographus* rinvenuti sono stati i ditteri predatori della famiglia Lonchaeidae, gli imenotteri parassitoidi della famiglia e il fungo entomopatogeno *Beauveria bassiana*.

3.5.1 Beauveria Bassiana

I dati di mortalità di *I. typographus* a causa di *B. bassiana*, distinguendo per stadio e per provincia, mostrano che questa è pari al 31% per Vicenza, al 7% per Belluno, al 21% per Udine e al 24% per Trento (Tabella 10).

Nell'analisi non vengono tuttavia considerati i dati riguardanti la provincia di Bolzano dove sono stati trovati solamente 3 individui di *I. typographus* infetti da *B. bassiana*, numero non sufficiente a costituire un campione rappresentativo.

Non sono inoltre stati trovati individui di *I. typographus* allo stadio larvale o di pupa la cui mortalità fosse riconducibile a *B. bassiana*, ma solo adulti in varie fasi di maturazione.

Tabella 10 mortalità di *I. typographus* a causa di *B. bassiana* per stadio e provincia

Mortalità a causa di Beauveria bassiana			
Provincia	Adulto maturo	Adulto immaturo	media
Vicenza	41%	20%	31%
Belluno	15%	0%	7%
Udine	19%	24%	21%
Trento	32%	17%	24%
media	27%	15%	

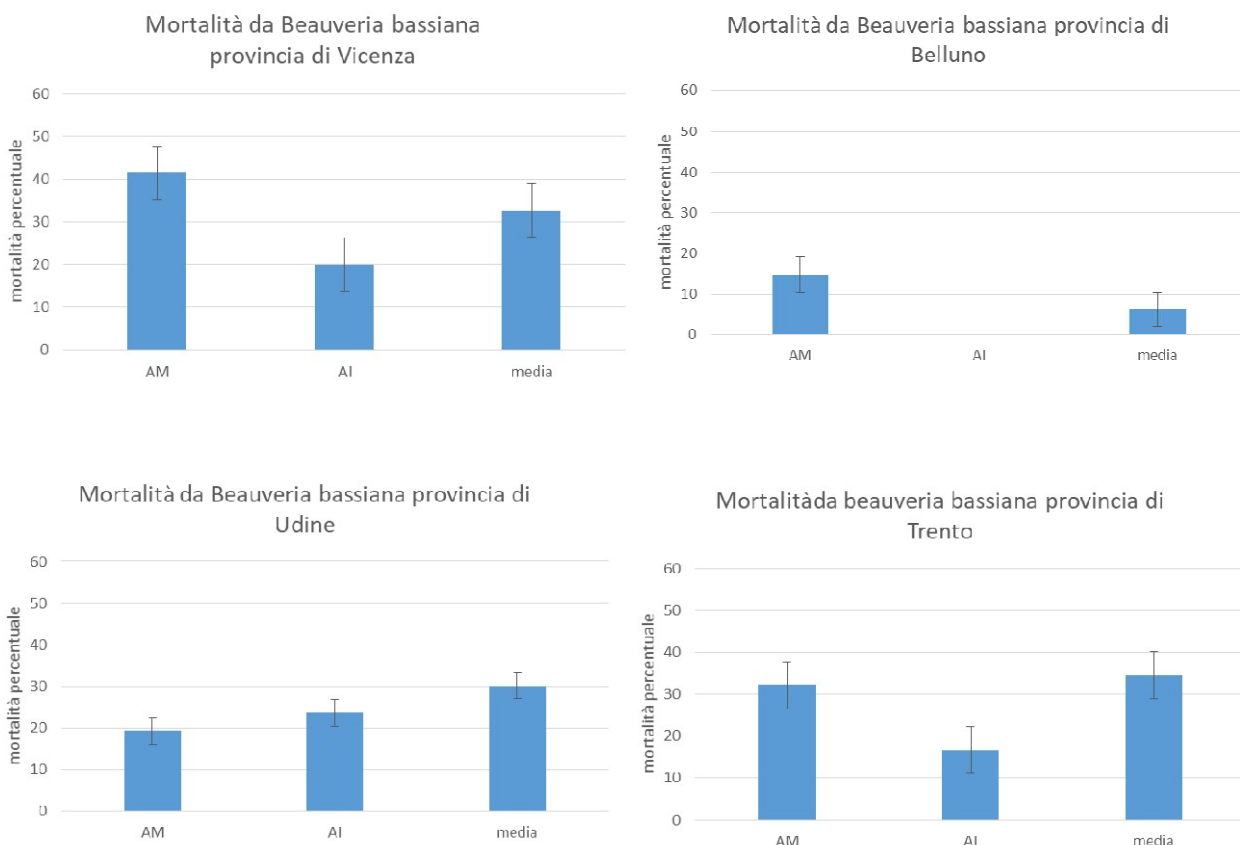


Figura 8 Andamento della mortalità a causa di *B. bassiana* nelle diverse province campionate

La regressione lineare utilizzata per indagare su una possibile correlazione fra il numero di individui di *I. typographus* e quello degli stessi ma infettati da *B. bassiana* all'interno del campione

mostra che le 2 variabili non sono collegate. Più nello specifico l'analisi restituisce un R² di 0,0004 (Figura 4).

Il numero di individui di *I. typographus* infettati da *B. bassiana* è stato di 64 per Vicenza, 18 per Belluno, 68 per Udine, 47 per Trento e 4 per Bolzano per un totale di 201 individui infettati (Tabella 11).

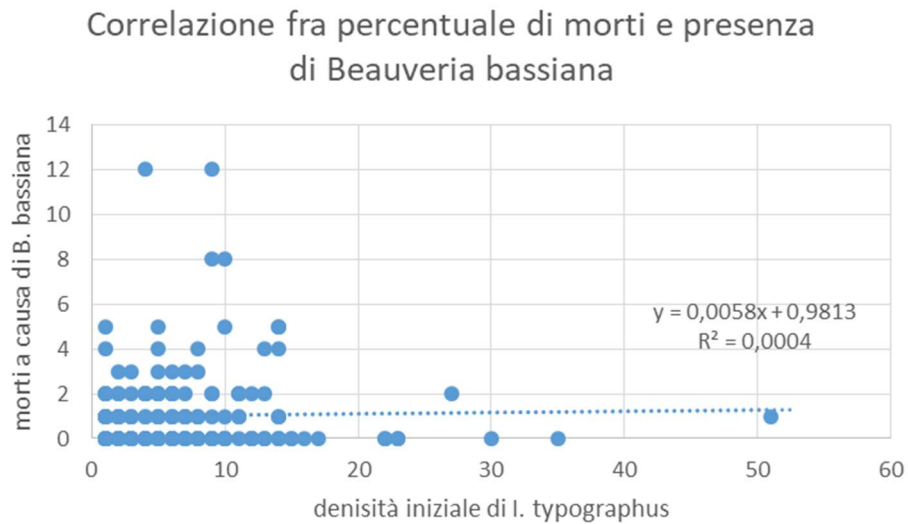


Figura 9 correlazione fra numero di individui morti a causa di *B. bassiana* e densità di *I. typographus*

Tabella 11 Numero di individui di *I. typographus* infettati da *B. bassiana* nelle diverse province.

Provincia	individui infettati da <i>B. bassiana</i>
Vicenza	64
Belluno	18
Udine	68
Trento	47
Bolzano	4
Totale	201

3.5.2 Predatori e parassitoidi

La regressione lineare utilizzata per indagare su una possibile correlazione fra il numero di individui di *I. typographus* e quello di predatori o parassitoidi all'interno del campione mostra che le 2 variabili, in entrambi i casi, non sono collegate. Più nello specifico si ottiene un R² di 0,0226 per la retta creata ponendo sull'asse delle ordinate il numero di individui di *I. typographus* nel campione e sull'asse delle ascisse il numero di suoi predatori (figura 11). Ponendo sull'asse delle ascisse il numero di parassitoidi si ottiene un R² di 0,0549 (figura 12). Con densità iniziale di *I. typographus* si intende il numero di individui trovati all'interno del campione.

Correlazione fra percentuale di morti e presenza di Lonchaeidae

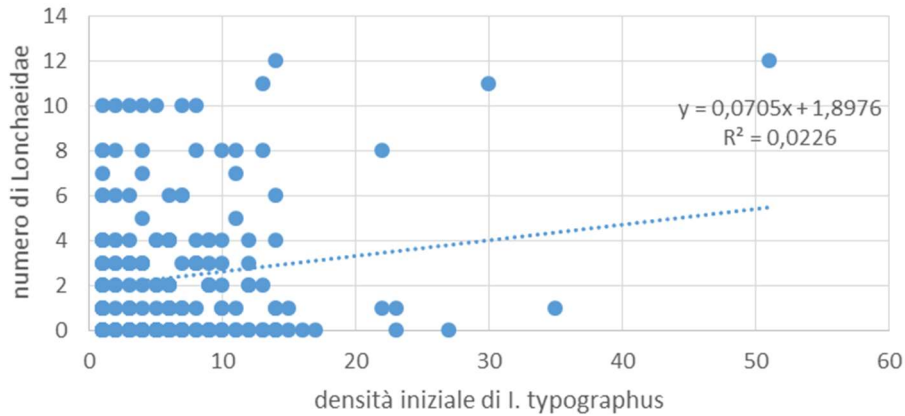


Figura 10 correlazione fra numero di Lonchaeidae e densità di *I. typographus*

Correlazione tra percentuale di morti e presenza di parassitoidi

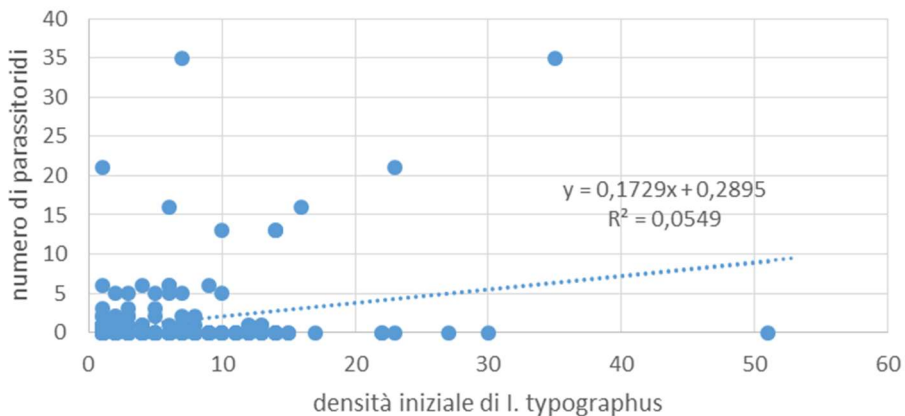


Figura 11 correlazione fra numero di parassitoidi e densità di *I. typographus*

Il numero di predatori della famiglia Lonchaeidae campionati all'interno di ogni provincia e totali è stato di 135 per Vicenza, 132 per Belluno, 68 per Udine, 131 per Trento e 2 per Bolzano per un totale complessivo di 468 individui (Tabella 12). Il numero di individui di *I. typographus* colpiti da parassitoidi appartenenti alla famiglia Braconidae è stato invece di 56 per Vicenza, 0 per Belluno, 63 per Udine, 169 per Trento e 0 per Bolzano per un totale di 288 individui parassitizzati (Tabella 12).

Tabella 12 Numero di predatori (Lonchaeidae) e parassitoidi (Braconidae) per provincia.

Provincia	n. predatori	individui parassitizzati da Braconidae
Vicenza	135	56
Belluno	132	0
Udine	68	63
Trento	131	169
Bolzano	2	0
Totale	468	288

4. Discussione

4.1 Mortalità media fra stadi di sviluppo

La mortalità è risultata maggiore nelle larve (57,78%) di *I. typographus* rispetto agli altri stadi; lo stadio di pupa non è stato considerato poiché il numero di individui osservati non era sufficiente a costituire un campione statisticamente rappresentativo. La mortalità larvale è significativamente maggiore rispetto a quella degli adulti maturi (35,69%) e immaturi (26,05%), poiché le larve risultano molto meno resistenti alle basse temperature (Annala, 1969; Austarå *et al.*, 1977).

Uno studio condotto da Faccoli (2002) sulle Alpi Orientali ha mostrato che, al termine dell'inverno, sotto la corteccia sono stati rinvenuti individui di *I. typographus* vivi soltanto allo stadio adulto; tuttavia, durante lo stesso campionamento sono state rilevate anche alcune larve vitali. Le larve di *I. typographus* possono sopravvivere fino a temperature di $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Annala, 1969; Abgrall & Schvester, 1987), valori che potrebbero non essere stati raggiunti nei siti in cui sono stati osservati individui allo stadio larvale.

Questo risultato mostra una possibile inversione di tendenza rispetto a quanto osservato da Faccoli (2002): la sopravvivenza di alcuni individui larvali potrebbe essere correlata ai cambiamenti climatici e al conseguente aumento delle temperature medie globali, le quali influenzano diversi aspetti del ciclo vitale di *I. typographus*, quali fenologia e voltinismo (Faccoli, 2009).

La mortalità di *I. typographus* risulta inferiore negli adulti, poiché questi ultimi sono maggiormente resistenti al freddo rispetto agli stadi preimmaginali (Annala, 1969). La tolleranza al freddo degli adulti di bostrico tipografo si sviluppa progressivamente nel corso della stagione invernale (Košťál *et al.*, 2011). Una tendenza simile è stata evidenziata anche da Annala (1969): con l'avanzare dell'inverno, *I. typographus* acquisisce una maggiore capacità di sopportare temperature più basse e di tollerare periodi prolungati di esposizione al freddo (Košťál *et al.*, 2011).

La resistenza al freddo viene successivamente persa gradualmente in primavera (Košťál *et al.*, 2011). Gli individui raccolti in tardo autunno che hanno avuto accesso al floema risultano meno resistenti rispetto a quelli che non si sono alimentati (Annala, 1969). Gli esemplari esposti a temperature prossime ai $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, insufficienti a inibire il metabolismo, mostrano una mortalità invernale superiore rispetto a quelli esposti a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Košťál *et al.*, 2011). Tuttavia, gli adulti in ibernazione possono sopravvivere fino a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Annala, 1969).

In sintesi, la mortalità invernale degli adulti di *I. typographus* può essere attribuita principalmente a:

- esposizione precoce (autunnale) o tardiva (primaverile) a basse temperature;
- permanenza prolungata a temperature leggermente superiori allo zero, tipiche degli inverni miti, che impediscono il pieno adattamento fisiologico al freddo.

4.2 Mortalità invernale per provincia

La mortalità media percentuale è risultata molto diversa tra le cinque province campionate (Tabella 5), con valori che variano da un minimo del 29% nella provincia di Bolzano a un massimo del 44% in quella di Belluno. Tuttavia, dall'analisi statistica condotta tramite un'analisi della varianza a un fattore (ANOVA), non sono emerse differenze statisticamente significative tra le province, nonostante la notevole variabilità dei valori medi di mortalità ($P = 0,54884$; Tabella 6). Pertanto, non è possibile attribuire differenze significative nei tassi di mortalità a variabili climatiche o geografiche provinciali.

I dati raccolti nella provincia di Bolzano devono tuttavia essere interpretati con cautela, poiché, sebbene non differiscano statisticamente da quelli delle altre province, derivano dal campionamento di soli quattro alberi (Tabella 1), un numero troppo ridotto per una stima affidabile della varianza interna.

Anche i dati provenienti dalla provincia di Belluno, pur basandosi su dieci alberi campionati, provengono da un unico sito di raccolta (Tabella 1), condizione che limita la rappresentatività spaziale e la robustezza statistica dei risultati.

Se si escludono quindi le province di Bolzano e Belluno per i motivi sopra menzionati, la mortalità media nelle restanti province varia da un valore minimo del 33% (Vicenza) a un massimo del 40% (Trento). In tal caso, le differenze di mortalità tra province appaiono meno marcate, suggerendo un quadro di variabilità intra-regionale ridotta e non statisticamente significativa.

4.3 Andamento temporale della mortalità

La mortalità più elevata è stata registrata nei campioni raccolti nel mese di marzo, con un valore medio pari al 49%, mentre la più bassa è stata osservata nel mese di febbraio (35%). La mortalità rilevata nel mese di gennaio è risultata intermedia (39%) (Tabella 7). A una prima analisi descrittiva, i valori sembrano indicare una variazione sensibile della mortalità in funzione del mese

di campionamento. Per verificarne la significatività statistica, è stato eseguito un test ANOVA a un fattore.

Sebbene la mortalità media osservata nel mese di marzo appaia superiore rispetto a quella di gennaio e febbraio, il test ANOVA non ha evidenziato differenze statisticamente significative tra i tre mesi (Tabella 8). Tale risultato è probabilmente attribuibile all'elevata variabilità intra-gruppo (varianza più elevata) e al numero ridotto di campioni raccolti nel mese di marzo, fattori che limitano la potenza statistica del test e riducono la capacità di rilevare differenze effettive tra i gruppi temporali.

In sintesi, i dati suggeriscono una possibile tendenza all'aumento della mortalità con l'avanzare della stagione invernale, ma tale andamento non risulta supportato da evidenze statistiche significative.

4.4 Correlazione fra mortalità e quota

Non è stata riscontrata alcuna correlazione significativa tra mortalità e quota altitudinale (Figura 9). Sulle Alpi, la mortalità invernale di *I. typographus* è generalmente limitata agli stadi preimmaginali (Faccoli, 2002), poiché gli adulti risultano in grado di tollerare temperature molto basse, fino a -30 °C (Annala, 1969), raramente raggiunte in tali ambienti.

La mortalità invernale di *I. typographus* dipende quindi principalmente dallo stadio di sviluppo in cui gli individui affrontano la stagione fredda. Il grado di sviluppo degli individui svernanti è strettamente legato al periodo di inizio dei voli primaverili, che a sua volta è determinato dalla temperatura. La temperatura minima necessaria per l'avvio dei voli è pari a $16,5$ °C (Lobinger, 1994); qualora tale soglia venga raggiunta precocemente in primavera, anche l'inizio della seconda generazione sarà anticipato. In tal caso, la seconda generazione, che di norma sverna, può completare lo sviluppo fino allo stadio adulto (Faccoli, 2009), risultando così meno vulnerabile alle basse temperature. Tale fenomeno di anticipazione dei voli e di aumento del numero di generazioni annue era già stato segnalato da Faccoli (2009).

La correlazione tra mortalità e quota è stata indagata poiché, in linea teorica, a quote più elevate i voli iniziano più tardi e gli individui di *I. typographus* potrebbero non riuscire a completare lo sviluppo, determinando una mortalità più elevata rispetto alle quote inferiori. Tuttavia, i dati non confermano questa ipotesi, poiché a tutte le quote considerate la generazione svernante è riuscita a completare lo sviluppo fino allo stadio adulto.

Essendo la diapausa indotta anche dal fotoperiodo (Doležal *et al.*, 2007), non è plausibile che alle quote più alte essa inizi più tardi, estendendo così il periodo di sviluppo. L'interpretazione più coerente è che l'andamento stagionale delle popolazioni di *I. typographus* sia stato sostanzialmente omogeneo a tutte le quote, in accordo con quanto osservato da Battisti *et al.* (2023).

4.5 Fattori di mortalità

La mortalità del bostrico tipografo (*I. typographus*) non è determinata unicamente dalle condizioni di svernamento, ma anche dalla competizione intraspecifica che si instaura tra le larve prima che le basse temperature ne arrestino lo sviluppo (Lawson, 1993). Tale competizione tende a prolungare i tempi di sviluppo dello scolitide (Anderbrant *et al.*, 1985), costringendo una parte della popolazione a svernare negli stadi preimmaginali (Anderbrant *et al.*, 1985).

Anche le interazioni con antagonisti naturali (funghi entomopatogeni, predatori e parassitoidi) contribuiscono alla mortalità, sebbene il loro impatto sulla dinamica complessiva delle popolazioni di *I. typographus* risulti variabile e non sempre determinante.

4.5.1 Fattori di mortalità: *Beauveria bassiana*

Non è stata evidenziata una correlazione significativa tra il numero totale di individui di *I. typographus* presenti nel campione e il numero di individui infettati dal fungo entomopatogeno *B. bassiana* (Figura 10). Ciò indica che il fungo può causare mortalità individuale ma senza influenzare in modo sostanziale la densità della popolazione sotto corteccia. *Beauveria bassiana* ha causato una mortalità del 27% negli adulti maturi e del 15% negli adulti immaturi (Tabella 11). Tuttavia, test di laboratorio riportano tassi di mortalità fino al 99% (Kreutz *et al.*, 2004), risultati non coerenti con quelli ottenuti in condizioni naturali.

Studi condotti in campo hanno dimostrato che *B. bassiana* è effettivamente in grado di infettare e uccidere *I. typographus*, ma con un'efficacia notevolmente inferiore rispetto a quella osservata in laboratorio e senza effetti significativi sull'andamento demografico della popolazione (Fora *et al.*, 2022; Grodzki & Kosibowicz, 2015).

Le basse mortalità registrate in campo sono attribuibili principalmente a condizioni ambientali favorevoli all'insetto ma sfavorevoli al fungo, quali bassa umidità relativa e temperature elevate (Fora *et al.*, 2022). Questi risultati confermano che *B. bassiana* rappresenta un agente di mortalità potenziale, ma con un ruolo ecologico limitato nelle dinamiche naturali di *I. typographus*.

4.5.2 Fattori di mortalità: predatori e parassitoidi

Non è stata riscontrata una correlazione tra il numero di individui di *I. typographus* presenti nel campione e il numero di predatori appartenenti alla famiglia Lonchaeidae (Figura 11) o di parassitoidi della famiglia Braconidae (Figura 12).

La letteratura riporta risultati discordanti riguardo all'influenza di predatori e parassitoidi sulle popolazioni di *I. typographus*; in generale, per entrambi i gruppi di antagonisti naturali è nota una risposta densità-dipendente rispetto alla densità dell'ospite (Moore, 1972; Gargiullo & Berisford, 1981). Tuttavia, l'impatto di tali organismi risulta fortemente condizionato dalla fase dell'infestazione e dalla bioecologia delle singole specie (Turchin *et al.*, 1999).

Uno studio condotto da Lawson *et al.* (1996) a Hokkaido mostra che i predatori e i parassitoidi della famiglia Braconidae non manifestano una risposta densità-dipendente alla densità di *I. typographus*. Al contrario, Wermelinger (2002), in uno studio condotto in Svizzera, ha osservato un incremento della densità di antagonisti naturali proporzionale all'aumento della densità del bostrico tipografo, ma solo nelle fasi avanzate dell'infestazione. Lo stesso autore attribuisce la mortalità di *I. typographus* quasi interamente all'azione di predatori e parassitoidi; tuttavia, anche fattori abiotici (es. temperatura, umidità) e funghi patogeni possono contribuire in modo rilevante alla mortalità complessiva.

La presenza e l'efficacia degli antagonisti naturali dipendono inoltre dalle pratiche di gestione forestale. Questi organismi raggiungono la pianta ospite solo dopo l'infestazione e permangono anche successivamente all'abbandono da parte dello scolitide (Weslien & Ragnander, 1992). L'asportazione precoce del legname infestato — prima dell'emergenza dei nemici naturali — può ridurre drasticamente la loro presenza nell'ecosistema, alterando le dinamiche predatore-preda e parassitoide-ospite.

Nel presente studio, i dati sono stati raccolti in boschi gestiti, dove il legname infestato veniva regolarmente rimosso per contenere gli attacchi di *I. typographus*; tale pratica potrebbe aver interferito con le interazioni ecologiche naturali, spiegando in parte le incongruenze osservate rispetto ad altri studi.

Questa dinamica di interferenza gestionale rappresenta probabilmente la causa principale della variabilità dei risultati riportati in letteratura sulle interazioni tra *I. typographus* e i suoi antagonisti naturali.

5. Conclusioni

L'obiettivo principale del presente studio era analizzare la mortalità invernale di *Ips typographus*, con particolare riferimento alle cinque province campionate (Belluno, Bolzano, Trento, Udine e Vicenza) e ai quattro stadi di sviluppo dell'insetto.

Per quanto riguarda la mortalità nelle diverse province, sono stati rilevati i seguenti valori medi: 33% in provincia di Vicenza, 44% in provincia di Belluno, 36% in provincia di Udine, 40% in provincia di Trento e 29% in provincia di Bolzano.

Relativamente agli stadi di sviluppo, la mortalità ha interessato il 57,78% delle larve, il 58,33% delle pupe, il 26,05% degli adulti immaturi e il 35,69% degli adulti maturi. Il valore di mortalità delle pupe deve tuttavia essere interpretato con cautela, a causa del numero esiguo di individui campionati in tale stadio.

Ulteriori informazioni rilevanti derivano dalle analisi condotte per valutare la correlazione tra la densità di *I. typographus* e la presenza dei suoi nemici naturali. Dai risultati ottenuti non emerge alcuna correlazione significativa tra il numero di individui di bostrico tipografo e:

- gli individui infettati dal fungo *Beauveria bassiana*;
- i parassitoidi appartenenti alla famiglia Braconidae;
- i predatori appartenenti alla famiglia Lonchaeidae.

È evidente che l'aumento delle temperature medie e la maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi, legati al cambiamento climatico, abbiano favorito gli attacchi di *I. typographus*, in particolare alle quote più basse dove l'abete rosso (*Picea abies*) è stato impiantato al di fuori del suo areale naturale di distribuzione. Contestualmente, si osserva una progressiva espansione delle popolazioni di bostrico verso quote più elevate (Faccoli, 2009; Marini *et al.*, 2012).

In prospettiva, sarà fondamentale adottare strategie di gestione volte alla tutela delle peccete meno suscettibili agli attacchi di *I. typographus* — in particolare quelle ad alta quota e in aree caratterizzate da ridotto rischio di stress idrico — e, parallelamente, sviluppare pratiche di

contenimento efficaci per le peccete mature e senescenti di bassa quota, più vulnerabili agli attacchi dello scolitide (Marini *et al.*, 2012).

Lo studio conferma inoltre l'interesse scientifico verso le interazioni tra *I. typographus* e i suoi nemici naturali, la cui influenza sulle dinamiche di popolazione può risultare comparabile, in termini ecologici, a quella esercitata dalla mortalità invernale. Tuttavia, la letteratura disponibile evidenzia risultati contrastanti in merito a tali relazioni.

Si rende pertanto necessario condurre studi di lungo periodo volti a descrivere l'evoluzione temporale delle interazioni tra *I. typographus* e i suoi antagonisti naturali, dall'insorgenza fino alla conclusione di un ciclo di pullulazione, al fine di comprendere più a fondo i meccanismi regolatori delle dinamiche di popolazione dello scolitide.

6. Bibliografia

- Anderbrant, O., Schlyter, F., & Birgersson, G. (1985). Intraspecific competition affecting parents and offspring in the bark beetle *Ips typographus*. *Oikos*, 44, 89–98.
- Andreatta, G. (2023). Osservazioni e considerazioni sulla “resistenza” di alcune piante di abete rosso (*Picea abies* Karsten) in popolamenti forestali colpiti da attacchi di bostrico successivamente alla tempesta Vaia nelle Alpi Orientali, Trentino-Val di Fiemme. *L'Italia forestale e montana*, 78(4), 161–165.
- Andrei, S., & Ifrim, I. L. (2021). Ips infestation—a global problem for coniferous in the face of climate change. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 22(2), 245–261.
- Annala, E. (1969). Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). In *Annales Zoologici Fennici* (pp. 161–208). Societas Biologica Fennica Vanamo.
- Battisti, A. (2023). Clima e abete rosso: una difficile convivenza. *L'Italia Forestale e Montana*, 78(2), 69–76.
- Battisti, A., De Battisti, R., Faccoli, M., Masutti, L., Paolucci, P., & Stergulc, F. (2013). Lineamenti di Zoologia forestale (pp. 236, 254–261).
- Botterweg, P. F. (1982). Dispersal and flight behaviour of the spruce bark beetle *Ips typographus* in relation to sex, size and fat content. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 94(1–5), 466–489.
- Doležal, P., & Sehnal, F. (2007). Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Applied Entomology*, 131(3), 165–173.
- Faccoli, M. (2002). Winter mortality in sub-corticolous populations of *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) and its parasitoids in the south-eastern Alps. *Journal of Pest Science*, 75, 62–68.
- Faccoli, M., & Stergulc, F. (2004). *Ips typographus* (L.) pheromone trapping in south Alps: spring catches determine damage thresholds. *Journal of Applied Entomology*, 128, 307–311.
- Faccoli, M. (2009). Effect of weather on *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) phenology, voltinism, and associated spruce mortality in the southeastern Alps. *Environmental Entomology*, 38, 307–316.

Faccoli, M. (2015). Scolitidi d'Europa: tipi, caratteristiche e riconoscimento dei sistemi riproduttivi. Verona: WBA Handbooks.

Fora, G. C., Boja, N., Moatar, M., Tóth, F., & Balog, A. (2022). Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Cordycipitaceae), on the bark beetle *Ips typographus* (L.), under field conditions. *Insects*, 13(10), 885.

Gargiullo, P. M., & Berisford, C. W. (1981). Effects of host density and bark thickness on the densities of parasites of the southern pine beetle. *Environmental Entomology*.

Grodzki, W., & Kosibowicz, M. (2015). An attempt to use the fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. in forest protection against the bark beetle *Ips typographus* (L.) in the field. Forest Research Institute, Department of Mountain Forests, Kraków, Poland.

Jönsson, A. M., Harding, S., Barring, L., & Ravn, H. P. (2007). Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 146, 70–81.

Koštál, V., Doležal, P., Rozsypal, J., Moravcová, M., Zahradníčková, H., & Šimek, P. (2011). Physiological and biochemical analysis of overwintering and cold tolerance in two Central European populations of the spruce bark beetle, *Ips typographus*. *Journal of Insect Physiology*, 57(8), 1136–1146.

Kreutz, J., Vaupel, O., & Zimmermann, G. (2004). Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. against the spruce bark beetle, *Ips typographus* L., in the laboratory under various conditions. *Journal of Economic Entomology*, 128(6), 384–389.

Lawson, S. A. (1993). Overwintering mortality of *Ips grandicollis* Eichh. (Col., Scolytidae) and its parasitoid *Roptrocercus xylophagorum* Ratz (Hym., Pteromalidae) in South Australia. *Journal of Applied Entomology*, 115, 240–245.

Lieutier, F. (2002). Mechanisms of resistance in conifers and bark beetle attack strategies. In F. Lieutier, K. R. Day, A. Battisti, & J.-C. Grégoire (Eds.), *Mechanisms and deployment of resistance in trees to insects* (pp. 31–77). Dordrecht: Springer Netherlands.

Lieutier, F., Yart, A., & Salle, A. (2009). Stimulation of tree defenses by Ophiostomatoid fungi can explain attack success of bark beetles on conifers. *Annals of Forest Science*, 66(8).

- Lobinger, G. (1994). Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Fichtenborkenkäferarten, *Ips typographus* L. und *Pityogenes chalcographus* L. (Col., Scolytidae). *Anzeiger für Schädlingskunde*, 67(1), 14–17.
- Marini, L., Ayres, M. P., Battisti, A., & Faccoli, M. (2012). Climate affects severity and altitudinal distribution of outbreaks in an eruptive bark beetle. *Climatic Change*, 115, 327–341.
- Maslov, A. D., & Matusевич, L. S. (1990). Mortality factors in *Ips typographus*. *Lesovedenie*, 6, 11–18.
- Moore, G. (1972). Southern pine beetle mortality in North Carolina caused by parasites and predators. *Environmental Entomology*, 1(1), 58–65.
- Paine, T. D., Raffa, K. F., & Harrington, T. C. (1997). Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi and live host conifers. *Annual Review of Entomology*, 42(1), 179–206.
- Provo, Utah: Brigham Young University. (1992). Wood, S. L., & Bright, D. E. Jr. A Catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera), Part 2: Taxonomic Index. *Great Basin Naturalist Memoirs*, 13, 1553 pp.
- Salvadori, C. (2022). Epidemie di bostrico tipografo post-tempeste: minaccia, emergenza, opportunità. *Dendronatura*, 43(2), 76–87.
- Schebeck, M., Schopf, A., Ragland, G. J., Stauffer, C., & Biedermann, P. H. W. (2023). Evolutionary ecology of the bark beetles *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*. *Bulletin of Entomological Research*, 113, 1–10.
- Schlyter, F., & Cederholm, I. (1981). Separation of the sexes of living spruce bark beetles, *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 92, 42–47.
- Turchin, P., Taylor, A. D., & Reeve, J. D. (1999). Dynamical role of predators in population cycles of a forest insect: an experimental test. *Science*, 285(5430), 1068–1071.
- Wermelinger, B. (2002). Development and distribution of predators and parasitoids during two consecutive years of an *Ips typographus* (Col., Scolytidae) infestation. *Journal of Applied Entomology*, 126(10), 521–527.
- Wermelinger, B. (2004). Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* — a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202(1–3), 67–82.

Wermelinger, B., & Seifert, M. (1998). Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 122(4), 185–191.

Wermelinger, B., & Seifert, M. (1999). Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) and analysis of the potential population growth. *Journal of Applied Entomology*, 123(5), 323–327.

Weslien, J., & Regnander, J. (1992). The influence of natural enemies on brood production in *Ips typographus* (Col.: Scolytidae) with special reference to egg-laying and predation by *Thanasimus formicarius* (Col.: Cleridae). *Entomophaga*, 37(2), 333–342.