

## **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente

DAFNAE

Corso di laurea in Scienze e Tecnologie Agrarie

**Il bostrico tipografo nella fase di pre-svernamento:  
confronto di due stagioni di osservazioni**

**The spruce bark beetle in the pre-overwintering phase:  
comparison of two seasons of observations**

Relatore

Prof. Andrea Battisti

Correlatore

Dott. Giuseppe Morgante

Laureando

Silvio Pesavento

Matricola

2032613

Anno accademico 2023-2024

## Sommario

Riassunto .....	4
Abstract.....	5
1. Introduzione .....	6
1.1 I coleotteri scolitidi.....	6
1.2 Vaia e bostrico.....	9
1.3 Bostrico, morfologia e biologia.....	12
1.4 Mortalità invernale .....	16
1.5 Dannosità su <i>Picea abies</i> .....	19
1.6 Antagonisti naturali di <i>Ips typographus</i> .....	20
1.7 Obiettivi dello studio.....	22
2. Materiali e metodi .....	23
2.1 Area di studio .....	23
2.2 Siti di raccolta .....	23
2.3 Metodologia di campionamento:.....	25
2.4 Conservazione campioni .....	26
2.5 Analisi campioni .....	26
2.6 Analisi dati .....	27
2.7 Analisi statistiche .....	27
3. Risultati .....	29
3.1 Numerosità individui sotto corteccia.....	29
3.2 Confronto dati pre-svernamento 2022 e 2023.....	31
4. Discussione.....	36
5. Conclusioni.....	40
6. Bibliografia.....	42
7. Sitografia .....	46



## **Riassunto**

*Ips typographus* è un coleottero scoltide chiamato comunemente bostrico tipografo dell'abete rosso che svolge il proprio ciclo biologico a discapito di piante soggette a stress o morte, ma che può uccidere piante in piedi in caso di forti infestazioni. Il problema nasce con l'insorgenza di forti pullulazioni, l'ultima scoppiata dopo la tempesta 'Vaia' del 2018, sostenuta da schianti da neve (2019-2020) e siccità (2022). Questo insetto è molto legato alla temperatura, difatti si sta adattando ai cambiamenti climatici svolgendo un'ulteriore generazione prima di entrare in diapausa, fase in cui cerca di superare l'inverno, anche se una parte della popolazione comunque soccombe. A causa del surriscaldamento globale, molti più individui sono in grado di superare l'inverno, anche nello stadio larvale, e ciò condiziona fortemente la densità di attacco primaverile sull'abete rosso. Oltre ad una maggior concentrazione di individui che supera l'inverno, la colonizzazione è sicuramente aiutata dal fatto che le piante possono trovarsi in stress idrico a causa delle alte temperature e siccità. Lo studio ha lo scopo di confrontare la densità di individui sotto corteccia nel periodo di pre-svernamento in due anni di osservazioni (2022 e 2023), per poter capire le variazioni tra gli anni e prevedere la densità di attacco rivolto agli alberi in piedi nella primavera successiva. Il numero di individui svernanti si è ridotto del 60% tra il 2022 e il 2023, con differenze più marcate nelle province di Udine e Trento (80%) rispetto a Belluno (45%), Vicenza (40%) e Bolzano (24%). Questi risultati testimoniano come l'attacco del bostrico stia decrescendo come previsto dai modelli di dinamica di popolazione, per l'azione di vari fattori abiotici e biotici.

## **Abstract**

*Ips typographus* is a scolytid beetle commonly known as the spruce bark beetle, an insect that carries out its biological cycle at the expense of stressed or dead plants, but can kill standing alive trees in case of outbreak. The problem in the Italian Alps started first after the storm 'Vaia' in 2018 and continued later with trees broken by snow (2019-2020) or stressed by drought (2022). This insect is closely linked to temperature, in fact it is adapting to climate change by trying to complete an additional generation before entering diapause, a phase in which it overwinters, although part of the population generally succumbs. Due to global warming, many more individuals are able to survive the winter, even in the larval stage, and this severely affects the spring attack density on spruce trees. In addition to a higher concentration of individuals surviving the winter, colonization is certainly aided by the fact that plants can experience water stress due to high temperatures and drought. The study aims to compare the density of individuals during the pre-hibernation period in two years of observations (2022 and 2023) in order to understand the changes across time and to predict the density of individuals that will attack new plants in the following spring. The number of overwintering individuals decreased by 60% between 2022 and 2023, with stronger reductions in the provinces of Udine and Trento (80%) than in Belluno (45%), Vicenza (40%) and Bolzano (24%). These results show how the bark beetle attack is decreasing as predicted by population dynamics models, due to the action of various abiotic and biotic factors.

# 1. Introduzione

## 1.1 I coleotteri scolitidi

I coleotteri scolitidi (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) sono una sottofamiglia della famiglia *Curculionidea* che comprende circa 6500 specie distribuite in circa 280 generi (Wood & Bright, 1992), i quali differiscono tra loro a seconda del modo in cui interagiscono con l'ospite e l'ambiente, avendo tuttavia dei tratti morfologici simili (Faccoli 1999).

La maggior parte degli scolitidi si trova nelle foreste equatoriali e pluviali ma circa 350 specie si trovano in Europa e Nord-Africa, di cui 150 (Faccoli, 2015) circa in Italia, dove ricoprono un ruolo fondamentale all'interno degli equilibri ecosistemici forestali italiani.

Gli scolitidi sono coleotteri floemofagi o xilomicetofagi (Faccoli, 1999), si annidano all'interno del floema e del tessuto del cambio sia per nutrirsi che per procedere con il proprio ciclo biologico. Con la loro presenza, gli scolitidi attivano una selezione naturale sulla vegetazione poiché con la loro colonizzazione, eliminano i soggetti malati o indeboliti a causa di stress. Successivamente a questo processo, all'interno delle foreste, saranno presenti solamente piante sane o con genomi aventi resistenze particolari nei confronti di organismi patogeni o situazioni di stress.

La presenza di questi insetti nell'ambiente non è un problema se non quando passano dalla fase endemica<sup>1</sup> ad epidemica<sup>2</sup>. Questo passaggio avviene quando gli organismi danno vita a pullulazioni importanti, favorite da eventi catastrofici (Vaia 2018), che portano alla distruzione di interi areali forestali causando danni dal punto di vista paesaggistico, ecosistemico ed economico. Queste infestazioni, perciò, fanno sì che ci si trovi in una situazione epidemica a causa di un numero di individui superiore al limite di soglia del danno per un periodo di tempo prolungato.

Il ciclo biologico di questi coleotteri inizia in primavera, quando fuoriescono dalle gallerie di svernamento per andare in cerca di un ospite da colonizzare. Solitamente il loro volo di dispersione copre circa un centinaio di metri di raggio (Salom and McLean, 1989;

---

<sup>1</sup> endemia: costante permanenza, in un determinato territorio, di una malattia che tende a presentarsi sporadicamente o a piccoli focolai e con una incidenza relativamente uniforme

<sup>2</sup> epidemia: fase in cui la presenza dell'insetto in un determinato territorio è in concentrazioni più elevate del limite massimo di soglia, causando perciò ingenti danni.

Zumr, 1992) anche se è stato dimostrato che alcuni individui possono transitare anche per molti chilometri dopo lo stato di diapausa (Forsse and Solbreck, 1985; Jactel, 1993). Tutto ciò varia in base al genere di scolitide che prendiamo in considerazione e ai fattori di tipo climatico/ambientale associati alla tipologia di ospite che trovano durante la fase di volo. Prima che avvenga tutto ciò, l'insetto deve completare a pieno la maturazione per considerarsi adulto, di conseguenza, deve nutrirsi al meglio o all'interno del sito di svernamento o in qualche ospite facilmente attaccabile per poi poter proseguire con il ciclo biologico (Stoszek and Rudinsky, 1967; Långström, 1983; McNee *et al.*, 2000). I neo-adulti delle specie poligame si nutrono direttamente nell'ospite dove si sono formati, ricavando nutrimento dal floema che non è stato utilizzato dalle forme larvali; i monogami invece si involano e si fermano su substrati più freschi, non ancora intaccati dai propri simili, ma sempre su un ospite appartenente alla stessa specie.

Nelle specie appartenenti a questa tipologia, la femmina si accoppia solamente con un esemplare e l'atto di fecondazione può avvenire sia sopra la corteccia che all'interno di gallerie sottocorticali; solo una piccola percentuale di esse arrivano a colonizzare l'ospite già fecondate e perciò pronte per deporre le uova (Bleiker *et al.*, 2013).

Nei poligami, i maschi iniziano l'attacco scavando una camera nuziale sotto corteccia dove, solo dopo, si accoppiano con diverse femmine (1-3) che arrivano grazie ai feromoni sessuali rilasciati dai maschi. Un altro gruppo di specie viene definito 'solitario' dato che le femmine accoppiate scavano la propria cella nuziale su ospiti indeboliti senza provocarne la morte, sfruttando la produzione di resina di quest'ultimo come protezione a discapito di eventuali predatori.

Le uova vengono deposte lungo una galleria stretta, raggruppate o in siti alterni; in alcune specie viene perfino scavata una camera apposita per la deposizione di tutte le uova. Dopo la schiusa, le larve si nutrono attraverso il tessuto floematico e iniziano lo spostamento dalla galleria materna verso l'esterno scavandone di nuove. Le gallerie larvali sono di varie dimensioni e possono anche diramarsi fino a 10-15 cm dalla nicchia dell'uovo per le larve che si nutrono fino allo stadio di maturazione finale in quell'ospite (Wood, 1982). In molte specie, invece, le larve trascorrono solo poco tempo al di sotto della corteccia data la minima disponibilità di nutrienti; meccanismo utile anche per evitare il contatto con larve di cerambicidi che distruggono il tessuto floematico e a volte anche le larve di

scolitidi (Flamm *et al.*, 1993; Schroeder and Weslien, 1994; Dodds *et al.*, 2001). I tunnel scavati dalle larve, a differenza di quelli degli adulti, presentano sempre un diametro crescente e il suo interno è imbrattato da escrementi e segatura.

Lo sviluppo larvale si articola dai 3 ai 5 stadi e concluso l'ultimo stadio si impupano. La metamorfosi, fase in cui l'insetto passa da pupa ad adulto, si può completare in 5-10 giorni in molte specie, anche se l'insetto finale è ancora immaturo e deve ancora completarsi per esser pronto ad intraprendere la fase riproduttiva. Per completarsi necessita di nutrirsi in modo da sclerificare al meglio la cuticola esterna, modificare il proprio colore, da tenue a più intenso, oltre che a maturare le gonadi.

Nel caso degli xilomicetofagi<sup>3</sup>, sia le larve che gli adulti si cibano di funghi cresciuti all'interno del tessuto legnoso (Schedl, 1958; Browne, 1961; Wood, 1982). Questi scolitidi sviluppano delle simbiosi con alcuni ascomiceti, i quali con il proprio micelio creano delle protezioni diventando a loro volta la fonte principale di nutrizione degli insetti (Batra, 1967; French and Roeper, 1972a; Biedermann, 2012). Grazie a questa simbiosi, utilizzata da circa 63 generi, gli individui sono in grado di trasferirsi più in profondità nella pianta poiché anche se i tessuti sono poveri di nutrienti, sono in grado di approvvigionarsi attraverso il micelio fungino. Una volta completato lo sviluppo sotto superficiale, le larve ripercorrono le gallerie scavate e si portano con sé le spore fungine, sistema perciò utile per gli ascomiceti dal punto di vista della loro dispersione (Schneider-Orelli, 1911; Francke-Grosmann, 1975).

I floemofagi invece, come il *I. typographus* L., vivono molto più superficialmente e si nutrono all'interno delle proprie gallerie del tessuto floematico. Data l'elevata disponibilità di nutrienti, non creano nessuna tipologia di simbiosi fungina per il nutrimento ma molto spesso svolgono un ruolo da vettore per funghi patogeni, (*Ophiostoma* e *Leptographium*), che possono proliferare e provocare la moria delle piante dopo che quest'ultime si trovano in una situazione di stress.

---

<sup>3</sup> xilomicetofagi: insetti che ricavano il loro nutrimento sia attraverso l'ingestione di tessuto vegetale e sia attraverso micelio fungino, perciò il loro substrato di nutrimento è misto a differenza di xilofagi (solo tessuto vegetale) e micofagi (solo funghi).

## 1.2 Vaia e bostrico

Nel 2018, esattamente fra il 27 e 30 ottobre, le Alpi Orientali italiane sono state interessate da una profonda depressione atmosferica denominata 'Vaia' la quale, per via di violentissime raffiche di vento e precipitazioni ha rilasciato circa 600 mm di pioggia in 96 ore (Trenti, 2019; Regione del Veneto, 2018). La depressione ha determinato gravissimi danni al territorio italiano soprattutto lunedì 29 ottobre dato che i due giorni precedenti è rimasta sui mari tra il Golfo del Leone, le Baleari e la Sardegna, dopo essersi formata tra il Baltico e Mediterraneo. Le piogge alluvionali sono state accompagnate da raffiche di scirocco, associate successivamente a quelle di libeccio, con in aggiunta turbolenze locali in prossimità dei rilievi che hanno determinato picchi che superavano i 200 km/h.

Questa tempesta si è estesa ed ha interessato circa 1.366.000 ettari, distruggendo completamente 42.000 ettari circa, con la perdita di circa 8.500.000 metri cubi di legname (Chirici, 2019). La regione maggiormente colpita è stata il Trentino-Alto Adige con oltre 22 mila ha di bosco danneggiato (soprattutto la provincia di Trento), seguita dal Veneto con circa 12.500 ettari (soprattutto Belluno), Lombardia, Friuli-Venezia Giulia ed infine con danni poco rilevanti il Piemonte e la Valle d'Aosta. I comuni interessati sono stati 494 e i danni hanno rappresentato circa il 3% della superficie boschiva, anche se in alcune zone si è arrivati alla distruzione del 47% del territorio comunale (Copernicus HRL) (Fig. 1).

La tempesta Vaia ha interessato foreste di varie tipologie anche se i danni maggiormente visibili e stimabili sono a discapito dell'abete rosso (*Picea abies*), data la sua alta concentrazione nelle nostre Alpi e la sua conformazione radicale. L'apparato radicale è superficiale, raramente va oltre il mezzo metro di profondità anche se le condizioni glielo consentono (Tjoelker, Boratynsky, Bugala, 2007). Data la sua forma tubolare è in grado di entrare negli interstizi delle rocce, rendendolo particolarmente vulnerabile alle folate di vento. Oltre alla tipologia di radici si associa il fatto che le peccete sono molto fitte e durante un evento come il Vaia avviene l'effetto 'domino' tra le piante in caduta.

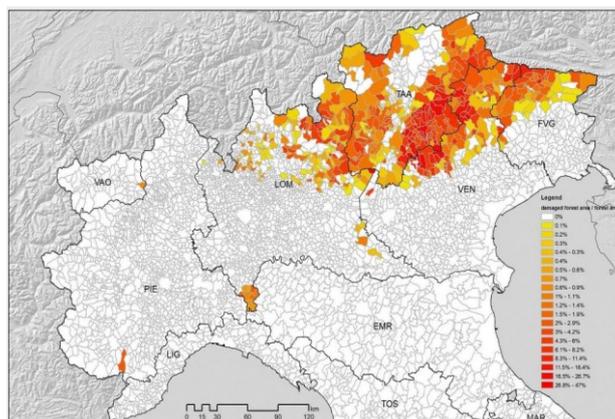


Figura 1 - percentuale di danni causati dalla tempesta Vaia ai popolamenti di abete rosso (Chirici et al., 2019)

Dal momento che non è stato possibile rimuovere in breve tempo tutto il materiale legnoso di schianto, si è riscontrata una crescita esponenziale della popolazione di bostrico tipografo e di conseguenza la capacità di attaccare l'abete rosso.

Gli attacchi si sono registrati inizialmente sulle piante danneggiate da Vaia e successivamente si sono espansi anche sulle piante sane, per via dell'aumentata aggressività degli scolitidi.

Recentemente siamo passati da una fase endemica ad una epidemica; solitamente le epidemie di tipografo si alternano a fasi endemiche più o meno stabili, anche se negli ultimi decenni la loro frequenza è sensibilmente aumentata (Čada *et al.*, 2016, Kuosmanem *et al.*, 2020). Le infestazioni epidemiche persistono diversi anni, in media 5-7 (Salvadori, 2022) ma il verificarsi di eventi naturali, o di cambiamenti climatici che favoriscono l'insetto e provocano stress e difficoltà all'ospite, prolungano anche oltre un decennio questo periodo (Hlásny *et al.*, 2021). In Europa i danni da scolitidi successivi a tempeste di vento, che hanno provocato danni ingenti dopo il loro passaggio, sono stati enormi e, come riportato da Grégoire (2015), la quantità di materiale bostricato, in relazione a quella schiantata, varia dal 2% al 200% in base agli eventi. La prevenzione di danni del bostrico dopo un evento meteorologico catastrofico, richiede di effettuare una stesura immediata di misure che prevedono: valutazione entità dei danni; esportazione di almeno 80% del materiale abbattuto entro il primo anno a basse quote e entro due anni le quote alte; pianificazione eventuali interventi riguardo il bosco rimasto intatto e in fine di redigere, se non è presente, o migliorare un piano di monitoraggio e controllo del

coleottero attraverso l'utilizzo di trappole per individuare eventuali nuovi focolai di infestazione (Hlásny *et al.*, 2021). Lo scopo principale dell'ultima misura citata è quella di intervenire in maniera tempestiva qualora si presentasse un'infestazione locale, abbattendo ed esportando tutti gli abeti interessati, facendo però attenzione a non prelevare quei soggetti parassitati da tempo dato che non sono più fonte di infezione ma sono l'ospite ideale dei parassitoidi dello scolitide che prolungano la loro permanenza all'interno di essi (Wermelinger *et al.*, 2012).

Per quanto riguarda il caso specifico del Vaia, nei due anni successivi, la densità di *I. typographus* è rimasta medio bassa con catture che si aggiravano attorno al valore soglia (8.000/10.000) (Faccoli e Stergulc, 2004) con la maggior parte degli individui all'interno dei fusti rimasti atterra dallo schianto. A partire dal 2021 si è notato un sensibile aumento delle catture; nel 2022 l'aumento invece è stato vertiginoso, favorito da un inverno mite e un'estate particolarmente calda e seccata. Questo innalzamento delle catture è stato influenzato dalla situazione di elevato stress termico e idrico che ha influito negativamente sulle capacità di difesa naturali delle piante, che hanno offerto un substrato facilmente colonizzabile. Nella maggior parte delle aree monitorate, sono stati registrati tre picchi di cattura, costituiti dal volo primaverile degli insetti svernanti, uno successivo dalla generazione sorelle<sup>4</sup> ed infine uno ad inizio agosto, ovvero la seconda generazione che andrà a produrre gli individui che dovranno affrontare l'inverno (Battisti, 2023).

---

<sup>4</sup> generazione sorella: insetti svernanti che non danno luogo alla prima generazione ma, dopo un mese circa da essa, vanno in cerca di nuovi alberi da colonizzare (spesso sono individui che hanno dovuto maturarsi sessualmente o che devono completare la deposizione delle uova all'interno di altri ospiti).

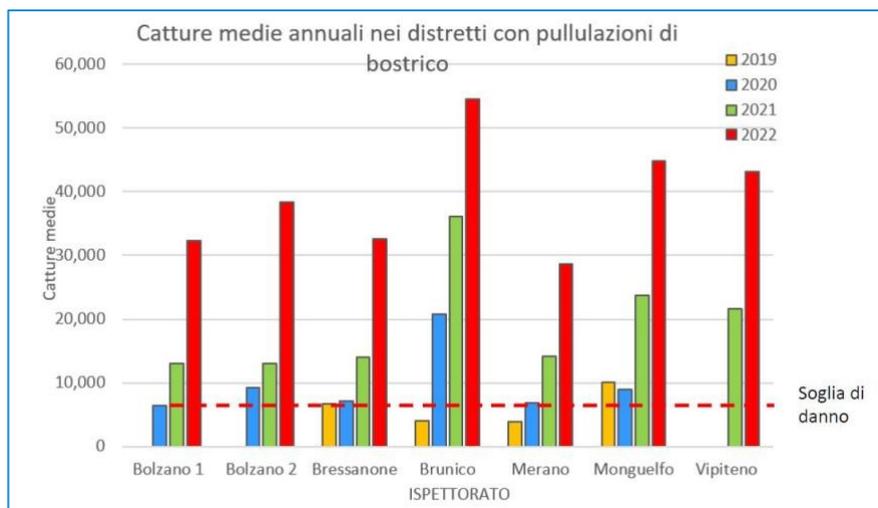


Figura 2 - Catture totali di *I. typographus* dal 2019 al 2022 nelle trappole a feromoni predisposte nei distretti forestali della provincia di Bolzano. (Battisti, 2023)

La cosa che ci fa allarmare maggiormente è che questi tre picchi sono stati riscontrati fino al limite superiore della pecceta, cosa sicuramente abnorme siccome sono dati associabili alle quote medio-basse; questo a testimonianza della stagione calda e seccata che si è protratta per tutto il 2022, anno di picco dell'infestazione, successivamente al quale ci si aspetta un calo della popolazione, sia per la stagione estiva piovosa del 2023, sia per una stabilizzazione di meccanismi di regolazione densità-dipendenti (Marini *et al.*, 2017). Nonostante ciò, però, la stagione invernale tra il 2023 e il 2024 non ha riscontrato temperature molto rigide. Di conseguenza ci si può aspettare nuovamente una presenza importante degli individui all'interno delle nostre peccete dato che il calo previsto è stato rallentato da un maggior numero di bostrici svernanti.

### 1.3 Bostrico, morfologia e biologia

*Ips typographus* L., comunemente chiamato bostrico tipografo dell'abete rosso, è un coleottero scolitide di circa 4-5mm di lunghezza che sviluppa il proprio ciclo biologico nelle peccete europee ed asiatiche. È un parassita che colpisce soprattutto gli abeti rossi (*Picea abies*) in situazioni di stress durante l'estate per poi affrontare l'inverno in forma adulta sotto corteccia. Il corpo è di forma cilindrica e bruno-nerastra, gli adulti ancora immaturi possiedono colorazioni e sfumature giallastre, tendenti all'ocra. Presentano dimorfismo sessuale, i cui tratti sono stati indicati e definiti per la prima volta da Schlyter & Cederholm nel 1981. Sul pronoto, parte anteriore del corpo, sono presenti delle setole

che nelle femmine si trovano in maggior concentrazione. Esse vengono infatti utilizzate per orientarsi sotto corteccia durante lo scavo della galleria principale in cui verranno deposte le uova. Nei maschi è possibile osservare il tubercolo frontale più sviluppato e la spina elitrale centrale più pronunciata ed appuntita. Il fine è quello di difesa, utile quando i maschi, durante la fase di penetrazione all'interno dell'ospite, scavando usano le proprie mandibole, vengono attaccati posteriormente da un secondo individuo che viene appunto respinto dall'uso di tali spine.

Il bostrico è un insetto fortemente legato alla temperatura. In primavera, gli adulti riprendono il nutrimento quando la temperatura sale a 7°C (Vité, 1952) e sono necessari almeno 16.5°C (Lobinger, 1994) per il loro involo dopo lo svernamento, anche se la temperatura ottimale varia da 22°C ai 26°C (Funke and Petershagen, 1994; Lobinger, 1994). Inoltre, per un completo sviluppo dell'individuo adulto, sono necessari dai 334 (Wermelinger and Seifert, 1998) ai 365 gradi-giorno<sup>5</sup> (Abgrall and Juvy, 1993). Durante il giorno, l'individuo adulto vola approssimativamente dalle 9:00 di mattina fino alle 18:00 di sera con un picco verso mezzogiorno/primo pomeriggio quando le temperature sono più elevate. I primi individui che si involano sono i maschi, pionieri nel cercare e colonizzare gli abeti più suscettibili, attirati dai terpeni ed etanolo emessi dall'albero sofferente. Una volta colonizzato l'ospite con le escavazioni delle celle nuziali, i maschi rilasciano particolari ferormoni: di aggregazione per richiamare i maschi conspecifici, e sessuali per attirare le femmine pronte per l'accoppiamento. Anche la fase riproduttiva è dipendente dalla temperatura difatti al di sotto dei 11.4° C non avviene nessuna ovideposizione; la temperatura ottimale per questa fase varia dai 29-30°C, ogni femmina depone circa 80 uova (Heidger, 1994) solitamente ai lati delle gallerie materne (Schlyter and Zhang, 1996). Le gallerie scavate dalla femmina si estendono per circa 15 cm dalla camera nuziale dove avviene l'accoppiamento. Se nelle vicinanze sono presenti due femmine, le gallerie si sviluppano in direzione opposta ma sempre disposte in maniera perpendicolare al terreno; nel caso in cui siano presenti tre femmine contemporaneamente, esse creano le gallerie con la caratteristica forma a 'Y'. Si può facilmente distinguere l'origine delle gallerie dalla presenza o meno della segatura dato

---

<sup>5</sup> Gradi-giorno: quantità di gradi centigradi giornalieri al di sopra della soglia minima di temperatura dell'insetto. Sommati quotidianamente durante un periodo continuativo porta al completamento dello sviluppo e ciclo vitale.

che le femmine, man mano che erodono il tessuto legnoso, lo puliscono lasciando il passaggio libero a differenza dei maschi che lasciano lungo il percorso la segatura mescolata agli escrementi. Dopo la schiusa delle uova, le larve iniziano e concludono il proprio sviluppo all'interno dell'ospite alimentandosi del floema creando nuove gallerie, dette gallerie larvali, che si estendono senza mai incrociare quelle degli altri individui. Con la conclusione degli stadi larvali, avviene la metamorfosi all'interno della cella pupale situata al termine della galleria. I neo-adulti appena formati, ripercorrono le gallerie delle larve nutrendosi del floema rimasto per completare il proprio sviluppo prima di uscire e colonizzare un nuovo ospite. Per un completo sviluppo dell'individuo adulto sono necessarie circa 7-8 settimane. Dopo tale periodo avviene l'involto che consiste nell'individuare un nuovo ospite idoneo per dar luogo ad un'altra generazione o per localizzarsi con lo scopo di superare l'inverno. L'entrata in diapausa invernale dello scolitide è condizionata dal fotoperiodo oltre che dalla temperatura (Doležal *et al.*, 2007); quando il fotoperiodo è inferiore a 16h, il metabolismo del bostrico cessa dando via a questa forma di stasi, mentre quando la temperatura arriva a 5°C smette di nutrirsi. Durante l'inverno, perciò, gli individui adulti cercano di allocarsi al di sotto di cortecce abbastanza spesse per isolarsi dalle temperature rigide che al di sotto dei 0°C bloccano il movimento e sotto i -10°C ne causano la morte (Faccoli, 2002). Gli ospiti preferiti dagli insetti per cercare di superare l'inverno sono sempre quelli con età molto elevata, dai 70 ai 100 anni, dal momento che offrono una corteccia con un buon spessore. Durante la diapausa solitamente sopravvive solamente una percentuale di individui adulti, mentre le forme larvali, siccome non possiedono particolari rivestimenti, muoiono totalmente. Questa tendenza sta però cambiando negli ultimi anni a causa degli inverni poco rigidi e questo condiziona una maggior presenza di scolitidi all'involto primaverile (Battisti *et al.*, 2020). Superato l'inverno, i primi scolitidi ad uscire dal sotto corteccia sono i maschi (Lindelöw and Weslien, 1986), dato che è loro il compito di colonizzare nuove piante dove successivamente arriveranno le femmine per la fase riproduttiva. Questa precocità di involto da parte dei maschi è sicuramente aiutata dal fatto che molto spesso essi scelgono di ibernarsi in prossimità della superficie del terreno (Annala, 1971) poiché l'aumento delle temperature in primavera favoriscono la loro ripresa, anche se ciò comporta il rischio di predazioni e di subire l'effetto delle minor temperature durante l'inverno (Lindelöw and Weslien, 1986). La distanza di dispersione degli individui può



#### 1.4 Mortalità invernale

La stagione invernale è una fase cruciale per quanto riguarda la popolazione degli insetti che l'anno successivo colonizzeranno nuove piante. Negli ultimi due decenni sono stati portati avanti diversi studi in tutta Europa per analizzare la percentuale di mortalità del bostrico e i fattori che maggiormente la condizionano. Non è possibile generalizzare i dati raccolti in tutti gli areali europei poiché ci sono differenze abbastanza marcate dal punto di vista meteorologico e climatico anche se tutte sono accumulate da un aumento medio delle temperature stagionali. Differenti fasce climatiche condizionano il numero di generazioni che il bostrico può effettuare durante la stagione estiva e di conseguenza anche lo stadio in cui si ritrovano a superare l'inverno (Wermelinger and Seifert, 1999). In Italia, grazie ad estati parecchio lunghe e calde, il bostrico può dar luogo quasi sempre alla seconda generazione (Annala, 1969; Austarå *et al.*, 1997; Christiansen and Bakke, 1998; Coeln *et al.*, 1996; Faccoli, 1999) e a quote più basse anche ad una terza. Solitamente gli unici individui in grado di sopravvivere alle avversità invernali sono gli adulti, in particolare in Nord Europa, invece, sulle Alpi le condizioni ambientali favorevoli hanno permesso lo svernamento di individui immaturi (Ambrosi and Angheben, 1986).

Il luogo principalmente utilizzato per lo svernamento è sotto la corteccia anche se una buona percentuale (10%, Biermann, 1977) preferisce la lettiera alla base dell'abete rosso. Durante uno studio fatto da Faccoli (2002), durante l'inverno del 1997/98 a circa 1100 m s.l.m. nelle Alpi sud-orientali, si è osservato un calo del 49% degli individui nel periodo che intercorre da novembre ad aprile. È stato inoltre osservato che nel tardo autunno, nello strato sottocorticale, sono presenti molti individui in stadi larvali o di pupa appartenenti alla seconda o terza generazione non completata; cosa non confrontabile con la primavera successiva dato che è stata riscontrata solamente la presenza di individui adulti (Faccoli, 2002).

Le principali cause della morte invernale dell'insetto sono associate alle basse temperature e alle scarse riserve lipidiche contenute nell'organismo (Maslov and Matusevich, 1990). È stata osservata una mortalità maggiore in popolazioni di individui ibernanti a temperature di circa 5°C a differenza di temperature sotto lo zero di 5 o 10°C a causa di un aumento del metabolismo associato ad un rapido esaurimento delle scorte

(Košťal *et al.*, 2001). La loro resistenza al freddo è prevalentemente collegata alla capacità di accumulo di zuccheri e polioli all'interno dell'emolinfa che ne abbassano il punto di congelamento (Košťal *et al.*, 2007, 2011, 2014).

Poiché la corteccia dell'abete rosso isola dal freddo ma non in maniera perfetta, nel Nord-Europa è stato scoperto che questi coleotteri sono in grado di svernare all'interno di alberi caduti a terra o nella lettiera, coperti interamente di neve (Botterweg, 1982; Christiansen and Bakke, 1998) resistendo a temperature che arrivano a -30°C (Annala, 1969). In Italia sopravvivono principalmente riparandosi al di sotto della corteccia di alberi in piedi (Ambrosi and Angheben, 1986) date le temperature mediamente inferiori.

La proporzione di una popolazione di individui che rimane sotto corteccia durante l'inverno aumenta con l'abbassarsi dell'altitudine (Kasumovic *et al.*, 2019) e questo può essere la conseguenza della variabilità genetica (Stauffer *et al.*, 1999) e della plasticità (Hrašovec *et al.*, 2011; Dworschak *et al.*, 2014) delle popolazioni più antiche di bostrico presenti nel sud e nel centro dell'Europa. (Stauffer *et al.*, 1999). Gli insetti che vivono nelle latitudini meridionali non sono obbligati a lasciare la corteccia durante l'inverno per evitare danni da freddo causate da basse temperature come in Nord Europa. Si può inoltre osservare che alcuni coleotteri sono costretti a lasciare il sito di svernamento a causa dell'elevata presenza di predatori (Kasumovic *et al.*, 2019) e ciò testimonia l'elevata plasticità della specie all'adattamento delle condizioni ambientali. Anche se le situazioni sotto corteccia possono essere mutevoli e differenti in base alla zona in cui ci si trova (Annala, 1969), si ritiene che essa sia un ottimo rifugio per lo svernamento. Košťál nel 2011 ha osservato che la maggior parte di questi scolitidi rimane al di sotto delle cortecce secche poiché il rischio di congelamento è molto basso e Doležal ha inoltre osservato nel 2019 che il rischio di infezioni fungine è minimo in condizioni asciutte. Se in primavera gli insetti si trovano al di sotto dello strato corticale, possono sfruttare una precoce e maggior presenza di nutrienti grazie al riscaldamento da parte delle radiazioni solari (Dworschak *et al.*, 2014). La presenza di maggior nutrienti fa in modo che gli insetti completino lo sviluppo in maniera più rapida e siano in grado di prolungare il periodo di volo per la ricerca di nuovi ospiti da colonizzare (Hrašovec *et al.*, 2011).

La scelta di superare l'inverno nel suolo non è sempre dell'insetto stesso poiché molto spesso si trova in quella situazione tramite la caduta della corteccia durante l'inverno

(Dworschak *et al.*, 2014). La caduta di quest'ultima può essere associata ad un deperimento del tessuto o a causa delle alte densità di colonizzazione dell'insetto che possono provocare spellatura dello strato corticale durante l'inverno (Dworschak *et al.*, 2014). Questo processo passivo di caduta potrebbe spiegare i risultati misti degli studi effettuati che riportano il suolo (Schneider-Orelli, 1947; Franz, 1948a, 1948b; Kuhn, 1949; Hrasovec *et al.*, 2011) o l'albero ospite (Biermann, 1977; Zumr, 1982; Harding e Ravn, 1985; Onysko e Starzyk, 2011) come sito di svernamento per il coleottero. Questo tipo di meccanismo passivo risultava ancora più chiaro nel momento in cui il numero di individui emergenti dal sottosuolo in primavera era inferiore alle aspettative, dato che erano state rimosse le cortecce cadute in prossimità delle trappole (Dworschak *et al.*, 2014). Di conseguenza è stato dimostrato che un numero significativo di individui presente nel sottosuolo non ha lasciato attivamente la posizione sottocorticale, ma è caduto a terra assieme al materiale larvale. Inoltre, tutto ciò è possibile associarlo ad alcuni studi precedenti (Bender, 1948; Kuhn, 1949; Biermann, 1977; Botterweg, 1982) che hanno osservato la presenza di un minor numero di individui man mano che ci si allontanava dagli alberi infestati.

Oltre alle basse temperature, l'incapacità di superare l'inverno può essere determinata anche dalla proliferazione di batteri e parassiti all'interno delle gallerie, come per esempio *Beauveria bassiana*, fungo ascomicete che attacca acari e insetti, ricoprendo le vittime di micelio biancastro. Un altro problema può essere la presenza di parassitoidi o predatori che prima di entrare in diapausa vengono attirati in zone del tronco ampiamente infestate da pupe o larve di bostrico, per esempio il *Thanasimus formicarius*.

La mortalità invernale è dunque condizionata sia da fattori abiotici (temperatura, densità di popolazione) che da fattori biotici (antagonisti naturali).

### 1.5 Dannosità su *Picea abies*

Come indicato più volte in precedenza, il bostrico tipografo è la causa principale della moria dell'abete rosso delle Alpi italiane, anche se la sua presenza è fondamentale all'interno dell'ecosistema forestale per la selezione e mantenimento di genotipi resistenti.

Prima di colonizzare un ospite, il coleottero seleziona attentamente gli alberi per individuare quelli più suscettibili, in modo tale da perforare la corteccia con facilità. Durante la penetrazione all'interno del floema secondario, porta con sé simbionti molto spesso patogeni per la pianta che proliferano vicino alla zona del cambio dato che sono state oltrepassate le strutture di difesa della pianta (Franceschi *et al.*, 2000).

I meccanismi di difesa dell'abete si possono riassumere in tre categorie che sono state studiate attentamente sia in campo che in laboratorio (Baier, 1996a, b; Rohde *et al.*, 1996). La prima azione è quella di far fuoriuscire della resina nella zona in cui viene esercitata la prima penetrazione da parte dell'insetto (difesa costituzionale) (Paine *et al.*, 1997). Quando questo tipo di resistenza viene esaurito, si innesta il secondo meccanismo che consiste nella modificazione del metabolismo locale attorno al buco d'ingresso dell'insetto. Questa operazione viene detta difesa indotta poiché vengono prodotti appositamente dei composti difensivi come la procianidina che compromettono l'insediamento di una futura covata (Rohde *et al.*, 1996). L'ultimo meccanismo che la pianta è in grado di effettuare è quello di produrre in maggior quantità proteine al posto di carboidrati; operazione con lo scopo di rendere disponibile minor cibo per gli scolitidi aumentando invece le sostanze di difesa (Wermelinger, 2004). Questa ultima operazione è associata ad una reazione alla ferita in cui si formano nuovi tessuti peridermici e nuovi dotti resinosi (Wermelinger, 2004).

Per essere in grado di causare gravi danni agli abeti, gli insetti devono colonizzare l'ospite in massa, ciò avviene dopo che i primi individui pionieri penetrano la corteccia, esauriscono le difese dell'albero e rilasciano ferormoni di richiamo (Lieutier, 2002). Queste sostanze volatili attirano velocemente centinaia di bostrici provocando un attacco di massa; questi tipi di colonizzazione possono portare rapidamente la morte della pianta (Wood, 1982).

Il danno più importante non avviene con la colonizzazione degli individui adulti, ma si crea successivamente alla nascita delle larve con la schiusa delle uova. Dato che il diametro iniziale dei tunnel dei primi stadi larvali è di pochi millimetri (Vega *et al.*, 2014), il danno di escavazione potrebbe non essere sufficiente per provocare elevati stress alla pianta. Si iniziano a creare seri problemi con lo sviluppo delle larve dato che scavano gallerie orizzontali di maggior dimensione e ad un nuovo attacco da parte di adulti con simbionti nello stesso momento (Paine *et al.*, 1997; Lieutier *et al.*, 2009).

Come puntualizzato in precedenza, il deperimento di un albero infestato non è il solo risultato della presenza del bostrico ma anche dei funghi simbionti come le specie di *Ophiostoma* e *Ceratocystis* (Paine *et al.*, 1997; Lieutier, 2002). Questi funghi sono veicolati principalmente sul pronoto e sulle elitre del coleottero (Furniss *et al.*, 1990). Rispetto ad altri insetti xilofagi, il *I. typographus* è l'organismo che trasporta più funghi patogeni per le piante (Krokene e Solheim, 1996). Le specie di funghi più virulente e frequenti che sono state estratte dalle gallerie del tipografo sono: *Endoconidiophora polonica* (Harrington, 2005; Six, 2013) e *Grosmannia penicillata*, quest'ultima di disperse grazie a spore appiccicose (Furniss *et al.*, 1990). I funghi veicolati all'interno del tronco possono seccare il tessuto legnoso e provocare la chiusura dei vasi linfatici (Paine *et al.*, 1997). Perciò le dinamiche di un'epidemia sono molteplici e dipendono soprattutto da clima, periodi di siccità, tempeste e da altri fattori di stress, come la predisposizione di essere suscettibili o meno da parte delle piante (Wermelinger, 2004).

### **1.6 Antagonisti naturali di *Ips typographus***

All'interno dell'ecosistema forestale sono presenti molti nemici naturali, tra cui insetti. I più abbondanti sono i coleotteri predatori (Cleridae), i ditteri (Dolichopodidae) e le vespe parassitarie (Pteromalidae, Braconidae) (Eck, 1990<sup>o</sup>, b; Schopf e Kohler, 1995; Weslien e Schroeder, 1999; Wermelinger, 2002). I parassitoidi individuano i loro ospiti attraverso stimoli ottici, tattili, vibranti, termici o olfattivi. Alcuni studi sulle vespe hanno dimostrato che l'individuazione dell'ospite avviene attraverso sostanze volatili come monoterpeni ossigenati (Mills *et al.*, 1991). Altri invece, come i coleotteri cleridi, captano attraverso dei recettori i ferormoni rilasciati dalle prede (Bakke e Kamme, 1981; Aukema *et al.*, 2000; Zhou *et al.*, 2001). La presenza di insetti predatori è direttamente proporzionale alla presenza del bostrico, difatti in una regione in cui è presente una pullulazione del

tipografo è possibile trovare una presenza del coleottero *Thanasimus formicarius* (L.) fino a dieci volte superiore rispetto ad una regione non colpita (Weslien, 1994). Il lavoro di questo coleottero è fondamentale per la gestione del bostrico poiché ricopre il ruolo da predatore sia in stadio larvale che stadio di adulto. Ogni larva è in grado di predare fino a 50 larve di bostrico durante il proprio sviluppo (Heidger, 1994; Hérard and Mercadier, 1996; Dippel *et al.*, 1997) mentre l'individuo adulto fino a 100 insetti (Heidger, 1994). I parassitoidi dello scolitide sono influenzati maggiormente dal lavoro dell'uomo rispetto al loro ospite, difatti si trovano in concentrazioni maggiori in foreste naturali (Weslien e Schroeder, 1999). Questa teoria è dimostrata dal fatto che quest'ultimi colonizzano gli alberi bostricati non simultaneamente e ci rimangono più a lungo nel tempo (Weslein e Ragnander, 1992), subendo molto spesso l'estirpo della pianta durante i lavori di gestione forestale.

Oltre agli insetti, possono esserci altri organismi che provocano mortalità come per esempio gli acari. Questi organismi rimangono attaccati sul coleottero in determinate posizioni come, per esempio, il *Dendrolaelaps quadrisetus* che si colloca sotto le elitre mentre *T. polytricha*, *U. ipidis*, e *U. vinicolora* in varie posizioni (Moser e Bogenschütz, 1984; Feketová, 2011; Vrabec *et al.*, 2012). L'acaro parassita più abbondante in assoluto è il *D. quadrisetus* (Moser e Bogenschütz, 1984; Moser *et al.*, 1989; Gwiazdowicz *et al.*, 2011) che viene considerato predatore delle uova poiché le femmine di acaro sono state osservate mentre ne succhiavano il contenuto (Kiełczewski and Bałazy, 1966).

Si è osservato inoltre che possono essere presente più di una specie di acari contemporaneamente sullo stesso individui (Bajerlein *et al.*, 2024) come per esempio del tipo Uropodina possono esserci fino a 4 specie tra cui la più presente è *Trichouropoda polytricha* che coesiste molto bene con *Uroobovella obovata* (Bajerlein *et al.*, 2024).

Ci son molti studi che dimostrano la costante presenza di questi organismi durante il ciclo biologico del bostrico, anche se si stima che ci siano fino a 60 specie di acari all'interno delle gallerie che potrebbero in qualche modo influenzare l'attività dell'insetto (Gwiazdowicz, 2008).



Figura 4 – *T. formicarius* mentre predava *I. typographus*

### 1.7 Obiettivi dello studio

L'obiettivo dello studio è quello di confrontare la presenza sotto corteccia di *I. typographus* nel periodo di pre-svernamento degli inverni 2022-2023 e 2023-2024, date condizioni climatiche differenti nelle due estati antecedenti. Sono state esaminate e analizzate porzioni di corteccia campionate ad altitudini differenti per osservare il numero di individui presenti e il loro stadio di sviluppo, ipotizzando che ad altitudini più basse fosse presente un numero maggiore di individui e in stato etologico avanzato. La densità attesa nel 2023 rispetto al 2022 era inferiore poiché la stagione estiva del 2023 è stata molto piovosa e mite rispetto alla precedente. Il lavoro effettuato analizza numerosi campioni di corteccia, prelevati a diverse quote e diverse esposizioni (nord, sud) con lo scopo di valutare il ruolo della radiazione sull'attività di svernamento; come ultima cosa, ma non per importanza, viene effettuata una sex-ratio per osservare la proporzione tra maschi e femmine che è in grado di prepararsi per superare l'inverno. Tutto questo lavoro ha lo scopo di prevedere la densità dell'attacco degli individui adulti per la stagione successiva.

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 Area di studio

Per il corrente studio è stato deciso di utilizzare campioni prelevati all'interno delle provincie di Belluno, Bolzano, Trento, Udine e Vicenza. Le caratteristiche pedoclimatiche dei vari siti di campionamento variano a seconda dell'altimetria e dell'altitudine considerata. Le Alpi Orientali, luogo dove sono stati svolti i prelievi, si diramano dal Passo del Brennero alla città di Fiume e si suddividono in: Alpi Noriche, Dolomiti, Alpi Carniche, Alpi Giulie, Caravanche, Alpi Salisburghesi, Alpi Austriache, Prealpi di Stria, Prealpi Vicentine e Carso (suddivisione indicata nel documento 'Nomi e limiti delle grandi parti del Sistema Alpino' del 1926). Dal punto di vista pedologico ci siamo trovati di fronte ad aree aventi caratteristiche molto differenti: presenza di rocce metamorfiche nelle Alpi meridionali, porfiriche in Alto-Adige, sedimentarie nelle Alpi Carniche ed infine carbonatiche nelle Prealpi Vicentine.

### 2.2 Siti di raccolta

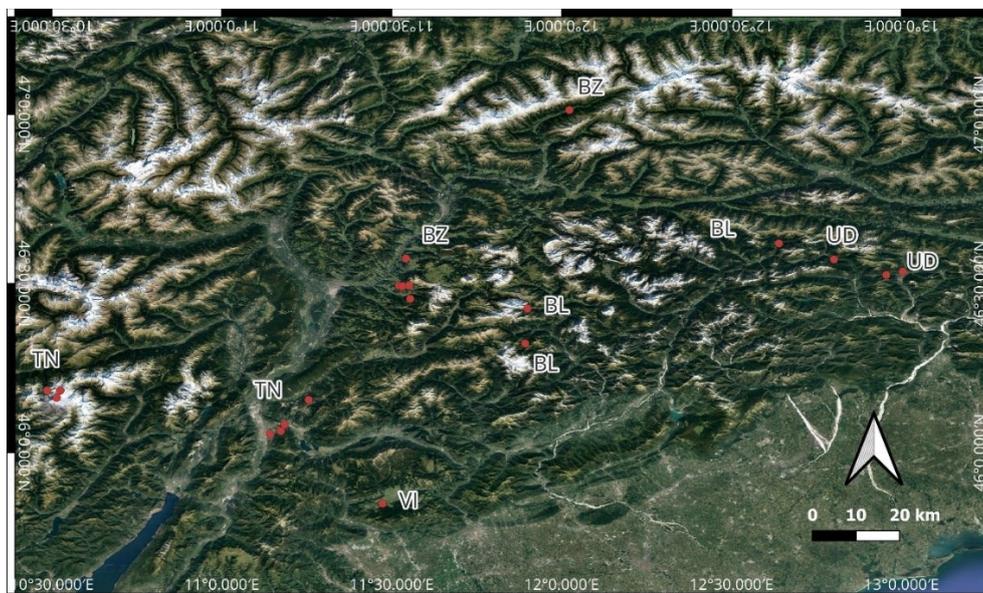
La caratteristica principale che accomuna i luoghi delle Alpi italiane è la vasta presenza di abete rosso di origine antropica, tipicamente visibile grazie ad un limite inferiore di demarcazione tra le foreste di latifoglie e ciò comporta molti problemi per quanto riguarda eventuali eventi climatici e l'infestazione del bostrico tipografo anche perché le peccete diffuse sono spesso coetaneiformi. Il clima di queste aree è tipicamente alpino anche se è possibile constatare differenze di temperatura e precipitazioni durante l'anno grazie alla differente conformazione del territorio.

Località	Coordinate geografiche	
	X	Y
BL - Canale d'Agordo	11,897673	46,321598
BL - Malga Ciapela	11,899767	46,425745
BL - Cima Canale	12,639549	46,618678
BZ - San Giorgio/Brunico	11,55116	46,4942
BZ - San Lorenzo/San Stefano	11,55465	46,45438
BZ - Valle Aurina/Luttach	11,54193	46,57374
BZ - Valle Aurina/St Peter	12,02294	47,01305

BZ - Falzes/Kirckholz	11,52139	46,49371
BZ - Falzes/Bachstockl	11,53129	46,49189
TN - Val di Fiemme/Cadino	11,25569	46,15578
TN - Valle dei Mocheni/Riposo	11,14223	46,0537
TN - Valle dei Mocheni/Sant'Orsola	11,17359	46,06335
TN - Valle dei Mocheni/Redebus	11,18509	46,08287
TN - Val di Sole/Carciato	10,5247	46,1836
TN - Val di Sole/bivio malga Dimaro	10,5138	46,1623
UD - Museis	13,0041	46,535
UD - Rigolato	12,8019	46,5712
UD - Val Negalt	12,9557	46,5252
VI - Cesuna	11,47353	45,84864

*Tabella 1 – Coordinate geografiche delle aree di studio*

Le zone indicate con precisione in tabella 1 sono state le stesse su cui si sono svolti i prelievi della stagione precedente, così è stato possibile effettuare un confronto con i dati aventi differenze solamente dal punto di vista temporale e climatico.



*Figura 5 - Localizzazione dei siti di campionamento*

### 2.3 Metodologia di campionamento:

Per ogni area di studio sono state individuate tre piante a tre diverse quote comprese tra 600 e 1500 m.s.l.m. e, da ognuna, sono stati prelevati due campioni di corteccia, uno esposto a sud e uno a nord.

La raccolta dei campioni è avvenuta in un arco di tempo che varia dalla fine di novembre alla fine di gennaio sia per la stagione 2022/2023 che per la stagione 2023/2024, mentre l'analisi in laboratorio si è protratta da inizio dicembre a circa metà marzo. Il campionamento è stato effettuato su piante in piedi per motivi logistici e ad altezza d'uomo. Per il prelievo è stato utilizzato un estrattore circolare in acciaio (figura 6), costruito appositamente per questa tipologia di lavoro, provvisto di un manico e saldato attraverso una staffa su un cilindro avente diametro di 13 cm. La componente cilindrica che poggia sul fusto dell'albero è composta da una lama affilata in modo tale da facilitare la penetrazione nel tessuto corticale nel momento in cui l'operatore utilizza un martello per battere nel bordo dell'attrezzo. Le misure sono state scelte appositamente per poi porre il campione all'interno di piastre di Petri areate, successivamente sigillate per la conservazione. Su tali piastre sono stati annotati sito, data di campionamento e quota.



*Figura 6 – Prelievo dei campioni con l'utilizzo dell'estrattore*

## 2.4 Conservazione campioni

Le piastre contenenti i campioni sono state conservate in cella al buio a 4°C per indurre l'ibernazione degli insetti. I campioni analizzati sono stati prelevati durante le varie sessioni di analisi con lo scopo di evitare un continuo sbalzo di temperatura che avrebbe provocato danni alla salute dei coleotteri vivi, dato che la temperatura media del laboratorio dove si è svolto il lavoro si aggirava attorno ai 20°C.

## 2.5 Analisi campioni

Per l'analisi dei campioni si è proceduto in primis alla distruzione meccanica delle cortecce, ovvero si è rotto manualmente il campione in piccoli pezzi, soprattutto lungo le gallerie, in modo da estrarre gli individui presenti. Per determinare lo stadio di sviluppo di ogni individuo è bastato osservare la colorazione esterna: gli adulti immaturi presentavano colorazioni che variano dal giallo al marrone scuro, a differenza di adulti maturi che erano di color nero. Oltre alla tipologia di stadio di sviluppo, i coleotteri sono stati suddivisi tra vivi e morti attraverso la valutazione visiva come descritto da Faccoli (2002), annotando i casi di parassitismo da fungo. Si è inoltre proceduto al sessaggio degli individui; si è effettuata questa operazione per poter indicare una corretta stima sul rapporto maschi-femmine nel pre-svernamento. Questa operazione è stata completata allo stereoscopio seguendo le chiavi descrittive di Schlyter & Cederholm (1981) illustrate nel paragrafo 1.3.



*Figura 7 – Campione di corteccia in piastra Petri prima della distruzione meccanica. Sono visibili le gallerie di maturazione degli adulti. In basso a destra è visibile un accumulo di rosura prodotta da coleotteri cerambicidi.*

## 2.6 Analisi dati

Come prima cosa sono stati suddivisi gli individui vivi e morti indicandone il numero e lo stadio di maturità. Grazie a questa suddivisione è stato possibile ricavare la percentuale di esemplari adulti che hanno raggiunto la maturità completa prima di entrare in diapausa. In seguito, grazie alla sex-ratio, sono state calcolate le percentuali di maschi e femmine presenti nel pre-svernamento del 2023 ed infine indicata l'eventuale presenza di pupe o larve. Dopo la separazione degli insetti, il lavoro successivo è stato quello di calcolare la densità degli individui per un'unità di superficie pari a 1 dm<sup>2</sup> rielaborando i dati che si riferivano a campioni di dimensione pari a 1,767 dm<sup>2</sup> (equivalente ad un raggio di 1,3 dm dell'estrattore). In conclusione, è stata annotata la presenza di antagonisti del bostrico ed eventuali altri insetti xilofagi che potrebbero competere nel sito di svernamento con il nostro scolitide oggetto di studio. Il confronto effettuato tra i dati raccolti durante l'inverno del 2022 e del 2023 è stato suddiviso in base alle province di campionamento e altimetria, confrontando inizialmente la totalità degli individui trovati, poi i vivi, i morti ed infine la presenza di eventuali larve vive.

## 2.7 Analisi statistiche<sup>7</sup>

Le differenze tra il numero di individui nelle diverse province ed annate sono state analizzate tramite analisi della varianza. Le variabili risposta sono il totale di individui, il totale di individui vivi e il totale di individui morti, standardizzati per dm<sup>2</sup> (trasformate tramite logaritmo per rispettare le assunzioni di normalità); le variabili esplicative categoriche sono la provincia (cinque livelli), l'annata (due livelli) e l'interazione tra le due variabili.

Le differenze tra il numero di individui nelle diverse quote altitudinali ed annate sono state analizzate tramite analisi della varianza. La variabile risposta è il totale di individui standardizzato per dm<sup>2</sup>(trasformato tramite logaritmo per rispettare le assunzioni di normalità); le variabili esplicative categoriche sono la quota (tre livelli), l'annata (due livelli) e l'interazione tra le due variabili.

---

<sup>7</sup> Ringrazio il dott. Giacomo Santoiemma che mi ha aiutato con l'elaborazione dati attraverso analisi statistiche parametriche e non parametriche.

Per ciascun modello, sono stati effettuati confronti statistici tra le due annate per ciascuna provincia o quota. Le differenze tra il numero di larve nelle diverse annate sono state analizzate tramite test non parametrici di Kruskal-Wallis per ciascuna provincia, dato l'elevato numero di zeri che viola le assunzioni di normalità. Le analisi sono state svolte tramite il software R (R Core Team, 2021).

### 3 Risultati

#### 3.1 Numerosità individui sotto corteccia

Sono stati analizzati 350 campioni nell'arco delle due stagioni di prelievo, da cui sono stati estratti circa 4400 individui di cui circa 3000 vivi.

Nel pre-svernamento del 2023, analizzando 154 campioni, sono stati trovati in totale 1241 individui della specie *I. typographus*, di cui 755 esemplari vivi e 486 morti. Gli individui a loro volta sono stati suddivisi in 1059 adulti, 20 pupe e 162 larve. Delle 162 larve, solamente 2 sono state trovate morte. Degli individui adulti che è stato possibile sessare, il 52% è risultato maschio e il 48% femmina (tabella 2).

<b>Sex-ratio</b>	<b>N° Individui</b>	<b>%</b>
maschi	294	52
femmine	270	48
totale	564	100

*Tabella 2 – Numerosità e percentuale degli individui suddivisi per sesso*

In più è stato possibile osservare in base alla colorazione dell'adulto se esso si trovava in uno stadio di maturazione completa o no. Su 1059 adulti, solo 84 esemplari erano immaturi, rappresentando solamente il 7,9% del totale degli adulti.

<b>Stadio</b>	<b>Numerosità</b>	<b>% sul Tot 2023</b>	<b>% sul Tot 2022</b>
Larve	162	13,2	3,1
Pupe	20	1,6	0,0
Adulti Immaturi	84	6,7	14,7
Adulti Maturi	975	78,5	82,2
Totale	1241	100	100

*Tabella 3 – Numerosità e percentuali degli individui in base al proprio stadio di sviluppo nel 2022 e 2023*

Come si può osservare dalla tabella 3, i risultati ottenuti circa la fase di sviluppo del bostrico tipografo testimoniano che l'insetto abbia raggiunto lo stadio di adulto nell'85,2% dei casi prima dell'invernamento, di cui nel 78,5% con maturazione completa.

Dei 468 insetti morti, 45 sono ad opera di funghi (probabilmente *B. bassiana*), poiché, dopo la loro estrazione, è stata riscontrata la presenza del micelio fungino biancastro attorno all'individuo. Oltre al fungo parassita, sono stati trovati 9 predatori (*T. formicarius*) morti all'interno delle gallerie.

Oltre alla presenza di *I. typographus*, è stato ritrovato un altro scolitide, il *Polygraphus poligraphus*, in numero di 310 esemplari di cui 111 individui in stadio larvale.

Infine, oltre alle larve degli scolitidi, ne sono state trovate altre due tipologie: cerambicidi xilofagi e ditteri predatori e saprofagi. Le larve di cerambicidi, di volume molto variabile e di colorazione biancastra, sono state 17, mentre quelle dei ditteri, di dimensione minore e con colorazioni che viravano dall'arancione al marroncino, sono state 137.

### 3.2 Confronto dati pre-svernamento 2022 e 2023

Il numero totale degli individui trovati all'interno di un dm<sup>2</sup> di corteccia nella stagione 2023 è stato significativamente inferiore rispetto a quello del 2022 (Tabella 4).

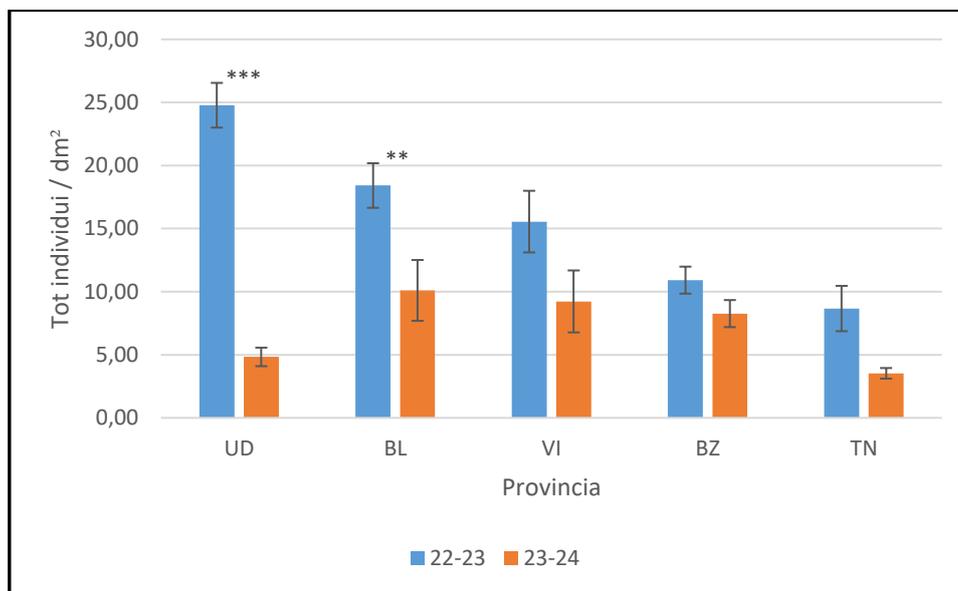


Figura 8 – Totale individui di *Ips typographus* per dm<sup>2</sup> ( $\pm$  errore standard) suddivisi per provincia nelle due stagioni di confronto, in ordine di abbondanza decrescente nel 2022-2023. Gli asterischi indicano la presenza di differenze significative nel confronto dei valori delle due stagioni per ciascuna provincia (\*\*\*)  $p < 0,01$ ; \*\*)  $p < 0,05$ .

Come si può osservare dalla tabella 4, nel 2022 il dato più eclatante è stato riscontrato nella provincia di Udine con 24,78 esemplari per dm<sup>2</sup> mentre il più basso è stato quello nella provincia di Trento con 8,67 esemplari. Nel 2023 invece, la zona con la maggior presenza di individui è stata Belluno con 10,10 mentre quella con la presenza più bassa è sempre Trento con 3,53. La provincia in cui il numero di individui è diminuito maggiormente è stata Udine con un calo dell'80,5%. Invece, la provincia in cui la presenza è stata pressoché costante, è stata Bolzano poiché nel 2022 gli individui erano 10,92 per dm<sup>2</sup> a differenza del 2023 che sono stati 8,27 con una diminuzione solamente del 24,3%. Si può inoltre vedere che per la stagione 2022 la densità dello scolitide era molto differente tra le provincie; invece, nella stagione 2023 questa differenza si è assottigliata di molto poiché i dati oscillano da 4 individui per dm<sup>2</sup> a un massimo di 10 individui per dm<sup>2</sup>.

<b>Response: log(tot dm<sup>2</sup> +1)</b>					
	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>
provincia	4	30,671	7,6678	10,8738	3,208e-08
annata	1	21,538	21,5381	30,5436	7,351e-08
provincia:annata	4	19,487	4,8717	6,9086	2,543e-05
Residui	286	201,676	0,7052		

*Tabella 4 – analisi della varianza del numero di individui per dm<sup>2</sup> in base alla provincia e all'anno.*

Con l'aiuto di questa analisi statistica si è potuto affermare che le differenze tra gli anni per la provincia di Udine sono altamente significative (Anova:  $p < 0.001$ ) e per la provincia di Belluno sono significative (Anova:  $p = 0.0015$ ). Per le altre tre provincie non sono state riscontrate differenze significative (Anova:  $p > 0.05$ ).

Se il confronto viene esteso invece in base alle fasce altimetriche e non per suddivisione provinciale, si riscontra il risultato riportato in figura 5.

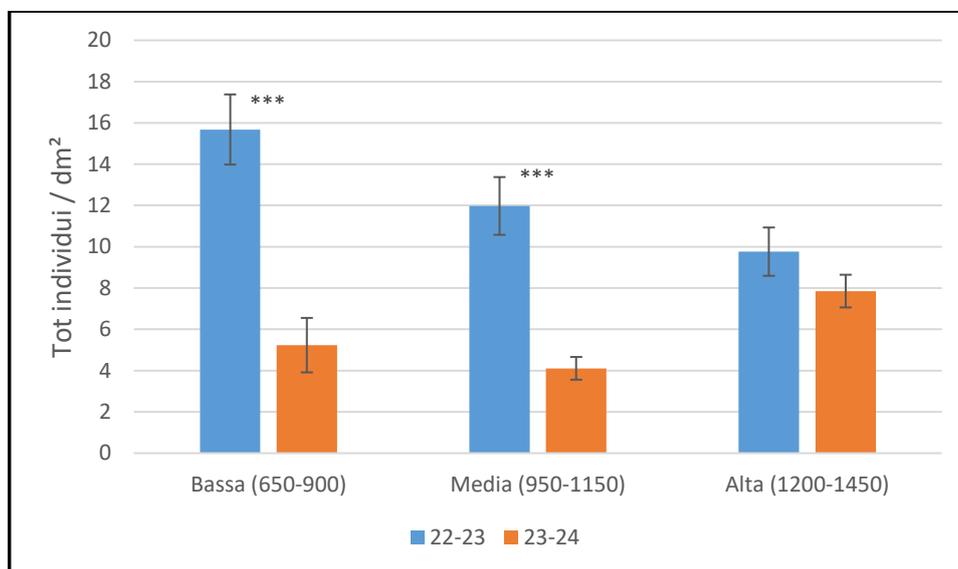


Figura 9 - Totale individui di *Ips typographus* per dm<sup>2</sup> ( $\pm$  errore standard) suddivisi per fascia altimetrica crescente (m) nelle due stagioni di confronto. Gli asterischi indicano la presenza di differenze significative nel confronto dei valori delle due stagioni per ciascuna fascia altimetrica (\*\*\*)  $p < 0,01$ .

Osservando la figura 5 è possibile constatare che la presenza di bostrico tipografo, nel periodo antecedente alla diapausa del 2022, diminuisce con l'aumentare della quota di circa 2.5 individui per dm<sup>2</sup> per anno. Nel medesimo periodo del 2023, la densità è diminuita molto, soprattutto in bassa quota che conta in media 5,2 esemplari per dm<sup>2</sup> con un calo significativo del 66.7% in confronto alla stagione precedente. Anche per le zone situate a quote medie la situazione è simile poiché si è passati da circa 12 individui per dm<sup>2</sup> a 4 individui per dm<sup>2</sup> con un calo significativo del 65.7%. Per quanto riguarda le zone più alte, invece, non si notano differenze significative tra gli anni in quanto la densità è rimasta pressoché invariata, da 9 a 7 individui per dm<sup>2</sup>. Complessivamente si osserva una riduzione della densità con la quota nel 2022 e un aumento nel 2023 (Tabella 5).

<b>Response: log(tot dm<sup>2</sup> +1)</b>					
	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>
fascia altimetrica	2	0,802	0,401	0,5179	0,5963325
annata	1	35,673	35,673	46,0871	6,384e-11
fascia:annata	2	12,427	6,213	8,0272	0,0004045
Residuals	290	224,470	0,774		

*Tabella 5 – analisi della varianza del numero di individui per dm<sup>2</sup> in base all'altitudine*

Osservando i risultati ottenuti, non si riscontrano differenze significative tra le fasce altimetriche nel loro complesso, mentre l'interazione anno per fascia altimetrica mostra che alle basse e medie quote c'è stato un calo significativo ma non alle quote più elevate.

L'analisi della densità riferita agli individui trovati vivi e morti al momento del campionamento non mostra differenze rilevanti rispetto a quella sopra esposta per gli individui totali.

È stato svolto inoltre un confronto della consistenza delle larve vive presenti in ogni provincia campionata.

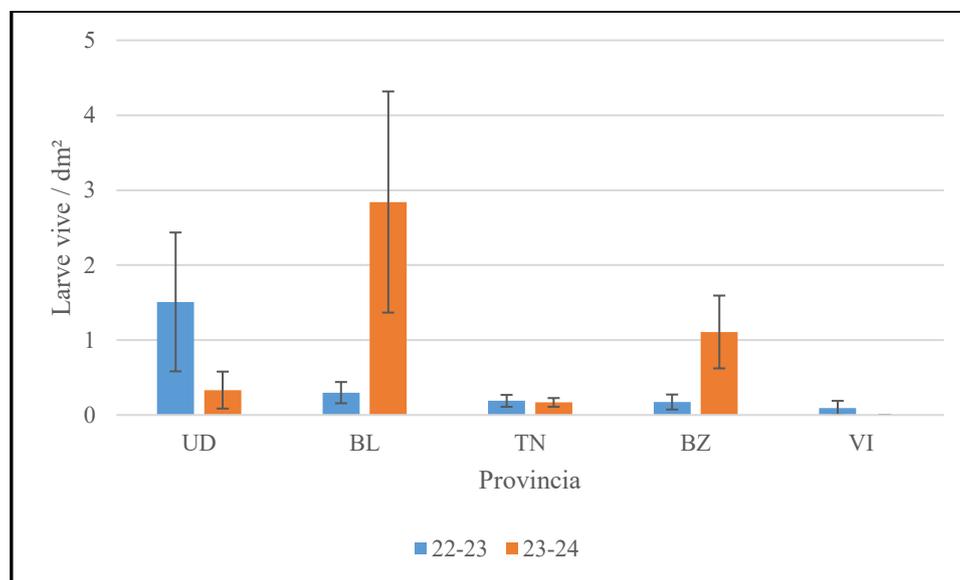


Figura 10 - Totale larve vive di *Ips typographus* per dm<sup>2</sup> (± errore standard) suddivise per provincia nelle due stagioni di confronto

Con i risultati ottenuti attraverso il confronto della presenza di larve vive, si può osservare dalla tabella 8 che, come al solito, la provincia con più concentrazione di individui, in questo caso larve, nel 2022 è Udine con 1.5 esemplari. La presenza di larve è pressoché nulla in provincia di Vicenza in entrambe le stagioni, mentre si osserva un incremento per due provincie. La provincia di Belluno riscontra un aumento nel 2023 di circa 2 larve per campione rispetto il 2022, passando da 0.30 a 2.84 individui per dm<sup>2</sup>. Anche per la provincia di Bolzano la presenza larvale è aumentata, passando da 0.2 a 1.11 esemplari per dm<sup>2</sup>, dando certa la presenza di almeno una larva per unità di misura.

Anche se il numero osservato per queste provincie è più elevato per la stagione appena passata, utilizzando il test statistico non parametrico di Kruskal-Wallis, non è stata riscontrata alcuna differenza significativa. All'interno del grafico le differenze possono essere condizionate da variabili esterne come, per esempio, l'accuratezza nelle procedure di laboratorio.

## 4 Discussione

Dal confronto tra il 2023 e il 2022 emerge un calo della densità di individui di *Ips typographus* che affrontano lo svernamento di circa il 60%. Questo dato testimonia il fatto che l'epidemia del bostrico avviata nel 2019 con gli schianti di Vaia e sostenuta in seguito dai danni della neve è in via di conclusione, come previsto dai modelli di dinamica di popolazione.

La numerosità della popolazione dello scolitide nell'estate del 2023 è stata molto condizionata soprattutto dalle condizioni climatiche a lui avverse. I dati pubblicati da Arpav per il Veneto, Arpa FVG per il Friuli-Venezia Giulia, Meteo Alto Adige per Bolzano ed infine Meteotrentino per Trento, constatano che le precipitazioni nelle zone di prelievo sono state ben al di sopra della norma, soprattutto per il mese di luglio con un accumulo medio di 200 mm di pioggia. Oltre alle elevate precipitazioni, la temperatura media estiva di tali zone è diminuita di circa 2°C rispetto all'anno precedente, con picchi di temperatura massima ben inferiori rispetto a quanto rilevato nel 2022. Date queste considerazioni climatiche rispetto ai due anni a confronto, il risultato finale riguardo il numero degli individui è stato in linea con le aspettative iniziali, poiché le basse temperature e le precipitazioni elevate del 2023 hanno ostacolato in maniera significativa l'attività degli insetti e la loro proliferazione grazie al buon livello delle difese dell'abete rosso, che non ha sofferto stress idrico come nel 2022. Inoltre, nel 2023 si è probabilmente manifestata una forte mortalità dello scolitide pre-svernamento, condizionata da agenti esterni come attacchi fungini o parassitoidi. Si osserva inoltre che la percentuale di individui immaturi nel 2023 è stata del 14.7% rispetto al 6.7% del 2022, a ulteriore conferma delle condizioni climatiche sfavorevoli al bostrico. Questo dato non è sicuramente positivo per il fatto che solitamente gli adulti immaturi non sono in grado di superare l'inverno sotto corteccia. Oltre al fatto del loro quasi sicuro decesso, la sola presenza sicuramente disturberebbe gli individui maturi per l'instaurarsi di una minima competizione nella zona di invernamento, provocando perciò spostamenti inutili che potrebbero condizionare la loro sopravvivenza, condizionata da un eventuale esaurimento delle riserve lipidiche.

Se si osserva il periodo autunnale e invernale, le condizioni climatiche sono state molto favorevoli per il bostrico tipografo a differenza di quelle estive. Osservando i dati climatici dalle fonti meteorologiche citate in precedenza, si può osservare che il mese di settembre è stato un periodo in cui l'insetto ha potuto completare il proprio ciclo al meglio grazie alla bassa piovosità, con una media di 65 mm, e le temperature costantemente alte con una media nelle zone di campionamento di circa 18°C.

Se si osservano i dati confrontati nella figura 6, si può ben vedere che la presenza complessiva di larve è aumentata rispetto l'anno precedente, soprattutto per quanto riguarda le provincie di Belluno e Bolzano (anche se dal punto di vista statistico non è stata riscontrata differenza significativa). Questo dato non è affatto rassicurante poiché, anche se la curva di pullulazione sta diminuendo di molto, la presenza di larve vive durante tutto l'inverno (ritrovate anche su campioni prelevati a gennaio), ci fa capire l'importanza dell'impatto del cambiamento climatico su questa specie. Già in passato, con studi effettuati da parte di Faccoli (2009), hanno dimostrato come il cambiamento climatico influisce riguardo la dinamica delle popolazioni anticipando l'involto primaverile e completando sempre di più le generazioni che solitamente svernano immature o addirittura cercando di formare un'ulteriore generazione. Per la maggior parte dei casi, se l'ultima generazione formatosi si trovava ancora allo stadio larvale, moriva completamente dato che bastavano solamente pochi giorni di temperature rigide per provocarne il decesso. Ma grazie alle condizioni climatiche invernali favorevoli tra il 2023 e il 2024, molte larve sotto corteccia sono riuscite a sopravvivere almeno fino al mese di gennaio (ultimo prelievo effettuato) dando così la possibilità di andare a formare una futura generazione sorella (vedi paragrafo 2.1) la stagione successiva. La presenza di larve nel periodo di pre-svernamento 2022 era solamente del 3% a differenza del 2023 che ha raggiunto il 13%. Questa componente assume un'importanza ancora maggiore se si tiene conto delle condizioni climatiche dell'inverno 2023-2024 che hanno certamente consentito la sopravvivenza.

L'inverno anomalo tra il 2023 e il 2024 è descritto attraverso due cartine del Veneto, fornite dall'ARPAV (Servizio Meteorologico) (Figura 11), dove viene indicato inizialmente la differenza di temperatura rispetto al trentennio precedente e poi la minor quantità di giorni di gelo, osservando soprattutto le due zone di campionamento dove è stato effettuato lo studio. Il periodo invernale preso in considerazione dura un trimestre, composto da dicembre, gennaio e febbraio. È possibile utilizzare queste due cartine come rappresentanti per il totale delle zone di prelievo dello studio data la simile altitudine e latitudine dei luoghi presi in considerazione anche se sono presenti sicuramente delle divergenze dei dati a causa della conformità montuosa e differente esposizione.

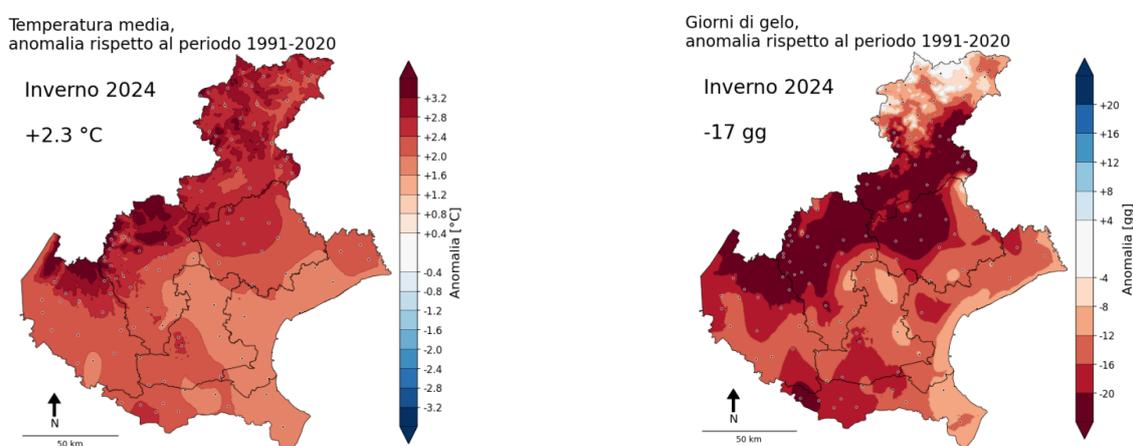


Figura 11 – Variazione di temperatura media invernale 2024 rispetto al trentennio precedente e numero di giorni di gelo dell'inverno 2024 rispetto al trentennio precedente (fonte: Inverno 2023-24 in Veneto: il secondo più caldo dell'ultimo trentennio, ARPAV)

Come si può ben vedere, la temperatura media invernale nella zona Dolomitica e nell'Altopiano di Asiago, due delle zone campionate, è superiore di almeno 2°C dalla media di questo periodo con circa quindici giorni di gelo in meno del solito. Questo dato ha sicuramente favorito la presenza delle larve vive di bostrico, soprattutto per la provincia di Belluno, la cui presenza è aumentata di 2 larve per dm<sup>2</sup> rispetto alla stagione 2022 (vedi Figura 10). Per quanto riguarda sempre la provincia di Belluno, in un campione di fine novembre non è stata osservata la presenza di alcun individuo dello scolitide anche se si sono riscontrate 5 uova. Questo prelievo è stato effettuato ad un'altezza di circa 1400 m, ulteriore testimonianza del cambiamento climatico in corso e della anomalia invernale della stagione passata. La presenza di uova a fine novembre ha rappresentato la continua attività delle femmine anche in un periodo che per loro dovrebbe

essere molto avverso, certificando nuovamente ciò che Faccoli aveva dimostrato nel 2009 riguardo l'allungamento del ciclo del bostrico tipografo sulle Alpi Orientali.

Infine, si può sottolineare la stretta correlazione tra i cambiamenti climatici e le dinamiche di popolazioni del bostrico, come indicato in numerosissimi studi in passato, tra l'annata 2022 e 2023. Le popolazioni sono state condizionate da un'estate rovente nel 2022 che ha dato la possibilità allo scolitide di proliferarsi al meglio grazie alle alte temperature e allo stress idrico dell'ospite. Nel 2023 la popolazione di bostrico non ha potuto ripetere l'espansione dell'anno precedente a causa delle notevoli precipitazioni estive.

Queste condizioni climatiche giustificano la presenza di una percentuale maggiore di individui immaturi nel pre-svernamento del 2022, data la presenza di un'ulteriore generazione eseguita dal tipografo e non completata. Mentre, la presenza di un maggior numero di larve nella stagione 2023 è associata ad un ritardo dell'ultima generazione e alle temperature invernali che hanno permesso la loro sopravvivenza fino al campionamento effettuato.

## 5 Conclusioni

I numerosi studi effettuati su questo coleottero scoltide hanno tutti lo stesso fondamento: comprendere al meglio i comportamenti e l'evoluzione di *Ips typographus* con il passare degli anni poiché la sua presenza gioca un ruolo fondamentale all'interno dell'ecosistema forestale europeo. L'elevata presenza di bostrico tipografo determina un impatto molto importante dal punto di vista paesaggistico ed economico dato che a causa della sua proliferazione ha provocato la distruzione di intere foreste di abete rosso, con gravi conseguenze socio-economiche. La dinamica degli attacchi è in continua crescita da parecchi anni (Faccoli, 2009; Marini *et al.*, 2012) anche a causa di pullulazioni causate da eventi climatici estremi che ne hanno favorito lo sviluppo (Wermelinger, 2004). L'ultimo in ordine cronologico e che ci ha toccati più da vicino è stato Vaia nel 2018, con lo schianto di circa 8,5 milioni di metri cubi di legname (Chirici, 2019). Grazie alla quantità di legname disponibile e ad un clima sempre più favorevole all'insetto, dal 2021 è scoppiata una pullulazione importante, come previsto da Battisti (2019) che ha avuto un picco nell'estate 2022 e un successivo calo a fine 2023, sia per la stagione estiva piovosa, sia per una stabilizzazione di meccanismi di regolazione densità-dipendenti (Marini *et al.*, 2017). Data la modificazione del clima, la presenza di bostrico tipografo in questi ultimi anni è persistita come fase epidemica anche perché il ciclo biologico e il numero di generazioni si è modificato (Faccoli, 2009; Marini *et al.*, 2012); nelle zone più basse si è passati da due a tre generazioni (Faccoli, 2009; Wermelinger *et al.*, 2012), nelle medie altimetrie da una a due generazioni e in quelle più alte in alcuni casi si è registrata la presenza di una seconda generazione (Lange *et al.*, 2006; Jönsson *et al.*, 2007). Inoltre, l'aumento di tali temperature ha permesso sempre di più ad individui immaturi di superare l'inverno (Ambrosi and Angheben, 1986). Il clima e la tempesta Vaia sono state le cause principali della pullulazione di *I. typographus* nelle Alpi Orientali ma aiutate dall'elevata presenza di *Picea abies* coetaneiformi derivanti da piantagioni artificiali del dopoguerra.

Come affermato da Hlásny nel 2021, le fasi epidemiche possono anche prolungarsi per un decennio se favorite da eventi climatici favorevoli; dunque, con il presente studio si è accertata la diminuzione della consistenza di *I. typographus* tra le ultime due stagioni, ma non è possibile affermare con certezza che la pullulazione in atto sia veramente in via di conclusione. Visto l'importanza di conoscere al meglio l'andamento della popolazione,

sono necessari ulteriori studi a lungo termine in cui è possibile mettere a confronto più anni di campionamenti e, attraverso studi più specifici, essere in grado di attuare tecniche innovative forestali migliori, che siano in grado di prevedere e bloccare eventuali future infestazioni di bostrico, cercando di arginare i danni che questo coleottero può infliggere all'ecosistema montano.

## 6 Bibliografia

Anderbrant, O. (1988). Survival of parent and brood adult bark beetles, *Ips typographus*, in relation to size, lipid content and re-emergence or emergence day. *Physiological entomology*, 13(2), 121-129.

Bajerlein, D., Błoszyk, J., Halliday, B., & Konwerski, S. (2024). Hitchhiking through life: a review of phoresy in Uropodina mites (Parasitiformes: Mesostigmata). *The European Zoological Journal*, 91(1), 31-63.

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, 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.

Cejka, M., & Holusa, J. (2014). Phoretic mites in uni-and bivoltine populations of *Ips typographus*: a 1-year case study. *Turkish Journal of Zoology*, 38(5), 569-574.

Chirici, G., Giannetti, F., Travaglini, D., Nocentini, S., Francini, S., D'Amico, G., Calvo, E; Fasolini, D; Broll, M; Maistrelli, F; Tonner, J; Pietrogiovanna, M; Oberlechner, K; Andriolo, A; Comino, R; Faidiga, A; Pasutto, I; Carraro, G; Zen, S; Contarin, F; Alfonsi, L; Wolynski, A; Zanin, M; Gagliano, C; Tonolli, S; Zoanetti, R; Tonetti, R; Cavalli, R; Lingua, E; Pirotti, F; Grigolato, S; Bellingeri, D; Zini, E; Gianelle, D; Dalponte, M;

Pompei, E; Stefani, A; Motta, R; Morresi, D; Garbarino, M; Alberti, G; Valdevit, F; Tomelleri, E; Torresani, M; Tonon, G; Marchi, M; Corona, P; & Marchetti, M. (2019). Stima dei danni della tempesta “Vaia” alle foreste in Italia. *Forest@*, 16, 3-9.

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.

Dworschak, K., Meyer, D., Gruppe, A., & Schopf, R. (2014). Choice or constraint: plasticity in overwintering sites of the European spruce bark beetle. *Forest Ecology and Management*, 328, 20-25.

Faccoli, M. (2002). Winter mortality in sub-corticolous populations of *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) and its parasitoids in the south-eastern Alps. *Anzeiger für Schädlingskunde= Journal of pest science*, 75, 62-68.

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

Faccoli, M., Andriolo, A., Bernardinelli, I., Ducoli, A., Salvadori, C., & Battisti, A. (2020). Vaia e il rischio bostrico: la situazione sulle Alpi centro orientali nel primo anno dai crolli. *Sherwood. Foreste ed alberi oggi*, 245, 17-21.

Kasumović, L., Lindelöw, A., & Hrašovec, B. (2019). Overwintering strategy of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) in Croatian spruce forests on lowest elevation. *Šumarski list*, 143(1-2), 19-24.

Lindelöw, Å., & Weslien, J. (1986). Sex-specific emergence of *Ips typographus* L. (Coleoptera: Scolytidae) and flight behavior in response to pheromone sources following hibernation. *The Canadian Entomologist*, 118(1), 59-67.

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.

Nierhaus-Wunderwald D. (2004) *Ips typographus* e *Ips amitinus* - Biologia delle due specie. Insetti corticicoli delle conifere. Notizie per la pratica 18. Birmensdorf: Istituto federale di ricerca WSL. 8 p.

R Core Team, 2021. R: a language and environment for statistical computing. <https://www.r-project.org/>

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. (2023). Evolutionary ecology of the bark beetles *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus*. *Bulletin of Entomological Research*, 113(1), 1-10.

Vega, F. E., & Hofstetter, R. W. (Eds.). (2014). *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*. Academic Press. Cap.1-2-3-4-5

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.

## **7 Sitografia**

<http://www.angeloelli.it/montagne/file/ALPI.html>

<https://www.arpa.fvg.it/>

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/meteo/ultimi-aggiornamenti>

<https://www.ufficiostampa.provincia.tn.it/Comunicati/Febbraio-e-inverno-molto-piovosi-ed-eccezionalmente-caldi>

<https://meteo.provincia.bz.it/download-dati.asp>