

Diss. ETH Nr. 11297

**Die Kernfäuleschäden an Fichte (*Picea abies* Karst.)
in der Schweiz nördlich der Alpen:
Untersuchungen über das Schadenausmass,
die ökologischen, waldbaulichen und mykologischen Einflussfaktoren
sowie die ökonomischen Auswirkungen**

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Dominik Graber
Dipl. Forsting. ETH
geboren am 12. April 1960
von Oftringen AG

Angenommen auf Antrag von :

Prof. Dr. J.-Ph. Schütz, Referent
Prof. Dr. O. Holdenrieder, 1. Korreferent
PD Dr. O. Petrini, 2. Korreferent

1995

Zum Druck angenommen als Beiheft zur Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen Nr. 79

Zusammenfassung

Angesichts des auch in Zukunft hohen Fichtenanteils im Schweizer Wald werden Kernfäuleschäden als waldbauliche und betriebswirtschaftliche Risiken weiterhin bestehen bleiben, sich durch fortschreitende Mechanisierung der Waldarbeit möglicherweise noch akzentuieren. Gefragt sind deshalb praktikable waldbauliche Massnahmen, welche nachhaltig zur Verminderung dieser Schäden beitragen können. Solche Massnahmen setzen umfassende Kenntnisse über die ökologischen Zusammenhänge zwischen Baum, Bestand, Erregern und Umwelt voraus. Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit war die Ermittlung und die quantitative Charakterisierung derjenigen Einflüsse, welche Entstehung und Ausbreitung von Kernfäulen fördern oder hemmen.

In 60 Holzschlägen der Regionen Jura, Mittelland und Voralpen wurden an über 2'000 Bäumen die Schadenverhältnisse nach Häufigkeit, Intensität und wirtschaftlichem Verlust sowie zahlreiche waldbauliche und standortkundliche Parameter erhoben. Es wurde untersucht, inwieweit die Konstitution der Bäume und Einflüsse aus ihrer biotischen und abiotischen Umwelt (Aufbau und Zusammensetzung des Bestandes, Klima, Boden und Bewirtschaftung) für das Schadenausmass von Bedeutung sind. Pro Baum mit Fäuleschaden wurden an vier Holzproben unterschiedlicher Zersetzungsintensität die Pilzarten ermittelt und ihr spezifischer Einfluss auf die Schadenintensität geprüft. Auf der Basis der fäulebedingten Stammabschnitte wurden mit einem Forstbetriebs-Simulationsmodell Wertberechnungen durchgeführt, die im Nutzungszeitpunkt anfallenden Wertverluste nach derzeitigen waldbauwirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Kosten und Holzerträge) ermittelt und die Abtriebswerte mit denjenigen aus vier verschiedenen, computersimulierten Mischbestandestypen standortgemässer Baumarten verglichen.

Es hat sich ergeben, dass auch in weitgehend unberührten Wäldern 15-20 % der Bäume Kernfäulen aufweisen. Schadenhäufigkeit und -ausmass sind in natürlich verjüngten Beständen geringer als in künstlich verjüngten. Zentrale Bedeutung scheint hierbei dem langsamen, engringigen Jugendwachstum zuzukommen. Die "Vitalität" des einzelnen Baumes, charakterisiert durch wachstumskundliche Merkmale im Stamm- und Kronenbereich und die soziale Stellung hat aufgrund der vorliegenden Ergebnisse keinen Einfluss auf den Kernfäulebefall. Zunehmendes Baum- bzw. Bestandesalter, geringere durchschnittliche Schlankheitsgrade, häufige und starke oberirdisch feststellbare Verletzungen und in geringem Umfang die klimatischen Gegebenheiten führen zu höheren Kernfäuleschäden. Im Bereich der künstlich verjüngten Bestände erweist sich die Baumartenzusammensetzung als bedeutungsvoll: Tannenreiche Beständen zeigen geringere, laubholzreiche jedoch tendenziell höhere Kernfäulehäufigkeiten als reine Fichtenbestände. Ist ein Laubholz-Nebenbestand vorhanden, so liegt der Anteil kernfauler Bäume deutlich höher. Auch die Bodenbeschaffenheit tritt hinsichtlich dieses Problems als wichtiger Faktorenkomplex zutage: Fichtenbestände auf kalkreichen Standorten zeigen häufigere und schwerwiegendere Schäden als auf sauren Standorten. Böden des Mittellandes mit mehr als 30 % Sandanteil im Mittel- und Unterbodenbereich erweisen sich unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen oft als hochproduktiv. Das rasche Jugendwachstum auf solchen Standorten scheint jedoch einem intensiveren Fäulebefall Vorschub zu leisten. Extreme Schadenverhältnisse können durch die Bodeneigenschaften nicht erklärt werden. Basierend auf diesen ökologischen Zusammenhängen wurde ein Kovarianzmodell erstellt, welches unter Berücksichtigung plausibler Wechselwirkungen mehr als 80 % der Varianz erklärt und somit eine relativ zuverlässige Prognose des Faulstammprozents ermöglicht. Die räumliche Verteilung kernfauler Bäume in den einzelnen Beständen weist darauf hin, dass die Ausbreitung des Befalls nicht zufällig erfolgt. Aufgrund verschiedener Indizien ist ein Beginn an besonders exponierten beziehungsweise disponierten Bäumen mit anschliessender Ausweitung auf die Nachbarbäume als wahrscheinlicher zu beurteilen.

Die Pilzartenbestimmung ergab, dass im untersuchten Gebiet *Heterobasidion annosum* mit 9 % (künstlich verjüngte Bestände) bzw. 14 % (natürlich verjüngte Bestände) kernfauler Bäume weniger häufig als erwartet, der in entsprechenden Untersuchungen bislang kaum erwähnte

Porling *Climacocystis borealis* mit 17 % bzw. 20 % jedoch sehr häufig auftritt. *Armillaria* spp. wurde in 23 % bzw. 10 % der Bäume festgestellt. Auch im gesunden Bereich kernfauler Bäume sowie in von Auge "schadenfreien" Kontrollstämmen konnten die erwähnten Pilze vereinzelt nachgewiesen werden. Ein Befall mit *Heterobasidion annosum* führt zu wesentlich höheren Abschnittslängen und somit zu gravierenderen wirtschaftlichen Schäden als die übrigen Erreger. Mischbestände mit Tanne oder Laubholz zeigen ausgesprochen geringe Häufigkeiten dieses Pilzes. Häufiges Vorkommen von *Climacocystis borealis* steht im Zusammenhang mit Laubholz-Nebenbestand. Für den Hallimasch ergibt sich eine Affinität zu sauren Standorten, straffe Zusammenhänge zwischen einer Pilzart und bestimmten Standortfaktoren konnten jedoch nicht nachgewiesen werden.

Das Forstbetriebs-Simulationsmodell erwies sich nach geringfügigen Modifikationen als taugliches Instrument für die monetäre Bewertung der Fäuleschäden. Die Wertverluste in künstlich verjüngten Fichtenbeständen hiebsreifen Alters (100-140 Jahre) bewegen sich im Bereich zwischen 3'000 bis 23'000 Fr./ha mit einem Schwergewicht im Bereich von ca. 15'000 Fr./ha. In natürlich verjüngten, 130-180 Jahren alten Beständen übersteigt dieser Betrag 6'500 Fr./ha nicht und führt somit zu keinen waldbaulichen Handlungszwängen. Der verlustbereinigte Vergleich der Abtriebswerte mit vier Mischbestandesvarianten verschiedener Baumarten zeigt, dass auf hochproduktiven Standorten auch nach Abzug der Wertverluste ein Mehrertrag resultiert, auf Standorten durchschnittlicher Bonität und namentlich auf kalkreichem Untergrund die Fäuleverluste den Mehrertrag aus reinen Fichtenbeständen jedoch weitgehend kompensieren können.

Die Ergebnisse der waldbaulich-ökologischen Untersuchungen lassen Zusammenhänge erkennen, welche durch waldbauliche Massnahmen positiv beeinflusst werden können: Geeignete Standortwahl, Überschirmung und damit zurückhaltendes Wachstum in der Jugendphase von Kulturen, Dichtschluss, Baumartenzusammensetzung und sorgsame Bestandesbehandlung können das Ausmass der Schäden reduzieren. Das Prinzip der positiven Auslesedurchforstung mit Begünstigung der zuwachsträchtigen, gutentwickelten und vitalen Bäume wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit nicht in Frage gestellt. Mit dem Forstbetriebs-Simulationsmodell steht der Praxis ein Instrument zur Verfügung, welches aufgrund weniger, einfach zu erhebender Daten und Merkmale (Anteil und durchschnittliche Länge der fäulebedingten Abschnitte, Fichtenanteil, Hinweise auf Befall mit *Heterobasidion annosum*) eine zuverlässige Einschätzung der künftigen Wertentwicklung und das zeitgerechte Ergreifen waldbaulicher Massnahmen zur Minimierung der Verluste ermöglicht. Laufende betriebsinterne Kontrollen der Schadenssituation in den Holzschlägen vermögen diese betriebswirtschaftlichen Entscheidungsgrundlagen wirksam zu unterstützen.

Summary

Due to the high percentage of Norway spruce in Swiss forests, butt-rot damage will continue to occur as a risk in forestry and managerial economics and will possibly even increase through the progressive mechanisation of forestry. The solution is, therefore, the adoption of practice-oriented measures which support a sustained decrease of damage. Such measures, however, require comprehensive knowledge of the ecological interrelations between the tree, the stand, the pathogen and the environment. The main goal of this study was the determination and the quantitative characterisation of the factors that promote or inhibit the development and spread of butt rot.

In 60 felling sites of the regions Jura, the Central Plateau and the Pre-Alps, more than 2'000 trees were investigated with regard to damage conditions: that is frequency, intensity and economic loss; furthermore, forestry and site-specific parameters were assessed. Further research was carried out in order to assess to what extent the constitution of the trees and the influence of their biotic and abiotic environment (structure and composition of the stand, the climate, the soil and the cultivation) are of relevance to the proportion of damage. Four wood samples of varying intensity of decomposition were removed from each tree with butt rot damage. The species of fungi were identified and their specific influence on the damage intensity was investigated. Based on the butt-rot-affected stem-sections, value assessments were carried out by means of a forest-enterprise simulation-model determining the value losses at usufructuary time according to current forestry conditions (costs and timber yields) and comparing the final crop value with that of four different, computer simulated types of mixed stands of site-specific tree species.

It was found that even in mostly untouched forests, 15-20% of the trees are affected by butt rot. Frequency and extent of butt rot are more limited in naturally regenerated than in artificially regenerated stands. The slow juvenile growth (narrow annual rings) seems to be of crucial importance in this respect. Based on the present results, the 'vitality' of the single tree, characterised by growth-scientific characteristics in the stem and crown areas and the social position are of no relevance for butt-rot infestation. Increased age of the stand, lower average degree of slenderness of stems, more frequent and serious injury visible on the surface and, on a smaller scale, the climatic circumstances lead to increased butt-rot damage. In the field of artificially regenerated stands, the structure of the tree species is of crucial importance: stands with a high proportion of firs show a lower, hardwood stands, however, a tendentially higher butt-rot frequency than pure Norway-spruce stands. Subsidiary hardwood stands are affected by butt rot much more seriously. The soil condition with its complexity of factors also plays a crucial role regarding this issue: Norway-spruce stands on calcareous sites show increased and more serious damage than stands on acidic sites. Soils of the Central Plateau with more than 30 % sand in the middle and upper layer of the soil, seem to be very productive under the given climatic conditions. The quick juvenile growth on such sites seems, however, to encourage more intense butt-rot attacks. Extreme damage conditions cannot be explained by characteristics of the soil. Based on the ecological interrelations, a covariance model was developed, which, taking into consideration plausible interrelations, explains more than 80 % of the variance and thus makes possible a relatively reliable prognosis of the percentage of stems with butt rot. The spatial distribution of trees with butt rot in single stands indicates that the spread of the disease does not take place randomly. Based on various circumstantial evidences, a beginning of butt rot on particularly exposed, that is disposed trees with a following spread on the neighbouring trees is more probable.

The identification of species of fungi proved that *Heterobasidion annosum* with 9% (artificially regenerated stands) and 14% (naturally regenerated stands) does not occur as frequently as expected within the investigated area; however, *Climacocystis borealis*, which up to now has hardly been mentioned in respective investigations, with 17% and 20% respectively, occurs very frequently. *Armillaria* spp. was assessed in 23% and 10% respectively of the trees. Also, in the healthy areas of trees with butt rot, as well as in 'damage-free' (by the naked eye) stems, the mentioned fungi could be identified sporadically. An attack of *Heterobasidion annosum* leads to longer affected stem sections and thus to more serious economic damage than other pathogens. Mixed stands with firs or broad-leaved trees show a particularly low frequency of this fungus. Frequent occurrence of *Climacocystis borealis* is connected with a subsidiary hardwood stand. Where *Armillaria* is concerned, there is no affinity to aciditive sites, however, a definite connection between a fungal species and certain site factors could not be proven.

After insignificant modifications, the forest enterprise-simulation proved to be a useful device for the financial assessment of butt-rot damage. The value losses in artificially

regenerated Norway-spruce stands ready for cutting (100-140 years) are between 3'000 up to 23'000 Fr./ha with focus on the area of ca. 15'000 Fr. /ha. In naturally regenerated stands, 130-180 year old stands, the amount does not exceed 6'500 Fr. /ha and thus does not force any course of action to be adopted in the field of forestry. The loss-adjusted comparison of the final-cut values with four mixed stand variants of different tree species shows that on highly productive sites a surplus results, even after the deduction of the losses of value. On sites of average quality and, in particular, on calcareous subsoil, the butt-rot-losses can compensate the surplus based on pure Norway spruce stands to a large extent.

The results of forestry-ecological investigations show connections which can be influenced positively by forestry measures: Suitable choice of site, overtopping and thus withhold growth in the juvenile phase of cultures, density, structure of tree species and careful tending of the stand can reduce the extent of damage. The principle of positive selective thinning favouring the fast growing, well-developed and vital trees is not endangered. Thanks to its easy assessable data and characteristics (proportion and average length of butt-rot-affected sections, the percentage of Norway spruce, indications of attack of *Heterobasidion annosum*), the forest enterprise-simulation model enables a reliable assessment in practice of the future development and the adoption of forestry measures sufficiently early in order to minimise losses. Current internal enterprise controlling of the situation of this damage in the areas of felled trees make an effective support of the managerial fundamentals of decision-taking possible.

Résumé

Etant donné la forte présence de l'épicéa dans les forêts suisses actuellement et dans le future, les dégâts dus à la pourriture représentent un facteur de risque pour la sylviculture et la gestion d'entreprise. L'intensification de la mécanisation des travaux forestiers accentuera vraisemblablement encore ce risque. De cette situation découle l'attente légitime de mesures sylvicoles efficaces qui contribueront à limiter les dégâts. Il est cependant nécessaire de disposer de connaissances préalables approfondies sur des interactions écologiques entre l'arbre, le peuplement, l'agent pathogène et l'environnement. L'objectif principal du présent travail était de déterminer et de quantifier les conditions qui favorisent ou, au contraire, inhibent l'apparition et l'extension de la pourriture de coeur.

La fréquence et l'intensité des dégâts, les pertes économiques engendrées ainsi que de nombreux paramètres stationnels et sylvicoles ont fait l'objet d'un inventaire portant sur plus de 2'000 arbres dans 60 parterres de coupes du Jura, du Plateau et des Préalpes. Cette étude cherche à établir dans quelle mesure la constitution des arbres ainsi que leur environnement biotique et abiotique (constitution et composition du peuplement, climat, sol et exploitation) influencent l'ampleur des dégâts. Pour chaque arbre présentant des dégâts de pourriture, quatre échantillons de différentes intensités de décomposition ont été prélevés afin de déterminer les espèces de champignons et leur influence spécifique sur l'intensité des dégâts. A partir de l'étude de la section du tronc atteinte par la pourriture, des calculs ont été effectués à l'aide d'un modèle de simulation de l'entreprise forestière, d'une part pour évaluer les pertes enregistrées lors de l'exploitation en fonction des conditions-cadres actuelles de l'économie forestière (coûts et revenus du bois), d'autre part pour comparer les revenus d'exploitation avec les valeurs simulées par ordinateur pour quatre types différents de peuplements mélangés d'essences en stations.

Les résultats ont démontré que même dans des forêts encore largement intactes, 15 à 20 % des arbres sont touchés par la pourriture de coeur. La fréquence et l'ampleur des dégâts dans les peuplements rajeunis naturellement sont moindres que dans les peuplements issus de plantations. La croissance juvénile lente à cernes étroits semble jouer un rôle déterminant sur ce point. La "vitalité" des arbres pris individuellement, caractérisée par des critères dendrométriques relatifs au tronc, à la couronne et à la position sociale, n'a pas, selon les résultats obtenus, d'influence sur la sensibilité à la pourriture de coeur. L'élévation de l'âge de l'arbre, respectivement celui du peuplement, un faible coefficient d'élancement moyen, des blessures fréquentes et importantes au dessus du sol ainsi que, dans une faible mesure, les conditions climatiques impliquent une augmentation des dégâts de pourriture de coeur. En ce qui concerne les peuplements artificiels, la composition spécifique semble déterminante: par rapport aux peuplements purs d'épicéa, les peuplements riches en sapin montrent une proportion de pourriture de coeur inférieure, à l'inverse des peuplements à dominante de feuillus. La présence d'un peuplement accessoire de feuillus induit une proportion nettement supérieure d'arbres pourris au coeur.

En relation avec cette problématique, les caractéristiques édaphiques constituent un ensemble important de facteurs: les peuplements d'épicéa sur sols calcaires présentent des dégâts plus fréquents et plus sévères qu'en stations acides. Les sols du Plateau dont la proportion de sable dans la partie intermédiaire et inférieure dépasse à 30 % se révèlent, dans les conditions climatiques données, souvent très productifs. La croissance juvénile rapide sur de telles stations semble toutefois favoriser un développement plus marqué de la pourriture. Cependant, les dégâts extrêmes ne peuvent être expliqués uniquement par les conditions édaphiques. Un modèle de covariance basé sur ces relations écologiques a été établi. En tenant compte des interactions plausibles, il explique plus de 80 % de la variance et permet d'établir une prévision relativement fiable de la proportion de tiges atteintes. La répartition spatiale des arbres atteints dans les différents peuplements étudiés indique que l'extension de la pourriture n'est pas le fait du hasard. De nombreux indices montre que l'hypothèse d'une infection initiale sur des arbres

particulièrement exposés, respectivement prédisposés, suivie d'une extension aux arbres voisins peut être considérée comme la plus vraisemblable.

La détermination des espèces pathogènes a établi que, dans la zone d'étude, *Heterobasidion annosum* est moins fréquent que prévu; ce champignon est présent dans 9 % (peuplements issus de plantations) respectivement 14 % des cas (peuplements naturels). Par contre, *Climacocystis borealis*, à peine signalé dans les travaux comparables, est plus fréquemment présent (17 % resp. 20 % des cas). La présence d'*Armillaria* spp. a été constatée sur 23 % resp. 10 % des arbres. Même dans la partie saine des arbres atteints, ainsi que sur les tiges de contrôle considérées au premier abord comme saines, les champignons cités ont été identifiés isolément. Une attaque de *Heterobasidion annosum* entraîne des découpes nettement plus longues que les autres agents pathogènes, et implique ainsi des dommages économiques plus substantiels. La présence de ce champignon dans les peuplements mélangés avec du sapin ou des feuillus est très limitée. A l'inverse, la fréquence de *Climacocystis borealis* augmente avec la présence d'un peuplement accessoire de feuillus. L'armilliaire affiche pour sa part une affinité avec les sols acides. Toutefois, aucune relation manifeste entre les espèces de champignons et les facteurs de station n'a pu être établie.

Le modèle de simulation de l'entreprise forestière se révéla, après des modifications mineures, un instrument valable d'appréciation monétaire des dégâts de pourriture. Dans les peuplements d'épicéa régénérés artificiellement, les pertes enregistrées à l'âge d'exploitation (100 à 140 ans) varient entre 3'000 et 23'000 Fr./ha, avec une concentration aux alentours de 15'000 Fr./ha.

Dans des peuplements rajeunis naturellement et âgés de 130 à 180 années, la perte ne dépasse pas 6'500 Fr./ha et n'implique de ce fait pas de mesures sylvicoles contraignantes. La comparaison, nette de pertes, des revenus d'exploitation de quatre variantes de peuplements mélangés comprenant différentes essences montre que sur les stations très productives, un excédent monétaire subsiste. Toutefois, sur les stations d'indice de fertilité moyen et particulièrement sur les sous-sols riches en calcaire, les pertes dues à la pourriture compensent largement l'excédent de production des peuplements purs d'épicéa.

Les interactions établies sur le plan écologique et sylvicole peuvent être influencées positivement par des mesures sylvicoles: le choix d'une station adaptée à l'épicéa, le maintien d'un couvert durant la phase juvénile des plantations afin de ralentir la croissance, une fermeture dense, un mélange des espèces et des interventions soigneuses dans le peuplement sont de nature à réduire l'ampleur des dégâts. Le principe de l'éclaircie sélective positive favorisant les arbres à forte croissance potentielle, bien développés et vitaux n'est pas remis en question par les résultats de la présente étude. Des caractéristiques et critères aisés à relever (proportion et longueur moyenne de la section pourrie, proportion d'épicéa, indications quant à la présence de *Heterobasidion annosum*) sont à la base du modèle de simulation de l'entreprise forestière. Ce dernier constitue un instrument simple à disposition des praticiens, permettant une estimation fiable de l'évolution future de la valeur du peuplement et du moment optimal de l'intervention sylvicole afin de minimiser les pertes. Des contrôles permanents de la situation des dégâts sur les parterres de coupe au sein de l'entreprise permettent de renforcer efficacement ces bases de décision économique.

RIASSUNTO

A seguito della forte e persistente diffusione dell'abete rosso nella foresta svizzera i danni da marciume del cuore, come fattore di rischio selvicolturale ed economico-aziendale, sono destinati a verificarsi anche in futuro e anzi probabilmente ad accentuarsi di pari passo con l'ulteriore meccanizzazione del lavoro forestale. Sono perciò richieste delle misure selvicolturali praticabili in grado di contribuire ad una riduzione duratura di questi danni. Simili provvedimenti premettono comunque ampie conoscenze sulle relazioni ecologiche che si instaurano fra "albero, aggregato, agente patogeno e ambiente circostante". Lo scopo principale del presente lavoro perseguiva la determinazione e la caratterizzazione quantitativa degli influssi che favoriscono od ostacolano la formazione e la diffusione del marciume del cuore.

Nell'ambito di 60 tagliate eseguite nelle regioni del Giura, dell'Altipiano e delle Prealpi sono state accertate su più di 2000 alberi le condizioni di danno secondo la frequenza, l'intensità e il deprezzamento economico così come numerosi parametri selvicolturali e stazionali. E' stato inoltre analizzato il grado d'incidenza della costituzione degli alberi e degli influssi ambientali biotici e abiotici (struttura e composizione dell'aggregato, clima, suolo e gestione boschiva) sull'estensione dei danni. Per ogni albero con danni da marciume sono state determinate su quattro campioni legnosi a differente intensità di decomposizione le specie fungine presenti, esaminando nel contempo il loro specifico influsso sull'intensità del danno. Sulla base delle sezioni di tronco colpite dal marciume e con l'ausilio di un modello di simulazione aziendale sono stati eseguiti dei calcoli economici, determinate le perdite di valore al momento dell'utilizzazione secondo le condizioni-quadro attualmente vigenti nell'economia forestale (costi e ricavi) e comparati i valori del taglio di sgombero con quelli risultanti, mediante simulazione computerizzata, da quattro differenti tipi di soprassuolo misto composti da specie arboree adatte alla stazione.

Si è così dimostrato che anche nei boschi prevalentemente intoccati il 15-20% degli alberi risulta danneggiato dal marciume del cuore. Nei soprassuoli con rinnovazione naturale la frequenza e l'estensione del danno si sono rivelate inferiori rispetto alle piantagioni. In quest'ambito sembrerebbe giocare un ruolo preponderante una lenta crescita iniziale con conseguente formazione di anelli d'accrescimento a debole sviluppo.

Sulla base dei risultati scaturiti, la "vitalità" del singolo albero, caratterizzata sia da attributi auxometrici nella zona del tronco e della chioma che dalla posizione sociale, non esercita nessun influsso sull'infestazione da marciume del cuore. Un'avanzata età dell'albero o del soprassuolo, coefficienti ipsodiametrici medi ridotti, frequenti e gravi ferite constatate in superficie e, seppure in minima misura, le condizioni climatiche locali rappresentano dei fattori comportanti un'intensificazione dei danni dovuti al marciume del cuore.

Nei soprassuoli rinnovati artificialmente assume un peso rilevante la composizione delle specie: aggregati con un'elevata percentuale di abete bianco denotano nei confronti di aggregati puri di abete rosso una riduzione della frequenza del marciume del cuore, mentre una forte percentuale di latifoglie ne provoca però tendenzialmente un aumento.

In presenza di un soprassuolo accessorio di latifoglie la percentuale dei soggetti colpiti dal marciume progredisce in modo marcato. Altro importante complesso fattoriale da considerare nel quadro di questa problematica è costituito dalle caratteristiche del suolo: soprassuoli d'abete rosso attecchiti su terreni calcarei mostrano maggiori e più gravi danni rispetto alle stazioni acide. I terreni dell'Altipiano con una percentuale di sabbia superiore al 30 % nell'orizzonte medio e inferiore del suolo si rivelano sovente, con le condizioni climatiche attuali, altamente produttivi. La veloce crescita iniziale registrata in simili stazioni sembra comunque favorire un'intensificazione degli attacchi del marciume. Condizioni di danno estreme non possono tuttavia essere spiegate per mezzo delle caratteristiche del terreno. Sulla base di queste relazioni ecologiche è stato in seguito elaborato un modello di covarianza che permette di decifrare più dell'80% della varianza in considerazione di interazioni plausibili e di prevedere dunque in maniera relativamente affidabile la percentuale di tronchi infestati dal marciume.

La distribuzione spaziale degli alberi infetti all'interno dei singoli soprassuoli indica inoltre che la diffusione dell'infestazione non avviene casualmente. Sulla base di diversi indizi si può

ritenere più probabile un inizio dell'attacco su soggetti arborei particolarmente esposti rispettivamente predisposti, con una successiva estensione del fenomeno agli alberi circostanti. La determinazione delle specie fungine ha dimostrato che nella regione indagata *Heterobasidion annosum*, con il 9% (soprassuoli rinnovati artificialmente) risp. 14% (soprassuoli rinnovati spontaneamente) di alberi infetti dal marciume del cuore, è apparso meno frequentemente rispetto alle aspettative, mentre il fungo *Climacocystis borealis* finora poco menzionato nell'ambito di simili ricerche, si è invece fortemente manifestato con percentuali del 17% risp. 20%. *Armillaria* spp. è stata accertata nel 23% risp. 10% degli alberi. I funghi sovrammenzionati hanno potuto essere osservati sporadicamente anche nelle parti sane di alberi infetti così come nei tronchi di controllo apparentemente "senza danni". Un'infestazione con *Heterobasidion annosum* comporta, a causa di una maggiore estensione della sezione di tronco colpita, un danno economico ben più grave rispetto ad altri agenti patogeni. I soprassuoli misti di abete bianco o di latifoglie denotano una frequenza assai ridotta di questo fungo. La forte apparizione di *Climacocystis borealis* è da ricondurre alla presenza di soprassuoli accessori di latifoglie. Per l'*armillaria* si è constatata una certa affinità con i terreni acidi, ma non si sono comunque potute dimostrare delle relazioni rigide tra una specie fungina e determinati fattori stazionali. Il modello di simulazione aziendale si è rivelato dopo leggere modifiche uno strumento idoneo per la valutazione monetaria dei danni da marciume.

Il deprezzamento dei soprassuoli rinnovati artificialmente e in età di utilizzazione (100-140 anni) oscilla in una fascia che va da fr. 3'000.- fino a fr. 23'000.- all' ettaro, con una concentrazione massima attorno all'importo di ca 15'000.- fr/ha. Nei soprassuoli rinnovati spontaneamente e con un'età di 130-180 anni quest'importo non supera invece i 6'500.- fr/ha e non comporta di conseguenza nessuna costrizione d'intervento selvicolturale.

Il confronto reale dei valori del taglio di sgombero con quattro varianti di soprassuolo misto a differente composizione arborea dimostra che su stazioni molto produttive si può ottenere un reddito supplementare anche dopo deduzione del deprezzamento, mentre su stazioni di media fertilità, ed in particolare su substrati ricchi di carbonati, le perdite dovute al marciume possono ampiamente compensare il reddito supplementare derivante da soprassuoli puri di abete rosso.

I risultati delle indagini selvicolturali ed ecologiche permettono di individuare relazioni che possono essere influenzate positivamente attraverso provvedimenti selvicolturali: scelta appropriata della stazione, messa in copertura e quindi crescita rallentata delle piantagioni nella fase iniziale, densità, composizione delle specie ed accurato trattamento del soprassuolo possono ridurre l'estensione dei danni. Il principio del diradamento selettivo positivo con il favoreggiamento degli alberi vitali, ben sviluppati e a forte accrescimento non viene messo in discussione dalle risultanze del presente lavoro. Grazie al modello di simulazione aziendale la pratica dispone ora di uno strumento che permette, sulla base di alcuni dati e caratteri facilmente rilevabili (percentuale e lunghezza media delle parti di tronco colpite dal marciume, percentuale di abete rosso, accenni sull'attacco di *Heterobasidion annosum*), una valutazione attendibile dell'evoluzione futura del valore e l'adozione tempestiva di misure selvicolturali atte a minimizzare le perdite economiche. Continui controlli interni sullo stato dei danni nelle tagliate possono sostenere in modo efficace queste basi decisionali di tipo economico-aziendale.