

Disinfestazione di manufatti lignei da parassiti larvali mediante tecniche da vuoto

Giuseppe Chidichimo, Francesco Dalena, Amerigo Beneduci

Dipartimento di Chimica e Tecnologie chimiche

Università della Calabria, Cosenza, Italia

Parole chiave: manufatti in legno, *hylotrupes bajolus*, disinfestazione, disidratazione

1. Introduzione

Ogni manufatto ligneo è un incubatore ideale per insetti xilofagi. Essi possono sopravvivere nel legno per molti cicli biologici che coinvolgono la deposizione delle uova, lo sviluppo dello stato larvale del verme ed infine la trasformazione della larva stessa ad insetto. Durante lo stato larvale, l'insetto trae il suo nutrimento dalla cellulosa contenuta nel legno e, come conseguenza, scava profondi canali per tutto il manufatto causando il deterioramento delle proprietà meccaniche del materiale. Questo problema, nella grande maggioranza degli interventi conservativi, è risolto esponendo il manufatto a sostanze chimiche che, in caso di loro perdita accidentale, possono essere pericolose per i lavoratori preposti alle operazioni di conservazione. Queste metodologie hanno l'ulteriore inconveniente di non essere efficaci nel distruggere le uova degli insetti.

I metodi di disinfestazione dai tarli possono essere classificati in due categorie principali: chimici e non chimici. Un confronto dettagliato dei metodi più utilizzati per controllare l'attacco dei tarli è riportato nei lavori di Lewis e Haverty [1,2]. Tra i prodotti chimici che devono essere applicati direttamente al legno, vi sono aerosol piretro e aerosol e piretroidi liquidi (cyluthrina, permetrina, bifentrina) imidacloprid liquido, azoto liquido e soluzioni di fosfato octaborato tetraidrato[3].

Tutte queste sostanze devono essere attentamente gestite da operatori esperti, per le ragioni su citate. Pertanto, sta crescendo l'interesse verso la disinfestazione con metodi non chimici quali, i trattamenti per riscaldamento (il manufatto viene riscaldato ad una temperatura al di sopra di 53 °C per almeno 33 minuti [2], condizione che assicura la morte dei parassiti, ma che può danneggiare i manufatti lignei), l'elettrocuzione (basata su dispositivi ad elevato voltaggio) con una reale efficacia inferiore al 44% [2] ed anche mediante radiazioni a microonde [4].

In questo articolo si descrive una nuova tecnica di disinfestazione basata sull'esposizione del manufatto a determinate condizioni di vuoto e si mostra che queste inducono danni biologici irreversibili sulle larve. Lo scopo del lavoro è stato quello di trovare un protocollo utile per la disinfestazione di larve di tarli mediante tecniche da vuoto. Più precisamente, l'obiettivo è stato quello di trovare il tempo minimo di trattamento sottovuoto per la completa disinfestazione del legno di noce (*Liquidambar styraciflua*) da parte delle larve parassite di *Hylotrupes bajolus*.

Per quello che è a nostra conoscenza, non sono stati effettuati lavori sperimentali riguardanti questo argomento. Ad oggi, l'applicazione del vuoto intorno ad un manufatto non sembra essere una questione complessa; questo è interessante per verificare la possibilità di disinfestazione dai vermi mediante una metodologia che non utilizza sostanze chimiche nocive o trattamenti fisici mediante calore o radiazioni elettromagnetiche che possono causare una disidratazione del legno.

2. Parte sperimentale

L'apparecchiatura utilizzata per eseguire esperimenti mediante vuoto è illustrata in Figura 1. Essa è costituita da un essiccatore sferico da vuoto in plexiglas (con uno spessore sufficiente a resistere ad una pressione superiore a 1,2 bar tra la superficie esterna e quella interna) collegato ad una pompa da vuoto rotativa Edwards in grado di creare un vuoto di 10^{-2} bar. La pressione è stata controllata mediante un manometro collegato tra la pompa e l'essiccatore.



Figura 1 Apparecchiatura utilizzata per la sperimentazione da vuoto

Per eseguire un numero significativo di esperimenti è stato necessario allevare le larve di *Hylotrupes Bajulus* scegliendo come incubatore legno di castagno già infestato dai vermi. Tronchi di legno di castagno infestato (mediamente di 10 cm di diametro), sono stati mantenuti per 9 mesi in appositi contenitori aerati alla temperatura di 20 °C ed un tasso di umidità relativa del 70%. Questi parametri ambientali hanno consentito una crescita ottimale di un numero di larve di *Hylotrupes Bajulus* (Figura 2) sufficiente per i nostri esperimenti.



Figura 2 Larva di *Hylotrupes Bajulus*

Sono stati condotti esperimenti preliminari su larve estratte dal loro ambiente naturale (pezzi di legno in cui sono state allevate) e esposte, in maniera isolata, alle condizioni di vuoto di 10^{-2} bar, nell'apparecchiatura mostrata in Figura 1. Questi esperimenti hanno mostrato che le larve sono in grado di mantenere il loro stato vitale per qualche ora in tali condizioni di vuoto. Solo dopo più di 10 ore di trattamento, i vermi, allo stato larvale, perdevano la loro mobilità e presentavano dimensioni ridotte. La nostra conclusione è stata quindi che i vermi, in condizioni di vuoto, perdono acqua disidratandosi gradualmente. Inoltre, i vermi, mantenuti isolati in queste condizioni, non erano più in grado di reidratarsi per riguadagnare la loro vitalità. In questa fase non siamo stati in grado di rispondere alla seguente domanda: i vermi mantenuti nel loro habitat naturale e sottoposti a condizioni di vuoto si disidratano come i vermi isolati o possono reidratarsi riprendendo l'acqua dal legno? In altre parole, non eravamo sicuri che la conclusione a cui si era arrivati per i vermi estratti dal loro ambiente naturale potesse essere valida per i vermi lasciati nel loro habitat, come è il caso di un manufatto infestato. I vermi situati nel legno potrebbero infatti reidratarsi assumendo l'umidità dal legno stesso mediante meccanismi di diffusione e/o semplicemente nutrendosi della cellulosa. Un altro problema da risolvere era

quello di trovare dei parametri misurabili che ci indicassero la reale morte del verme. Per risolvere questi problemi sarebbe stato necessario condurre gli esperimenti lasciando le larve all'interno del loro habitat naturale, utilizzando alcuni parametri legati alla loro attività per misurare il loro stato vitale. A tal fine, le larve contenute nei pezzi di legno di castagno in cui erano state allevate, sono state esposte direttamente alle condizioni sperimentali di vuoto. Sono stati presi campioni di legno di castagno di forma cilindrica uniformati a dimensioni pari a 5 cm di altezza per un diametro di circa 10 cm. Ciascuno di questi campioni conteneva un singolo verme annidato nella regione tra la corteccia e il legno. Per seguire la vitalità delle larve nel corso del trattamento sottovuoto, è stata monitorata costantemente la loro attività misurando la quantità di rosime prodotto. Questo materiale di scarto può essere facilmente prelevato dal campione semplicemente toccando la corteccia del cilindro di legno vicino alla cavità aperta creata dal verme e posando il campione dalla parte in cui è situata questa cavità. Uno dei campioni utilizzati nei nostri esperimenti (campione N. 7) è mostrato in Figura 3.



Figura 3 Uno dei campioni utilizzati nei nostri esperimenti

La cavità prodotta dalla larva è chiaramente visibile sul lato sinistro del campione. La figura inoltre mostra chiaramente il rosime prodotto dal verme contenuto in questo campione.

Gli esperimenti sono stati condotti su campioni di controllo, dove le larve sono state lasciate indisturbate e campioni sottoposti a 8, 24, 120 e 144 ore di regime di vuoto alla pressione di 10^{-2} bar. Al fine di ridurre l'errore sperimentale, per ciascuna di queste condizioni sono stati testati tre campioni, ciascuno di essi contenente un solo verme di dimensioni comparabili con gli altri. Questa evidenza è stata accertata per ciascun campione al termine della procedura analitica. Il rifiuto prodotto (WP) è stato raccolto e pesato a precisi intervalli di tempo. Il tempo complessivo di ricerca è stato di 35 giorni per ciascun campione.

3. Risultati e discussione

La Figura 4 mostra il WP prodotto in funzione del tempo. All'inizio di ogni esperimento, ciascun campione è stato pulito dal WP fino ad allora prodotto dal verme ospitato. Ciascun punto sperimentale riportato nel grafico di Figura 4, rappresenta il WP accumulato in quel giorno dall'inizio del monitoraggio: il rosime prodotto in un determinato giorno è stato infatti prelevato dai campioni e successivamente pesato e corrisponde al rosime prodotto tra il giorno della misura precedente ed il giorno della misura effettiva; il WP misurato è stato poi aggiunto al valore precedentemente ottenuto. L'esposizione alle condizioni di vuoto è stata fatta partire, per ciascun campione, al giorno 9, come indicato dalla freccia in Figura 4.

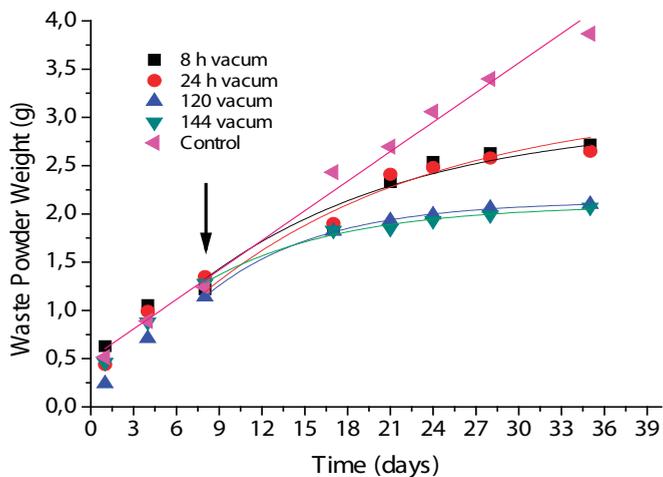


Figura 4: WP prodotto dai vermi in funzione dei giorni di monitoraggio, per quattro differenti tempi di esposizione al vuoto (ore) rispetto a campioni di controllo non esposti. Ciascun punto rappresenta la media dei quantitativi di WP misurati su tre campioni differenti sottoposti alle stesse condizioni sperimentali (vedi testo). Il giorno di inizio del trattamento sperimentale è evidenziato nel grafico dalla freccia nera (giorno 9).

Prima di tutto, è interessante notare che i campioni di controllo producono una quantità di WP costante nei giorni di monitoraggio, tanto che l'andamento dei punti è lineare dall'inizio alla fine dell'esperimento. Il coefficiente angolare della retta che fitta questi punti è pari a 0.10 gr/giorno con un errore pari a circa il 4%. Questo significa che la cinetica di produzione di rosime rimane costante nel tempo e non è influenzata dalla manipolazione dei campioni che implica il metodo di raccolta del WP.

Nei campioni esposti, prima del trattamento in condizioni di vuoto, l'andamento del WP prodotto è anch'esso lineare con una pendenza molto simile a quella del campione di controllo. Tuttavia, dopo il trattamento, il WP accumulato perde il suo andamento lineare per assumerne uno esponenziale. Questo è chiaramente mostrato in Figura 4 dove l'andamento lineare per i campioni di controllo e l'andamento esponenziale per i campioni sottoposti ai trattamenti alle quattro differenti condizioni di vuoto, sono riportati come linee continue che rappresentano i rispettivi fitting dei dati sperimentali. L'equazione usata per descrivere l'andamento esponenziale è stata la seguente:

$$WP = WP_{\infty} + Ae^{-kt}$$

dove, WP è il rosime cumulativo prodotto al tempo t, WP_{∞} è il rosime cumulativo che sarebbe prodotto ad un tempo infinito, k è la costante cinetica di degradazione del verme espressa in giorni⁻¹ e A è un fattore pre-esponenziale che dipende dal punto iniziale di WP accumulato al momento del trattamento in condizioni di vuoto.

I risultati dell'analisi di fitting sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Risultati del fitting esponenziale dei dati riportati in Figura 4

Campione	WP_{∞}	k	R^2
8 h	3,17274 (0,43887)	0.06 (0.03)	0,94954
24 h	2,98241 (0,39273)	0.07 (0.03)	0,92817
120 h	2,09386 (0,05906)	0.106 (0.022)	0,98029
144 h	2,13252 (0,01226)	0.125 (0.005)	0,99948

I valori in parentesi sono la deviazione standard dei dati

È interessante notare che l'attività metabolica dei vermi non si interrompe bruscamente con l'inizio del trattamento sperimentale (Figura 4), ma diminuisce gradualmente fino a zero con una tendenza esponenziale. La Tabella 1 mostra che la costante cinetica di questa tendenza, k , aumenta gradualmente con l'aumento del tempo di vuoto a cui sono stati sottoposti i campioni.

Si può quindi presumere che questa costante rappresenti il tasso di degradazione del verme indotta dal trattamento di vuoto: più lungo è il trattamento, più veloce è la degradazione. Ciò si riflette anche nella velocità con cui il WP raggiunge il valore infinito. Ai fini pratici, esso viene raggiunto dopo circa 15 giorni dal trattamento nei campioni 120h e 144h (rispettivamente 5 e 6 giorni di trattamento) mentre, nei campioni 8h e 24h (rispettivamente 0.3 e 1 giorno di trattamento) esso viene raggiunto solo dopo circa 25 giorni.

Al termine dell'esperimento, oltre all'analisi del rosume prodotto dalle larve nel tempo, è stata anche eseguita un'osservazione diretta visiva delle larve esposte al vuoto. È stato notato che tutte le larve esaminate erano morte a causa di una significativa disidratazione causata dal trattamento sottovuoto.

Riassumendo i risultati, in questo lavoro è stato mostrato che, per un tempo di vuoto pari a 8 ore, i vermi fermano completamente la loro attività di produzione di rosume dopo circa 25 giorni dal trattamento. Per tempi di esposizione al vuoto più lunghi, l'attività del verme si ferma dopo circa 10 giorni dall'esposizione. Inoltre, l'ispezione visiva delle larve al termine degli esperimenti, ci ha permesso di verificare che le larve esposte morivano a causa di una significativa disidratazione indotta dal vuoto.

In conclusione, possiamo dire che 8 ore di trattamento sottovuoto a 10^{-2} bar sono sufficienti per disinfestare i manufatti di legno dalle larve di *Hilotrupes baiolus*. È importante sottolineare che, sebbene le larve continuino la loro attività di produzione di rosume per un certo tempo dopo che la larva è stata esposta al vuoto, tali condizioni tuttavia, inducono danni biologici irreversibili che portano alla loro morte dopo un certo tempo che dipende dalla durata dell'esposizione.

Questa tecnica sembra essere molto promettente in quanto non espone gli operatori a qualsiasi rischio chimico o fisico.

Ringraziamenti

Gli autori sono grati al Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica Italiano (MIUR) per il finanziamento del progetto IT@CHA PON01_00625.

Note biografiche

Giuseppe Chidichimo è professore ordinario di Chimica Fisica presso l'Università della Calabria (UNICAL), Italia. È stato direttore del Dipartimento di Chimica UNICAL (1987-1996), Presidente del Parco Scientifico e Tecnologico della Calabria (CALPARK) (1996-2000), Presidente del Corso di Studi in Chimica presso UNICAL (1998-2003) e Presidente della Società Chimica Italiana - sezione "Calabria" per due periodi di tre anni. Nel 1997 ha ricevuto la "Laurea Honoris Causa" presso l'Università di Nizhny Novgorod (Federazione Russa). Ha fondato tre società Spin Off attive: Tebaide (per il trasferimento tecnologico nel campo dei materiali innovativi); Diarco RESTAURO (per il trasferimento tecnologico nel campo dei Beni Culturali Conservazione ed il Restauro); SIRIA (per il trasferimento tecnologico nel campo degli studi ambientali). È autore di oltre 200 pubblicazioni scientifiche e 20 brevetti internazionali, in materia di ricerca di base ed applicata nel campo dei materiali innovativi, chimica-fisica, conservazione del patrimonio Culturale. È stato Relatore in numerosi convegni scientifici nazionali ed internazionali.

Amerigo Beneduci, Laurea Magistrale (con lode) in Chimica presso l'Università della Calabria (UNICAL), Italia, nel 1998. Ha ottenuto il dottorato di ricerca laurea in Chimica presso UNICAL nel 2002. Dal 2003 al 2008 ha lavorato come assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Chimica-UNICAL. È stato professore di chimica analitica dal 2003 al 2008 e professore di termodinamica e cinetica chimica dal 2012 al 2015. È autore di più di 30 articoli peer-reviewed e ha partecipato a numerosi congressi internazionali e nazionali come relatore. È co-fondatore della società SIRIA di cui è supervisore dell'area chimica.

Francesco Dalena. Laurea Magistrale in Chimica con specializzazione in "Chimica dei materiali avanzati", del Dipartimento di Chimica dell'Università della Calabria (Italia). Svolge il dottorato di ricerca presso UNICAL lavorando su un progetto per il restauro di manufatti in legno e carte antiche infestate da agenti biologici.

Summary

Wooden artifacts are subject to being heavily damaged by the attack of worms which develop in the wood through the eggs deposited by adult pests before their final transformation into flying insects. Among the most dangerous species are xylophagous (wood-boring) insects, whose larvae are responsible for one of the most efficient wood-destroying mechanisms in wooden cultural heritage. Their elimination has always been a huge problem for the conservation of wood. In this work, we present the experimentation of a simple vacuum technique to disinfest wood from the larval *Hylotrupes bajulus*. We will also introduce the possibility of treating large-sized wooden artifacts by means of a special vacuum chamber.

Riassunto

I manufatti lignei sono soggetti ad essere fortemente danneggiati dall'attacco di parassiti che, nella loro forma adulta, prolificano nel legno depositando le loro uova. Tra le specie più pericolose ci sono gli insetti xilofagi, le cui larve sono responsabili di uno dei più efficaci meccanismi di degradazione dei manufatti artistici lignei. La loro eliminazione, da sempre, costituisce un problema enorme per lo stato di conservazione del legno. In questo lavoro, viene presentata la sperimentazione di una nuova semplice tecnica da vuoto per la disinfestazione del legno da parte del *Hylotrupes bajulus* nella sua forma larvale. Viene inoltre presentata la possibilità di trattare manufatti lignei di grandi dimensioni per mezzo di una speciale camera da vuoto.

Résumé

Les objets en bois sont très vulnérables à l'attaque de parasites qui, dans leur forme adulte, prolifèrent dans le bois où ils déposent leurs œufs. Les insectes xylophages figurent parmi les espèces les plus dangereuses, leurs larves étant responsables de l'un des mécanismes de dégradation les plus efficaces des objets d'art en bois. Leur élimination est, depuis toujours, un problème énorme pour l'état de conservation du bois. Dans ce travail, nous présentons l'expérimentation d'une simple technique sous vide de conception récente pour l'assainissement du bois infesté par *Hylotrupes bajulus* dans sa forme larvaire. La possibilité de traiter des objets en bois de grande taille par une chambre à vide spéciale sera également présentée.

Zusammenfassung

Manufakte aus Holz sind stark vom Befall durch Schädlinge bedroht, die sich nach Erreichen des adulten Zustands im Holz vermehren und dort ihre Eier ablegen. Zu den gefährlichsten Arten gehören holzbohrende Insekten, deren Larven für einen der schlimmsten Schädigungsmechanismen bei hölzernen Kunstgegenständen verantwortlich sind. Ihre Beseitigung stellt von jeher ein enormes Problem für die Konservierung des Holzes dar. In diesem Werk präsentieren wir die Erprobung einer einfachen, neuen Vakuumtechnik zur Befreiung des Holzes von den Larven des Schädlings *Hylotrupes bajulus*. Darüber hinaus wird die Möglichkeit präsentiert, große hölzerne Kunstwerke mit Hilfe einer speziellen Vakuumkammer zu behandeln.

Resúmen

Las obras lignarias están sujetas a la agresiva acción nociva de determinados parásitos que, al alcanzar su forma adulta, proliferan en la madera y depositan sus huevos. Entre las especies más peligrosas se encuentran los insectos xilófagos, cuyas larvas

son responsables de uno de los más destructivos mecanismos de degradación de las obras artísticas lignarias. Eliminarlas ha sido siempre una de las principales preocupaciones de quienes velan por el buen estado de conservación de la madera. En este trabajo se presenta la experimentación de una sencilla nueva técnica de vacío con la que desinfectar la madera de las larvas de *Hylotrupes bajulus*. Asimismo, se ilustrará la posibilidad de tratar obras lignarias de grandes dimensiones mediante una cámara de vacío especial.

概述

木制文物很容易受着寄生虫的侵害，而成虫又常常在其中繁殖产卵。蛀木虫是众多寄生虫中最为危险的一种，它的幼虫非常善于破化木制工艺品。木料的保存情况通常与这种幼虫清除情况的息息相关。在这篇文章中，我们将介绍如何采用一种简单的真空除去木材中*Hylotrupes bajulus*(家希天牛)幼虫的新方法。随后的介绍则是关于利用特殊真空室，为实现大型木料的处理提供可能。

Резюме

Изделия из дерева могут быть серьезно повреждены насекомыми-паразитами, взрослые особи которых размножаются в дереве и откладывают личинки. Среди самых опасных видов - насекомые-древоточцы, личинки которых являются элементами самых эффективных механизмов разрушения художественных артефактов из дерева. Их уничтожение всегда являлось огромной проблемой для сохранности дерева. В этой работе мы представляем новую, экспериментальную вакуумную технику для дезинфекции дерева от *Hylotrupes bajulus* на личиночном уровне развития. Кроме того, будет представлена возможность обработки крупногабаритных деревянных артефактов при помощи специальной вакуумной камеры.