

# Interreg



UNIONE EUROPEA  
EVROPSKA UNIJA

## ITALIA-SLOVENIJA



DuraSoft

Progetto standard co-finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale  
Standardni projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj

# Valutazione della resistenza all'attacco degli xilofagi marini dei materiali legnosi trattati (EN275 modificata)

Versione: N. 1

WP di riferimento: WP3.1.2 - ATT8

Partner Responsabile: CNR-ISMAR, Venezia (LP)

Autori: Davide Tagliapietra (LP), Irene Guarneri (LP), Miha Humar (ULJ PP2), Boštjan Lesar (ULJ PP2)

Data: 31/08/2022



CNR  
ISMAR  
ISTITUTO  
DI SCIENZE  
MARINE



University of Ljubljana



Università  
Ca' Foscari  
Venezia



PRIMORSKA  
GOSPODARSKA  
ZBORNICA



Silvaprodukt  
od 1951



## INDICE

ACRONIMI.....	2
SOMMARIO.....	3
1 Inquadramento della problematica e del progetto DuraSoft.....	3
1.1 Finalità delle attività svolte nell'ambito dell'ATT8.....	4
2 Materiali e Metodi.....	4
3 RISULTATI.....	10
3.1 Andamenti mensili.....	10
3.2 Andamenti annuali.....	14
3.3 Specie di organismi xilofagi presenti.....	17
4 DISCUSSIONE E CONCLUSIONE .....	19
BIBLIOGRAFIA .....	21

## ACRONIMI

ABI: Abete bianco (*Abie alba*)

ACC: Pannelli in legno di *Pinus radiata* acetilato (Accoya)

ARS: Darsena Grande dell'Arsenale di Venezia

Fouling: Macroinvertebrati bentonici sessili che crescono sui pannelli

KOP: Koper (SLO)-Capodistria (ITA)

LOW: condizione sperimentale con pannelli in legno trattati con una soluzione di Silvanolin contenente lo 0,033% di Cu

MAR: condizione sperimentale con pannelli in legno trattati con una soluzione di Silvanolin a base di Rame e acido ossalico

NAN: Pannelli in legno di quercia trattati con una soluzione di contenente una formulazione di ferro nano-particolato

NTC: condizione sperimentale di controllo, pannelli in legno non trattato

PIC: Abete rosso (*Picea abies*)

PIN: Pino silvestre (*Pinus sylvestis*)

PRA: Pino di Monterey (*Pinus radiata*)

PTF: Piattaforma "Acqua Alta" del CNR-ISMAR

QUE: Quercia farnia (*Quercus robur*)

SUL: Pannelli in legno di quercia trattati con una soluzione di contenente solfato di ferro

THM: Termicamente modificato

UC3: condizione sperimentale con pannelli in legno trattati con soluzione di Silvanolin contenente lo 0.25% di Cu

UC4: condizione sperimentale con pannelli in legno trattati con soluzione di Silvanolin contenente lo 0.5% di Cu

UC5: condizione sperimentale con pannelli in legno trattati con soluzione di Silvanolin contenente l'1% di Cu

## SOMMARIO

---

Nel comprensorio alpino-marittimo dell'alto Adriatico il legno è ampiamente utilizzato nelle attività agropastorali e quelle legate alla pesca. Tuttavia, il legno è un materiale particolarmente soggetto all'azione di vari fattori di decomposizione biotici (funghi, insetti, termiti) e abiotici (temperatura e umidità), soprattutto se esposto al contatto diretto con il suolo o con l'acqua. Lo scopo dell'ATT8 è stato quello di valutare in maniera standardizzata la resistenza acquisita dai legni dopo trattamento. Una serie di esperimenti in-situ è stata condotta per valutare la resistenza acquisita dai materiali dopo il trattamento agli invertebrati xilofagi marini. I provini standard sono stati esposti all'ambiente marino e estuarino in condizioni monitorate. I materiali lignei sono stati testati secondo una modifica della normativa Europea EN 275 (1992), appositamente sviluppata da CNR-ISMAR per la valutazione in ecosistemi costieri di transizione e sottoposto alla valutazione da parte della CEN/TC38/WG2-Task Group EN 275 nella revisione della normativa in corso. Sono state testate 5 specie di legni esposti in 3 siti (Arsenale di Venezia, Piattaforma Acqua Alta del CNR e Capodistia) applicando 3 tipi di trattamenti (non trattati per controllo, modificati e impregnati). Dalle valutazioni periodiche si sono ottenute circa 700 immagini radiografiche, dalle quali è emerso che le conifere non trattate non superano la prima estate, il legno termicamente modificato dà una protezione ma essa è insufficiente se costantemente sommerso, il legno acetilato offre una protezione completa, mentre il Silvanolin a bassa concentrazione non offre protezione. I legni trattati con Silvanolin UC5 e Marine non sono stati attaccati nel corso del primo anno ma le prove preventive ci dicono che potrebbero esserlo dal secondo anno in poi. L'ambiente marino della Piattaforma si conferma essere meno soggetto all'attacco da parte delle teredini rispetto agli ambienti paralici come la laguna di Venezia ed il Porto di Capodistria

## 1 INQUADRAMENTO DELLA PROBLEMATICHE E DEL PROGETTO DURASOFT

---

Nel comprensorio alpino-marittimo dell'alto Adriatico il legno è ampiamente utilizzato nelle attività agropastorali e quelle legate alla pesca. Strutture abitative tradizionali insieme alle infrastrutture lignee complementari quali moli, pali di segnalazione e ormeggio ma anche recinzioni, camminamenti sono ampiamente utilizzati e possiedono un notevole valore storico e socio-ecologico (Lo Monaco et al. 2018). Tuttavia, il legno è un materiale particolarmente soggetto all'azione di vari fattori di decomposizione biotici (funghi, insetti, termiti) e abiotici (temperatura e umidità), soprattutto se esposto al contatto diretto con il suolo o con l'acqua (Marais et al. 2022). Il legno di conifere, storicamente il più utilizzato in questa zona, è meno durevole rispetto a quello ricavato dalle latifoglie. Quando questo legno tenero viene utilizzato per l'edilizia, è pertanto necessario migliorarne la resistenza e la durata per rendere meno onerosa la manutenzione e aumentare la sicurezza delle costruzioni in legno. A questo scopo vengono abitualmente utilizzati nella formulazione dei preservanti del legno dei conservanti chimici quali i composti a base di rame. Il rame, però, non è in grado di fissarsi direttamente al legno, e pertanto è necessario impiegare altri fissativi per prevenire i processi di lisciviazione. L'aggiunta di cromo è ampiamente utilizzata ed

efficace per fissare i sali metallici solubili all'interno del legno. Tuttavia, a causa della sua cancerogenicità, la maggior parte dei paesi europei intende vietare o limitare l'uso del cromo nei preservanti del legno. Pertanto, vi è una grande richiesta di sviluppare composti alternativi ecologicamente accettabili ed efficaci per la fissazione del rame nell'agente impregnante soprattutto per quei legni il cui uso prevede il contatto con il terreno o con acqua dolce oppure permanentemente esposto all'acqua salata. Attraverso il progetto DuraSoft, finanziato dal Programma Interreg Italia - Slovenia, sono stati testati sia l'efficacia che la sostenibilità ambientale di alcuni trattamenti sviluppati dai partner che intendono aumentare la durabilità di materiali e manufatti di specie tradizionali di conifere.

### 1.1 Finalità delle attività svolte nell'ambito dell'ATT8

Lo scopo è stato quello di valutare in maniera standardizzata la resistenza acquisita dai legni dopo trattamento indipendentemente dal tipo di manufatto che verrà prodotto con essi. Una serie di esperimenti in-situ è stata condotta per valutare la resistenza acquisita dai materiali dopo il trattamento agli invertebrati xilofagi marini quali Teredini (Bivalvia: Teredinidae), Isopodi (*Limnoria*) e anfipodi (*Chelura*), noti per essere la maggior causa di danno alle strutture marittime in legno ed al patrimonio culturale. I provini standard sono stati esposti all'ambiente marino e estuarino in condizioni monitorate. I materiali lignei sono stati testati secondo una modifica della normativa Europea EN 275 (1992), appositamente sviluppata da CNR-ISMAR per la valutazione in ecosistemi costieri di transizione e sottoposto alla valutazione da parte della CEN/TC38/WG2-Task Group EN 275 nella revisione della normativa in corso. I materiali sono stati dimensionati in provini standard: 20,0 x 7,0 x 2,5 cm (EN 275) e trattati in seno al WP. I test specimen sono stati testati in tre repliche per tipologia di trattamento, più i controlli in Pino Silvestre (*Pinus sylvestris*). I provini sono stati esposti, sospendendoli alla stessa profondità (-1 metro dal livello del medio mare reale) e per un anno. Sui pannelli esposti in Darsena dell'Arsenale a Venezia sono stati effettuati controlli periodici per valutare la progressione temporale dell'attacco con particolare enfasi per il periodo primaverile-estivo. Al termine dell'esposizione l'attacco da parte di macroinvertebrati xilofagi è stato valutato in accordo alla normativa EN 275 tramite radiografia. Al fine di testare la performance dei trattamenti in differenti condizioni i provini sono stati esposti presso il test site ISMAR nella Città di Venezia (Darsena Grande dell'Arsenale di Venezia), in mare presso la Piattaforma Oceanografica ISMAR/CNR nel Mar Adriatico, circa 10 km al largo del Lido di Venezia e nel porto di Capodistria. La facoltà di biotecnologie dell'Università di Lubiana collabora ormai da diverso tempo con l'ente Porto di Capodistria. L'area del porto presenta diversi vantaggi: il campo sperimentale è infatti protetto dall'accesso di visitatori indesiderati, a differenza di altri luoghi dove sussiste il rischio di furto dei provini. Nel sito in questione è inoltre possibile utilizzare diverse attrezzature meccaniche (sollevatore) facilitando così le operazioni e garantendo migliori condizioni di sicurezza.

## 2 MATERIALI E METODI

I materiali lignei nei loro diversi trattamenti, sono stati testati secondo una modifica della normativa Europea DIN/EN 275 (1992), appositamente sviluppata da ISMAR per la valutazione in ecosistemi costieri di transizione.

I materiali, forniti dal partner Silvaprodukt, sono stati dimensionati in provini di dimensioni standard: 20,0 x 7,0 x 2,5 cm, in accordo con la EN 275 (1992). I provini delle tipologie di materiale sottoposte a test, in tre repliche per tipologia, opportunamente siglati, sono stati esposti all'attacco degli organismi marini lignivori, soprattutto teredini alla profondità di 100 cm sotto la superficie dell'acqua su appositi supporti galleggianti in ombra. I supporti ("rack") per i provini sono stati appositamente progettati dagli scriventi e costruiti in materiale plastico. I provini sono stati collocati verticalmente ed affiancati per il lato più lungo, ad una distanza di circa due centimetri (Figura 1). Installazione a Capodistria (Figura 2).

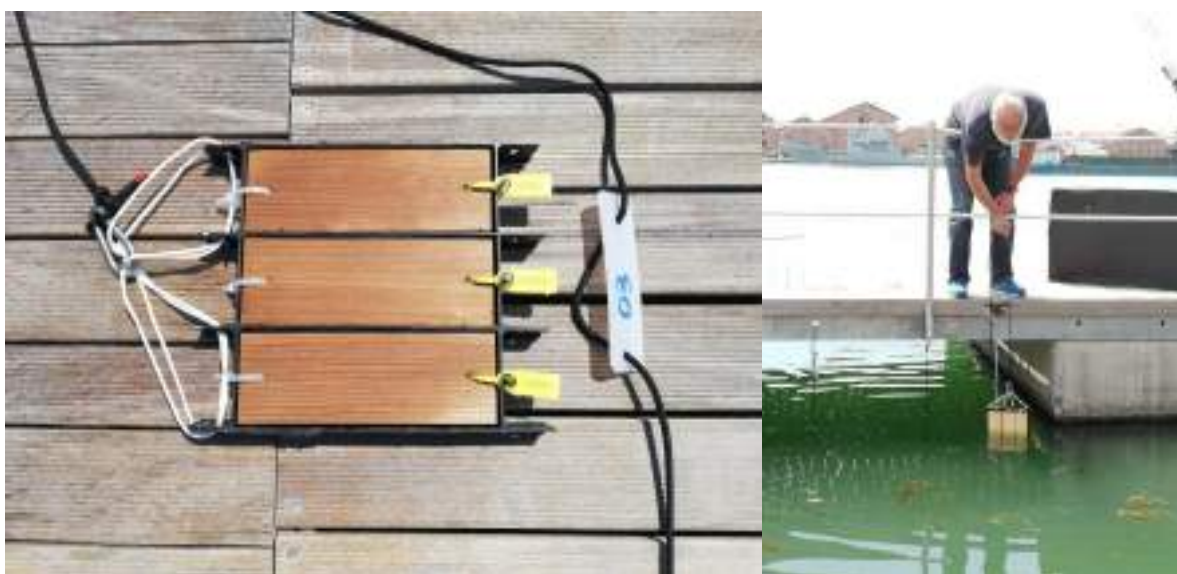


Figura 1: a sinistra rack con le tre repliche di una stessa tipologia di pannelli pronti per essere messi in acqua, a destra fase di immersione presso il pontile del CNR-ISMAR

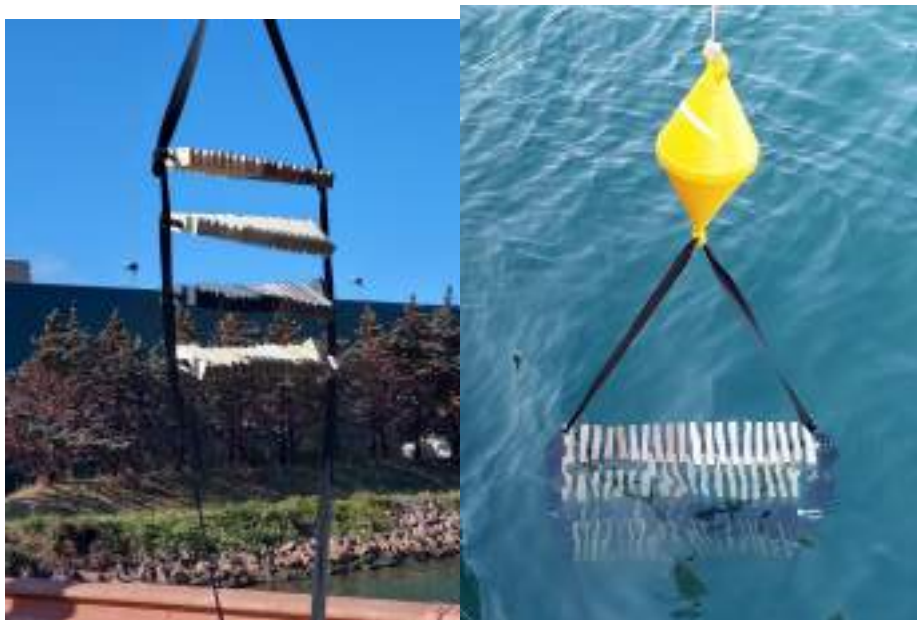


Figura 2: Messa in acqua dei provini nell'area del porto di Capodistria 18/08/2021

I provini sono stati collocati, presso la Darsena Grande dell'Arsenale di Venezia presso il pontone CNR-ISMAR dal 08/06/2021 al 18/08/2022, e presso il Porto di Capodistria (SLO) dal 18/08/2021 al 29/07/2022 alla stessa profondità. Panelli delle stesse quantità e tipologie dell'Arsenale, sono stati posti in opera anche presso la piattaforma Offshore "Acqua alta", con l'ausilio volontario dei subacquei della Polizia di Stato Italiana, dal 28/06/2021 al 18/08/2022 alla profondità di 10 m per evitare i danni che sarebbero stati causati dalle onde, soprattutto durante le mareggiate.

All'Arsenale la temperatura dell'acqua presenta un minimo a gennaio-febbraio con valori prossimi ai 4°C, un massimo attorno ai 28 gradi nel mese di agosto, la media è di 16°C. La salinità media è 31 ‰ con valori minimi di 25 ‰ per brevi periodi.

A Capodistria si sono collocati più repliche di provini per meno specie/trattamenti.

I provini sono stati fissati a un particolare supporto ed esposti all'ambiente marino nell'area del Porto di Capodistria a una profondità di 6 m, dove la temperatura media del mare è pari a 15,8°C, con valori minimi di 8°C in febbraio e valori massimi di 24°C nel mese di agosto. La salinità media è compresa tra 37 ‰ e 38 ‰ e può raggiungere in

estate 35 %.

L'elenco dei materiali posti in opera presso i tre siti sperimentali è riportato in tabella 1

Tabella 1: Materiali posti in opera presso i tre siti sperimentali

Tipologia pannello	Sito sperimentale (numero di repliche)
ABI NTC	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC NTC	PTF (3), ARS (3)
PIN NTC	PTF (3), ARS (3)
PIN THM	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PRA ACC	PTF (3), ARS (3)
PIC LOW	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC UC3	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC UC5	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC MAR	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
QUE NTC	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
QUE SUL	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
QUE NAN	PTF (3), ARS (3), KOP (9)

Le concentrazioni di Silvanolin corrispondenti alle categorie d'uso UC3 e UC5, la "formulazione marina" di Silvanolin, e la formulazione "bassa concentrazione", così pure i trattamenti termici e acetilati, sono dettagliatamente descritte nei Deliverables prodotti da Silvapodikt e di Università di Lubiana.

I provini dell'Arsenale di Venezia sono stati radiografati e valutati con cadenza mensile mentre quelli collocati presso il porto di Capodistria e presso la Piattaforma offshore sono stati valutati dopo un anno.

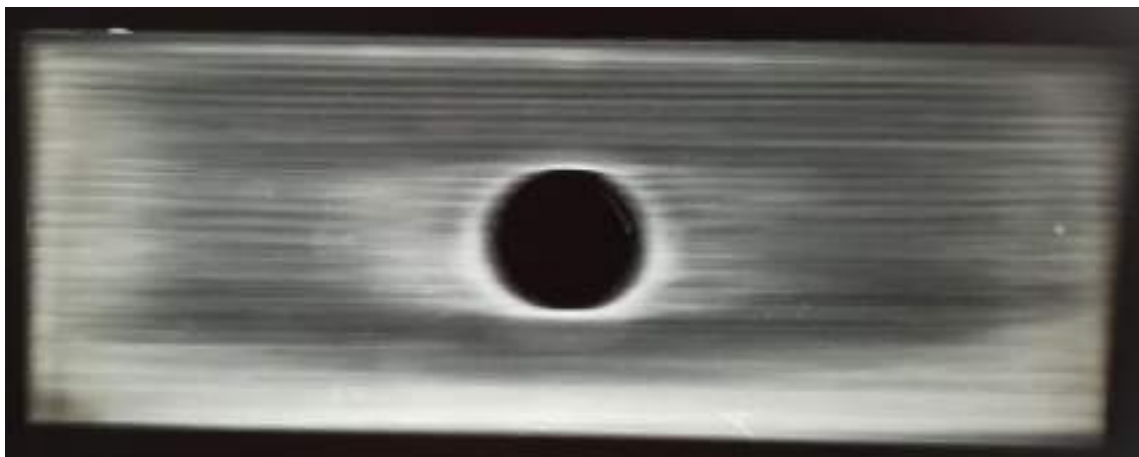
La quantificazione della bioerosione è stata condotta tramite stime visive e misure

quantitative dirette, su radiografie, sulla base del numero e dimensione delle gallerie.

L'attacco viene espresso anche in classi di attacco (Ranking) secondo lo schema prescritto dallo standard EN 275 (riportato in tabella 2, esempi in figura 3).

Tabella 2: Classi di attacco secondo la normativa EN275:1992 e le rispettive percentuali di area erosa come è proiettata sulla superficie della radiografia

Bioerosione %	Classe di attacco	Intensità dell'attacco
0	0	Assente (No Attack)
>0, ≤15	1	Basso (Slight attack)
>15, ≤25	2	Medio (Moderate Attack)
>25, ≤50	3	Alto (Severe Attack)
>50	4	Molto Alto (Failure)





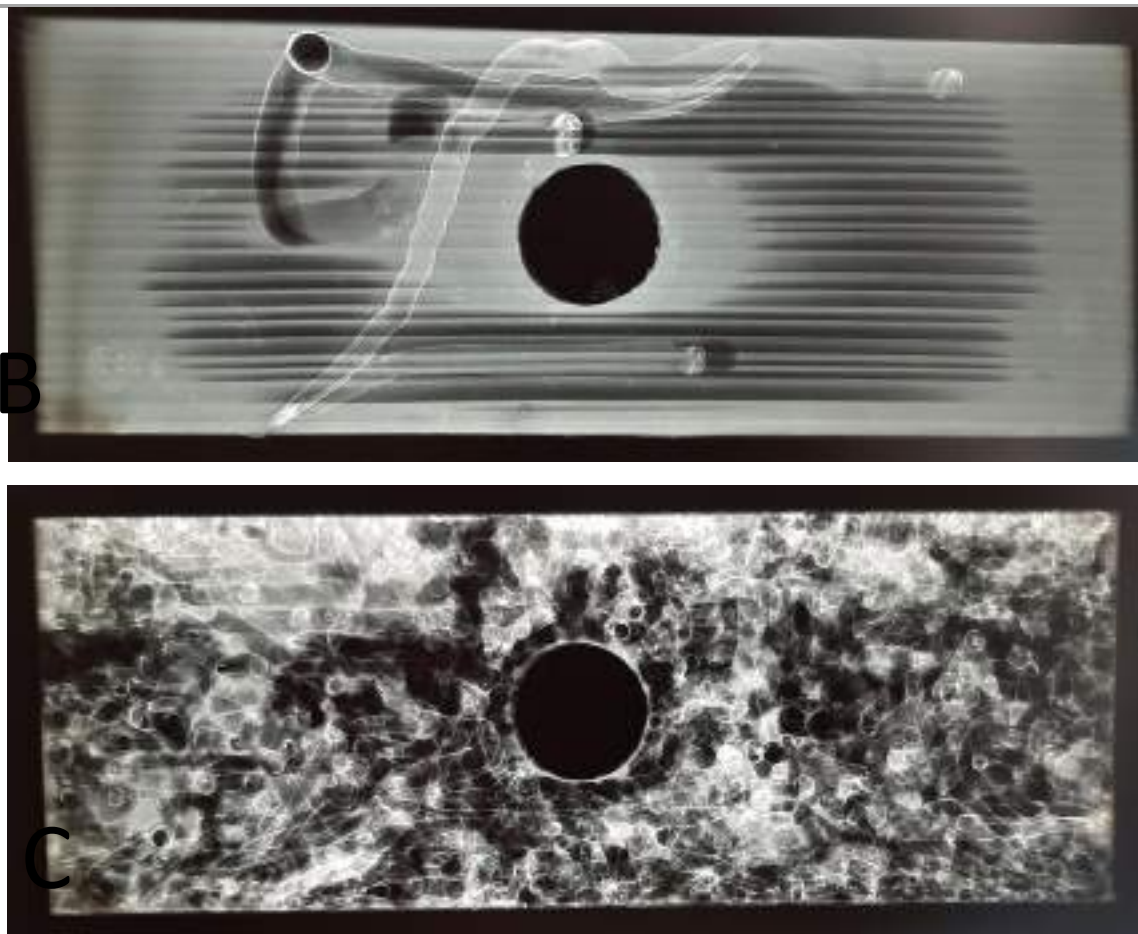


Figura 3: Radiografie dei provini con giudizio 0 (A), 1 (B) e 4 (C)

Le radiografie digitali dei pannelli di Venezia sono state eseguite presso il laboratorio veterinario del dott. Luca Perale di Venezia, utilizzando un'apparecchiatura Ecoray Orange 1040 HF impostata a tensione: 50 kV, intensità di corrente: 0,5 mA, tempo di esposizione 7 millisecondi, con una distanza tra il generatore di raggi X e il rivelatore a schermo piatto di 70 cm.

Le immagini digitali sono state archiviate in formato BMP di alta qualità. Le misure sono state eseguite utilizzando i software gratuiti e open source ImageJ (Schneider et al. 2012) e Inkscape (Harrington et al. 2004-2005). Si sono analizzate circa 700 immagini radiografiche.

Le radiografie digitali dei pannelli di Capodistria sono state eseguite a cura della società IMK d.o.o (Lubiana). È stata utilizzata un'apparecchiatura Seifert Eresco MF4 Control con

i seguenti parametri: tensione: 80 kV, corrente: 2 mA, tempo di esposizione: 30 s, distanza sorgente-pellicola: 70 cm. Le immagini sono state generate su pellicole AFGA Structurix D5 Vacupac di 10 x 24 cm e successivamente digitalizzate mediante macchina fotografica digitale.

## 3 RISULTATI

---

### VENEZIA

#### 3.1 Andamenti mensili

##### Legno non trattato

I pannelli delle tre conifere di riferimento e controllo, che non avevano subito alcun trattamento, ossia Pino silvestre *Pinus sylvestris* (PIN NTC), Abete bianco *Abies alba* (ABI NTC), Abete rosso *Picea abies* (PIC NTC) (NTC=Controllo Non Trattato), esposte presso i pontili ISMAR della Darsena Grande dell'Arsenale di Venezia (d'ora in poi "Arsenale") già dopo tre mesi di esposizione (settembre 2021) mostravano un altissimo grado di attacco (Tabella 3). Da ottobre in poi possono considerarsi come "failed" secondo la normativa europea in atto.

Il Pino silvestre si è dimostrato leggermente più resistente dell'Abete bianco e dell'Abete rosso.

Tabella 3: classi di attacco nei diversi mesi per i campioni di controllo (NTC)

	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022
PIN NTC	0	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4
ABI NTC	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
PIC NTC	0	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

### Legno modificato

Il Pino silvestre termicamente modificato (PIN THM) dà leggeri segni di attacco al termine della prima stagione (ottobre 2021, Tabella 4) che però rimangono sostanzialmente invariati fino ad aprile-maggio dell'anno seguente. Durante la seconda stagione si raggiunge una colonizzazione quasi completa. In *Pinus radiata* acetilato (PRA-ACC) rimane intonso.

Tab 4: classi di attacco nei diversi mesi per i legni modificati

	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022	18/08/2022
PIN THM	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
PRA ACC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Legni impregnati

I provini standard di Abete rosso impregnati con Silvanolin a bassa concentrazione (PIC LOW) hanno un comportamento praticamente sovrapponibile al legno termicamente modificato. I provini di Abete rosso trattati con Silvanolin a concentrazioni UC3 (PIC UC3), concentrazione UC5 (PIC UC5) e con la “formulazione marina” (PIC MAR) non hanno mostrato segni di attacco nemmeno alla fine della seconda stagione (Tabella 5).

Tabella 5: classi di attacco nei diversi mesi per i legni impregnati

	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022	18/08/2022
PIC LOW	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3	
	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	3	
	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	3	
PIC UC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIC UC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIC MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Silvanolin 2020-2022

A giugno 2020 si erano posti in acqua presso l’Arsenale tre provini impregnati con Silvanolin a concentrazione UC5, consegnatici dai colleghi dell’Università di Lubiana, fornitici come “anteprima” del prodotto.

Questi provini hanno iniziato a dare segni di colonizzazione a partire dall’anno successivo, ossia da giugno 2021 fino ad arrivare alla failure di due dei pannelli nel mese di ottobre 2021 fino alla rottura di uno dei pannelli nel corso dell’estate 2022 (Figura 4).

$T_0 = 15.07.2020$

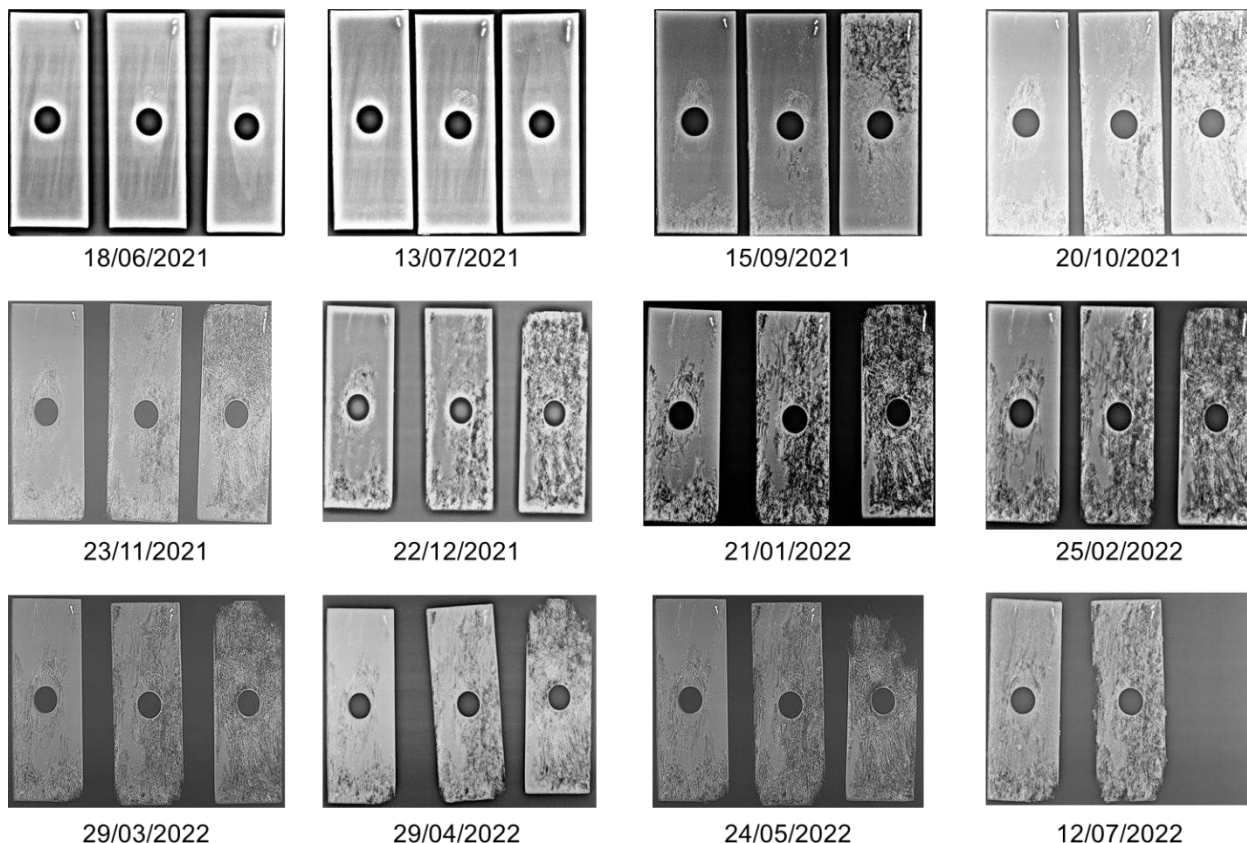


Figura 4: Pannelli di *Pinus sylvestris* trattati con Silvanolin da luglio 2020 a luglio 2022 esposti a Venezia (ARS)

Quindi i provini dell'anno 2020 hanno dimostrato una resistenza per il momento inferiore a quelli consegnatici nel 2021. Tale comportamento può essere dovuto all'uso di diverse specie di legno che nel 2020 era *Pino sylvestris* mentre il 2021 era *Picea abies*, oppure a diversità nell'impregnazione. Rimane quindi la possibilità che nel corso del prossimo anno i provini trattati con UC5, UC3 e MAR vengono attaccati. Per questo motivo i provini son stati lasciati in opera oltre il termine del progetto.

### Legno di quercia

Sebbene il progetto non lo prevedesse esplicitamente abbiamo colto l'occasione di testare un'idea relativa all'azione del ferro sul legno di caducifoglie. La premessa era che i legni di caducifoglie soprattutto quelli ed alto contenuto di tannini come Quercia

Robinia e Castagno svilupparono un'alta resistenza all'attacco delle teredini quando vengono fittamente infissi da chiodi in ferro (pratica nota da secoli come “scupper nailing” o “maillage”). Il dubbio se l'azione protettiva della chiodatura fosse dovuta alla formazione di tannato di ferro o fosse legata ad una azione chimico-fisica dei chiodi. Abbiamo quindi generato sperimentalmente del tannato nell'intero spessore di una serie di provini di Quercia (*Quercus robur*) impregnandoli con solfato di ferro e una formulazione di ferro nano-particolato a cura dell'Istituto di Biotecnologie dell'Università di Lubiana.

I provini di quercia non trattati hanno dimostrato una scarsa resistenza seguendo, con un solo mese di ritardo, il destino dei provini in conifera non trattata. I provini di quercia trattati con solfato di ferro hanno mostrato un comportamento sovrapponibile, se non addirittura caratterizzato da minor resistenza, a quelli non trattati. I provini trattati con ferro nanoparticolato hanno dimostrato una resistenza maggiore ma giungono alla completa colonizzazione alla fine dell'autunno, quindi in meno di un anno (Tabella 6).

Tabella 6: classi di attacco nei diversi mesi per i legni in Quercia

	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022
QUE NTC	0	0	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	0	0	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4
QUE SUL	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4
QUE NAN	0	0	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4

### 3.2 Andamenti annuali

#### CAPODISTRIA

Dopo 11 mesi di esposizione in acqua marina i provini hanno mostrato un'abbondante formazione di diversi organismi marini (Figura 5). Una volta puliti, i campioni non

apparivano danneggiati superficialmente. Si può pertanto desumere che i provini non sono stati attaccati da isopodi, che danneggiano il legno esposto in acqua marina penetrandovi dalla superficie esterna verso l'interno. Il danno maggiore è stato invece causato da teredini. I danni non erano osservabili in superficie ma mediante radiografie. Sui campioni maggiormente degradati, in particolare nelle parti frontali, sono stati individuati dei fori che rappresentavano il punto di ingresso del singolo individuo (Figura 6).



Figura 5: Fouling sui pannelli (luglio 2021), dopo 11 mesi a Capodistria (sinistra) e un mese dalla pulizia all'Arsenale di Venezia (destra).





Figura 6: Superficie dei provini di quercia ripuliti, sulla cui superficie sono osservabili dei fori di ingresso delle teredini.

Nella Tabella 7 vengono riportati i risultati della valutazione radiografica dei provini che sono stati esposti per 11 mesi in acqua marina. Dai risultati i campioni di controllo in abete rosso sono risultati completamente degradati, molto deteriorati erano anche i campioni di abete rosso trattati con Silvanolin LOW. Per contro, i provini trattati con Silvanolin UC3, Marine e UC5 non mostravano segni visibili di attacco. Per quanto concerne il legno di quercia sia i campioni non trattati che trattati sono risultati completamente deteriorati dopo 11 mesi di esposizione. In nessun caso il solfato di ferro è stato efficace contro le teredini.

Tabella 7: Giudizi dei singoli campioni di legno esposti in acqua di mare dal 18/8/2021 al 21/ 7/2022 nel Porto di Capodistria.

	1	4		1	0		1	0		1	0
	2	4		2	0		2	0		2	0
	3	4		3	0		3	0		3	0
	4	4		4	0		4	0		4	0
PIC NTC	5	4	PIC UC3	5	0	PIC UC5	5	0	PIC MAR	5	0
	6	4		6	0		6	0		6	0
	7	4		7	0		7	0		7	0
	8	4		8	0		8	1		8	0
	9	4		9	0		9	0		9	0
	1	3		1	4		1	4		1	4
	2	3		2	4		2	4		2	4
	3	2		3	4		3	4		3	4
	4	3		4	4		4	4		4	4
PIC LOW	5	2	QUE NTC	5	4	QUE SUL	5	4	QUE NAN	5	4
	6	1		6	4		6	4		6	4
	7	3		7	4		7	4		7	4
	8	3		8	4		8	4		8	4
	9	4		9	4		9	4		9	4
	10	0		10	4		10	4		10	4

### 3.3 Confronto

Viene ora analizzato lo stato dei provini EN275 trattati con Silvanolin dopo un anno di esposizione a Venezia e Capodistria.

Il confronto tra i pannelli EN275 esposti presso l’Arsenale, presso la stazione Piattaforma Offshore del CNR “Acqua Alta” (d’ora in poi “Piattaforma”) e presso il porto di Capodistria è stata condotta su base annuale.

Nelle due stazioni veneziane si nota innanzitutto la grande differenza di attacco tra l’Arsenale, dove i pannelli sono molto più esposti all’azione lesiva delle teredini che in Piattaforma (Tabella 8).

Tabella 8: confronto ad un anno dei risultati nei 3 siti di test

	PTF	ARS	KOP
PIC NTC	1	4	4
ABI NTC	2	4	ND
PIN NTC	1	4	ND
PIN THM	0.7	2.7	4
PRA ACC	0	0	ND
PIC LOW	0.3	3	2.7
PIC UC3	0	0	0
PIC UC5	0	0	0
PIC MAR	0	0	0
QUE NTC	1	4	4
QUE SUL	1	4	4
QUE NAN	0.7	4	4

In Arsenale tutti le specie di legno non trattate hanno subito un attacco intensissimo mentre in Piattaforma si nota solo la penetrazione di alcune teredini. Anche qui, analogamente ai primi mesi d'attacco in Arsenale, vi è una differenza tra le tre specie di conifere che vede l'Abete bianco (ABI) come specie più attaccata, seguito dal Pino silvestre (PIN) e quindi dall'Abete rosso (PIC). Vi è una differenza tra le repliche, quelle meno attaccate danno un ordine di resistenza PIN, PIC, ABI, mentre per le repliche più attaccate l'ordine di resistenza è PIC, PIN, ABI. L'attacco è molto basso anche nel Pino termicamente modificato (PIN THM), il *Pinus radiata* acetilato non è attaccato in nessuna delle due stazioni. Tra i legni trattati con Silvanolin solo quelli a bassa concentrazione (PIC LOW) sono stati attaccati comunque in maniera di gran lunga inferiore in Piattaforma. Il legno di quercia sia non trattato che trattato con ferro che abbiamo visto essere stato molto attaccato in Arsenale lo è molto poco in Piattaforma.

Le situazioni del Porto di Capodistria e dell'Arsenale sono praticamente identiche. In Tabella 8 sono esposti in maniera sinottica i risultati relativi alle medie di tutti i pannelli nelle tre stazioni.

In dettaglio, ossia considerando le repliche separatamente, i provini esposti nel Porto di Capodistria mostrano una grande omogeneità tra le repliche e una netta sovrapposizione

con quelli dell'Arsenale. Il Silvanolin LOW mostra la più alta variabilità tra le repliche con pannelli diversamente colonizzati.

### 3.4 Specie di organismi xilofagi presenti

Le specie di teredini rinvenute sono, *Teredo navalis*, *Teredo bartschi*, *Lyrodus pedicellatus*. *Nototeredo norvegica*.

In tutte le stazioni l'attacco ai legni da parte di crostacei peracaridi lignivori come l'anfipode *Chelura terebrans* o le varie specie degli isopodi *Limnoria*, si son rivelate trascurabili se paragonate a quelle dei molluschi teredinidi.

## 4 DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

---

Nel corso del presente progetto abbiamo condotto due tipi di test di durabilità in mare seguendo un protocollo già in uso a Venezia:

- Test su pannelli standard in legno secondo una modifica della normativa europea EN275 (WP3.1.2 - ATT8 Valutazione della resistenza all'attacco degli xilofagi marini dei materiali legnosi trattati con Silvanolin, acetilati e termicamente modificati)
- Test su pali (WP3.2.2 - ATT9 Valutazione della resistenza all'attacco degli xilofagi marini dei manufatti in legno trattati con Silvanolin, acetilati e termicamente modificati)

Le attività 8 e 9 ossia la valutazione dell'attacco da parte degli organismi marini xilofagi ai materiali ed ai manufatti (pali) prodotti con gli stessi, materiali, sono due aspetti differenti ma strettamente legati inclusi le metodiche in uso da tempo dal Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche per il Veneto, Trentino Alto Adige e Friuli Venezia Giulia (Ex Magistrato alle Acque di Venezia) durante l'iter autorizzativo per l'uso di materiali legnosi ed alternativi in legno in laguna di Venezia.

La pandemia globale da COVID19 aveva fin dall'inizio messo fortemente alla prova tutte le attività del progetto bloccando le attività che riguardavano la preparazione dei materiali (ATT 6 e 7 vedi deliverables relativi). Ciò è risultato dall'impossibilità di ricevere delle sostanze per eseguire le impregnazione, veicolate in toto alla preparazione di soluzioni igienizzanti, prioritarie per contrastare l'emergenza sanitaria. In particolare, il ritardo nella preparazione dei campioni per i test di campo (ATT6) ha

pregiudicato la messa in opera dei materiali durante la prima stagione biologica coperta dal progetto, differendo le attività all'anno seguente, senza lasciare la possibilità di ulteriori valutazioni o di riparare ad altri eventuali imprevisti che possono verificarsi nelle attività di campo.

In ottobre ci sono stati consegnati i campioni sia per le prove sul campo e per i test di laboratorio (ATT 8, 9, 10, 14, 15, 18 e 19). Si sono seguite quindi tutte procedure di ricevimento stoccaggio e controllo dei materiali, nonché l'approntamento delle strutture fisiche di supporto.

Senonché, sulla base di evidenze ecotossicologiche (interfaccia con ATT 14 e 18), i materiali già pronti per l'installazione hanno dovuto essere ritirati e sottoposti a ricondizionamento/ritrattamento (Vedi ATT. 6 e 7). Di conseguenza si è dovuto seguire le operazioni di ritiro e non si è potuto procedere con le attività di campo pianificate per i materiali (EN275).

La proroga di sei mesi è stata la condizione di minima per concludere la fase sperimentale. Tuttavia, ciò ha comportato la perdita di una stagione riproduttiva/insediativa per le teredini riducendo di fatto la possibilità di una valutazione più estensiva.

Di seguito le principali evidenze emerse dalle valutazioni effettuate:

- Le conifere non trattate non superano la prima estate
- La durabilità dei legni naturali è *Pinus sylvestris* > *Abies alba* > *Picea abies* ma con pochissime differenze
- Il legno termicamente modificato dà una protezione ma essa è insufficiente se costantemente sommerso
- Il legno acetilato offre una protezione completa
- Il Silvanolin a bassa concentrazione non offre protezione
- I legni trattati con Silvanolin UC5 e Marine non sono stati attaccati nel corso del primo anno. Il preparato Silvanolin nelle concentrazioni indicate sopra offre un'efficace protezione del legno, nel breve termine.
- Le prove preventive ci dicono che potrebbero esserlo dal secondo anno in poi. Si proseguirà con le attività di test anche dopo la conclusione del progetto
- L'ambiente marino della Piattaforma si conferma essere meno soggetto all'attacco da parte delle teredini rispetto agli ambienti parali come la laguna di Venezia ed il Porto di Capodistria
- Non si sono evidenziate grandi differenze del grado di fouling rispetto alle singole tipologie di legno e trattamento. Si stima quindi che nessuno dei preparati abbia

---

prodotto un consistente effetto antifouling.

Il disegno sperimentale e i protocolli già in uso si sono dimostrati efficaci per questa attività, così come atteso. Si suggerisce per testare l'effettiva durabilità dei trattamenti di proseguire con le osservazioni oltre la prima stagione biologica. I dati di questa attività sono stati quindi utilizzati per meglio interpretare i risultati della seguente ATT9: Valutazione della resistenza all'attacco degli xilofagi marini dei manufatti in legno (Pali).

## BIBLIOGRAFIA

European Committee for Standardization, 1992. EN 275 Wood Preservatives. Determination of the Protective Effectiveness against Marine Borers. Brussels, Belgium.

Harrington, B., the Inkscape developer team, 2004-2005. Inkscape. <http://www.inkscape.org>.

Lo Monaco, A, Balletti, F, Pelosi, C (2018): Wood in cultural heritage properties and conservation of historical wooden artefacts. European Journal of Science and Theology, 14(2), 161-171.

Marais, BN, Brischke, C, Miltz, H (2022): Wood durability in terrestrial and aquatic environments - A review of biotic and abiotic influence factors. Wood Material Science & Engineering, 17(2), 82-105.

Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nat. Methods 9 (7), 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.

*Progetto cofinanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale nell'ambito del "Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Slovenia 2014-2020"*

*I contenuti del presente documento non riflettono in alcun modo l'opinione dell'Autorità di Gestione del "Programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Slovenia 2014-2020". La responsabilità di quanto riportato è a carico degli autori.*

# Interreg



UNIONE EUROPEA  
EVROPSKA UNIJA

## ITALIA-SLOVENIJA



DuraSoft

Progetto standard co-finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale  
Standardni projekt sofinancira Evropski sklad za regionalni razvoj

# Ocena odpornosti zaščitenega lesenega materiala na napad morskih škodljivcev (spremenjeni standard EN275)

Različica: ŠT. 1

Povezan DS: DS3.1.2 - AKT18

Odgovorni partner: Inštitut za morsko znanost CNR-ISMAR, Benetke (LP)

Avtorja: Davide Tagliapietra (LP), Irene Guarneri (LP), Miha Humar (ULJ PP2), Boštjan Lesar (ULJ PP2)

Datum: 31. 8. 2022



University of Ljubljana



Università  
Ca' Foscari  
Venezia



PRIMORSKA  
GOSPODARSKA  
ZBORNICA



Silvaproduct  
od 1951



## KAZALO

OKRAJŠAVE.....	2
POVZETEK .....	3
1 Opredelitev problematike in projekta DuraSoft.....	3
1.1 Cilj aktivnosti, izvedenih v sklopu AKT8.....	4
2 Materiali in metode.....	4
3 REZULTATI.....	9
3.1 Mesečni trendi.....	9
3.2 Letni trendi.....	14
3.3. Prisotne vrste lesnih škodljivcev.....	17
4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI.....	19
LITERATURA .....	21

## OKRAJŠAVE

ABI: bela jelka (*Abies alba*)

ACC: acetilirane lesene plošče iz vrste *Pinus radiata* (*Accoya*)

ARS: večji bazen ladjedelnice v Benetkah

Fouling: sedeči bentoški makrovertebrati, ki rastejo na ploščah

KOP: Koper

LOW: testni pogoj s prisotnostjo lesenih plošč, zaščiteneh s 0,033 % Cu raztopino Silvanolin

MAR: testni pogoj s prisotnostjo lesenih plošč, zaščiteneh z raztopino Silvanolin na osnovi bakra in oksalne kisline

NAN: lesene hrastove plošče, obdelane z raztopino na osnovi nanodelcev železa

NTC: kontrolni testni pogoj s prisotnostjo neobdelanih lesenih plošč

PIC: navadna smreka (*Picea abies*)

PIN: rdeči bor (*Pinus sylvestis*)

PRA: monterejski bor (*Pinus radiata*)

PTF: ploščad »Acqua alta« Inštituta za morsko znanost CNR-ISMAR

QUE: dob (*Quercus robur*)

SUL: lesene hrastove plošče, obdelane z raztopino na osnovi železovega sulfata

THM: termična modifikacija

UC3: testni pogoj s prisotnostjo lesenih plošč, zaščiteneh z 0,25 % Cu raztopino Silvanolin

UC4: testni pogoj s prisotnostjo lesenih plošč, zaščiteneh z 0,5 % Cu raztopino Silvanolin

UC5: testni pogoj s prisotnostjo lesenih plošč, zaščiteneh z 1 % Cu raztopino Silvanolin



## POVZETEK

---

Na alpsko-morskem območju severnega Jadrana se les obsežno uporablja v kmetijsko-pašniških in ribolovnih aktivnostih. Kljub temu je les občutljiv material, močno podvržen različnim dejavnikom biotskega (glivice, žuželke, termiti) in abiotskega (temperatura, vlaga) razkroja, še posebej v primeru, ko je v neposrednem stiku z zemljo in vodo. Cilj AKT8 je bilo standardizirano proučevanje odpornosti obdelanega lesa. Opravljeni je bil niz različnih in-situ preizkušanj, s katerimi je bila ocenjena odpornost zaščitene materiala na morske ksilofagne nevretenčarje. Standardni vzorci so bili izpostavljeni morskemu okolju in okolju rečnih ustij pod nadzorovanimi pogoji. Lesni materiali so bili preizkušeni v skladu s spremembo evropskega standarda EN 275 (1992), ki jo je posebej razvil CNR-ISMAR za vrednotenje obnašanja lesa v obalnih in prehodnih ekosistemih in ki jo tehnični odbor CEN/TC38/WG2 -Task Group EN 275 proučuje v sklopu trenutnega postopka revizije zakonodaje. Preizkusili smo 5 lesnih vrst, izpostavljenih na 3 območjih (Ladjedelnica v Benetkah, Ploščad »Acqua alta« znanstveno-raziskovalnega inštituta CNR in Koper) z uporabo 3 postopkov za zaščito lesa (kontrolni neobdelan, modificiran in impregniran les). Iz približno 700 rentgenskih posnetkov, posnetih med rednim preverjanjem, izhaja, da se neobdelani iglavci ne ohranijo preko poletja, termično modificiran les nudi večjo a nezadostno zaščito, da bi bil lahko stalno potopljen v vodi, acetiliran les pa zagotavlja popolno zaščito, medtem ko raztopina Silvanolin v nizki koncentraciji ne nudi nobene zaščite. Po prvem letu les, obdelan s Silvanolinom UC5 in Marine, ni imel znakov napada, vendar preventivni testi kažejo na to, da bi lahko prišlo do napada po drugem letu izpostavljenosti. Morsko okolje ob Ploščadi se je izkazalo za manj podvrženo napadom ladijskih črvov v primerjavi s sedimentnima okoljema Beneške lagune in koprškega pristanišča.

### 1 OPREDELITEV PROBLEMATIKE IN PROJEKTA DURASOFT

---

Na alpsko-morskem območju severnega Jadrana se les obsežno uporablja v kmetijsko-pašniških in ribolovnih aktivnostih. Velik zgodovinski in družbeno-ekološki pomen imajo tradicionalne hiše ter pomožni leseni objekti, kot so pomoli, privezi, piloti in ograje (Lo Monaco in sod. 2018). Kljub temu je les občutljiv material, močno podvržen različnim dejavnikom biotskega (glivice, žuželke, termiti) in abiotskega (temperatura, vlaga) razkroja, še posebej v primeru, ko je v neposrednem stiku z zemljo in vodo (Marasi in sod. 2022). Les iglavcev, ki je na predmetnem območju zgodovinsko najbolj uporabljena vrsta lesa, je manj obstojen v primerjavi z lesom listavcev. V primeru uporabe tega mehkega lesa v gradnji, je treba izboljšati njegovo odpornost in trajnost, s čimer se zmanjšujejo stroški vzdrževanja in izboljšuje varnost lesene strukture. Pri formulaciji zaščitnih sredstev lesa se tako pogosto uporabljajo kemični konzervansi, kot so spojine na osnovi bakra. Ker se baker ne veže neposredno v les, je za preprečevanje njegovega izpiranja treba uporabiti druga fiksirna sredstva. Pogosto uporabljen dodatek kroma sicer prispeva k učinkoviti vezavi topnih kovinskih soli v les, vendar je večina evropskih držav zaradi njegove rakotvorne lastnosti prepovedala ali omejila njegovo uporabo v zaščitnih sredstvih za les. Zaradi navedenega se ugotavlja veliko povpraševanje po razvoju alternativnih, okoljsko sprejemljivih in učinkovitih spojin za

vezanje bakra v impregnacijsko sredstvo, predvsem pri uporabi vrst lesa, ki so v stiku z zemljo ali vodo oz. so trajno izpostavljeni slani vodi. V sklopu projekta DuraSoft, financiranega iz Programa sodelovanja Interreg Italija-Slovenija, smo preizkusili učinkovitost in okoljsko vzdržnost nekaterih zaščitnih obdelav, ki so jih partnerji razvili za povečanje obstojnosti materialov in konstrukcij, izdelanih s klasičnimi vrstami iglavcev.

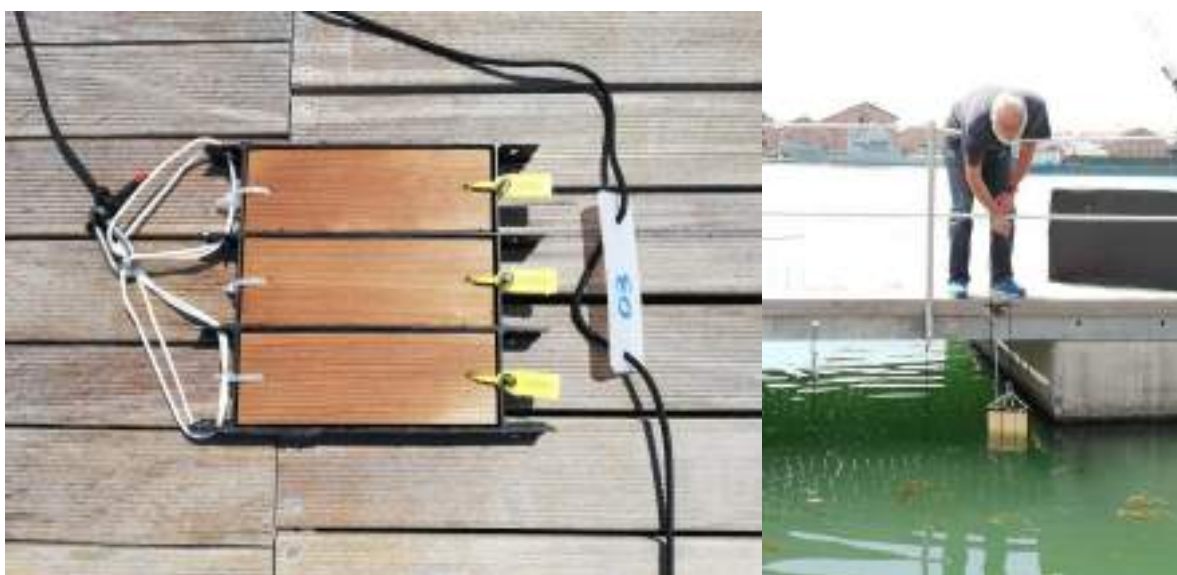
## 1.1 Cilj aktivnosti, izvedenih v sklopu AKT8

Cilj te aktivnosti je bilo standardizirano proučevanje odpornosti zaščenega lesa, ne glede na vrsto konstrukcije, ki bo izdelana s tem lesom. Opravljeni je bil niz različnih in-situ preizkušanj, s katerimi je bila ocenjena odpornost zaščenega materiala na morske ksilofagne nevretenčarje, kot so na primer ladijski črvi (Bivalvia: Teredinidae), mokrice (*Limnoria*) in amfipodi (*Chelura*), ki predstavljajo glavnega povzročitelja poškodb na lesenih morskih konstrukcijah in kulturni dediščini. Standardni vzorci so bili izpostavljeni morskemu okolju in okolju rečnih ustij pod nadzorovanimi pogoji. Leseni materiali so bili preizkušeni v skladu s spremembo evropskega standarda EN 275 (1992), ki jo je posebej razvil CNR-ISMAR za vrednotenje obnašanja lesa v obalnih in prehodnih ekosistemih in ki jo tehnični odbor CEN/TC38/WG2 -Task Group EN 275 trenutno proučuje v sklopu postopka revizije zakonodaje. Material je bil dimenzioniran na velikosti standardnih vzorcev 20,0 x 7,0 x 2,5 cm (EN 275) in obdelan v sklopu tega DS. Preizkusili smo tri replikacije za posamezno vrsto zaščitne obdelave in kontrolne vzorce lesne vrste rdeči bor (*Pinus sylvestris*). Vzorci so bili za eno leto izpostavljeni morski vodi, tako da so bili potopljeni na isti globini (-1 meter od realne srednje višine morja). Plošče, izpostavljene v bazenu Beneške ladjedelnice, smo redno kontrolirali z namenom spremljanja razvoja napada organizmov skozi čas, predvsem v pomladanskem in poletnem času. Po preteku obdobja izpostavljenosti smo stanje napadenosti s strani večjih ksilogafnih nevretenčarjev ocenili z rentgenskim slikanjem skladno s standardom EN 275. Da bi ovrednotili učinkovitost zaščitnih obdelav v različnih pogojih smo vzorce izpostavili na testnem območju inštituta ISMAR v Benetkah (Večji bazen bivše ladjedelnice v Benetkah), na oprtem morju ob oceanografski ploščadi ISMAR/CNR v Jadranskem morju, približno 10 km od obale Lida v Benetkah, in v Kopru. UL Biotehniška fakulteta že dlje časa sodeluje z Luko Koper. V testiranje lesa v Luki Koper predstavlja več prednosti, testno polje je zaščiteno pred nezaželenimi obiskovalci zato je tam varno kjerkoli drugje bi bila nevarnost kraje vzorcev. Poleg tega lahko v Luki izkoristimo tudi razno mehanizacijo (dvigala), ki nam omogoča lažje in varnejše delo.

## 2 MATERIALI IN METODE

Leseni material, obdelan z različnimi zaščitnimi postopki, smo testirali skladno s spremembo evropskega standarda DIN/EN 275 (1992), ki jo je inštitut ISMAR posebej razvil za oceno v prehodnih obalnih ekosistemih.

Leseni material, ki ga je pripravil partner Silvaprodukt, je bil dimenzioniran na vzorce standardnih velikosti 20,0 x 7,0 x 2,5 cm v skladu s standardom EN 275 (1992). Ustrezno označeni vzorci iz testnih lesnih vrst - izdelane so bile tri replikacije za vsako vrsto zaščitne obdelave - so bili izpostavljeni napadu morskih lesnih škodljivcev, predvsem ladijskih črvov, tako da so bili pritrjeni na posebej izdelanega lebdečega nosilca in potopljeni v osojni legi na globini 100 cm pod morsk gladino. Nosilce («rack») za vzorce iz plastičnega materiala sem zasnoval podpisani. Vzorci so bili postavljeni v navpični položaj, eden poleg drugega ob daljši stranici v razmiku približno dveh centimetrov (slika 1). Postavitev v Kopru (slika 2).



Slika 1: Levo nosilec s tremi replikacijami enake tipologije plošč pred potopitvijo, desno pa faza potopitve ob pomolu inštituta CNR-ISMAR.



Slika 2: Izpostavitve vzorcev v morskovo vodo v Luki Koper 18.8.2021

Vzorci so bili na isti globini izpostavljeni tudi morski vodi v bazenu ladjedelnice v Benetkah, ob pomolu inštituta CNR-ISMAR v času med 08. 06. 2021 in 18. 08. 2022, ter v koprskem pristanišču od 18. 08. 2021 do 29. 07. 2022. S pomočjo potapljačev italijanske policije smo v bližini Ploščadi »Acqua alta« na globini 10 metrov - s tem smo preprečili morebitne poškodbe zaradi valovanja, predvsem med morskimi nevihtami - namestili enako število in tipologijo plošč od tistih, postavljenih na območju Ladjedelnice, ter jih pustili potopljene od 28. 06. 2021 do 18. 08. 2022.

V Arsenalu je temperatura vode v januarju in februarju najnižja in znaša skoraj 4 °C, najvišja je avgusta okoli 28 stopinj, povprečna pa 16 °C. Povprečna slanost je 31 ‰ z minimalno vrednostjo 25 ‰ v kratkih obdobjih.

V Kopru smo namestili več replikacij vzorcev za manjše število vrst/obdelav.

Vzorci so bili pritrjeni na posebej izdelano stojalo in izpostavljeni morski vodi v pristanišču Koper na globini 6 m. Povprečna temperatura morja v Kopru je 15,8 °C, najnižja temperatura februarja je 8 °C, najvišja avgusta pa 24 °C. Povprečna slanost je med 37 ‰ in 38 ‰, poleti pa lahko doseže 35 ‰.

V preglednici 1 je prikazan seznam vrst materialov, postavljenih na testna območja

Preglednica št. 1: Materiali, postavljeni na tri testna območja

Tipologija plošče	Testno območje (število replikacij)
ABI NTC	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC NTC	PTF (3), ARS (3)
PIN NTC	PTF (3), ARS (3)
PIN THM	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PRA ACC	PTF (3), ARS (3)
PIC LOW	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC UC3	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC UC5	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
PIC MAR	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
QUE NTC	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
QUE SUL	PTF (3), ARS (3), KOP (9)
QUE NAN	PTF (3), ARS (3), KOP (9)

Koncentracija Silvanolina za uporabljeni raztopini UC3 in UC5, »morska formulacija« Silvanolina, formulacija z nizko koncentracijo ter termična modifikacija in acetilacija so podrobno opisane v poročilih, ki sta ju pripravili Silvaproduct in Univerza v Ljubljani.

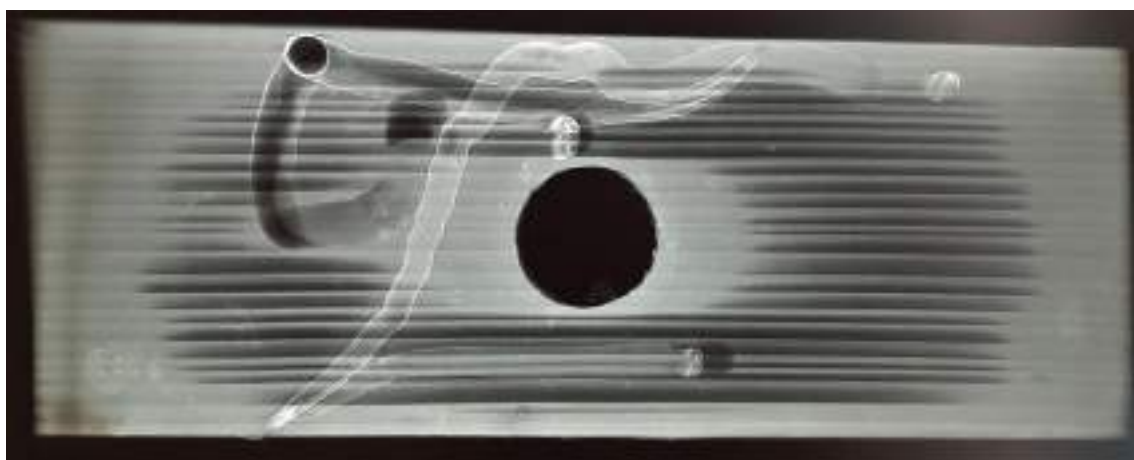
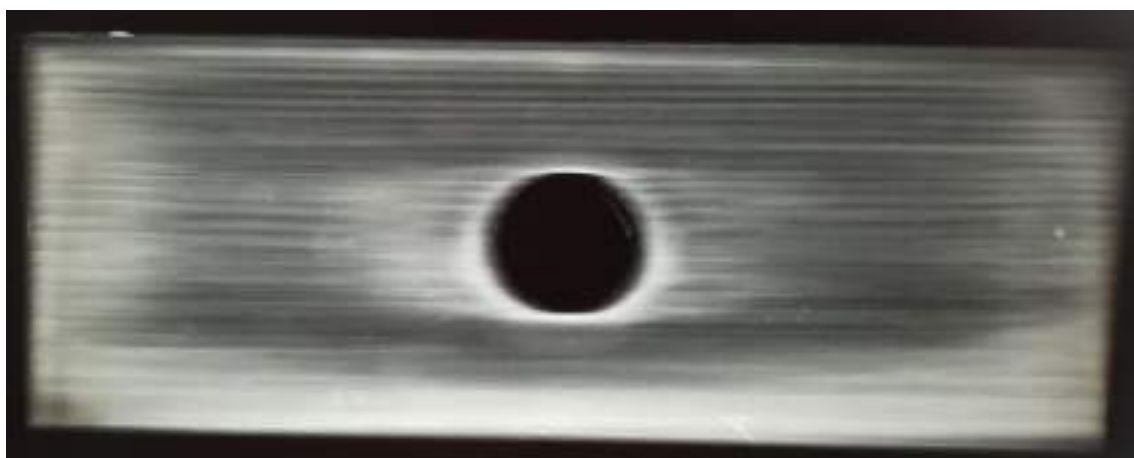
Vzorci v beneški ladjedelnici smo vsak mesec rentgensko slikali in ocenili, tiste v pristanišču v Kopru ter ob Ploščadi pa po enem letu.

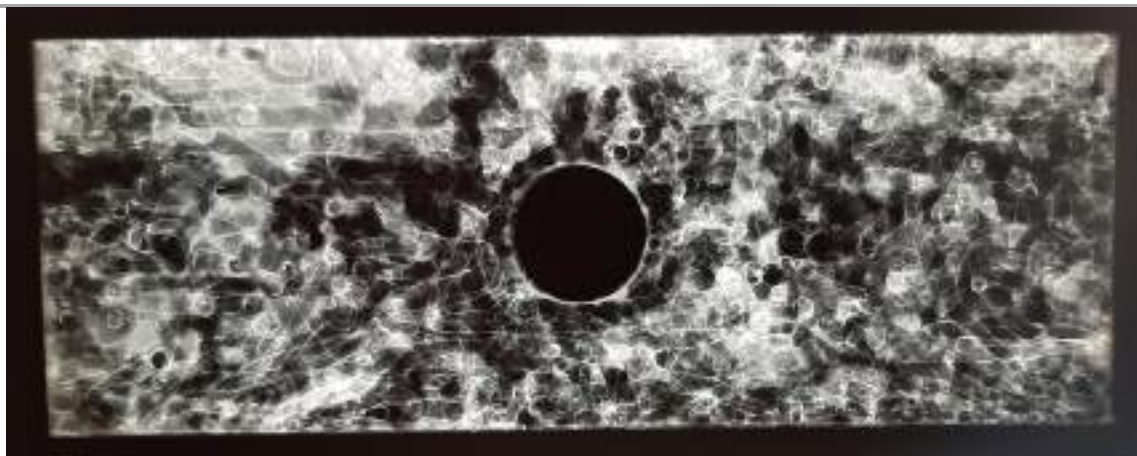
Bioerozijo smo kvantitativno opredelili na podlagi vizualne ocene in neposredne kvantitativne meritve na rentgenskih slikah ob upoštevanju števila in dimenzije črvjih rovoov.

Vrsto napada lahko razvrstimo v skupine po ocenjevalni lestvici (ranking), ki jo predpisuje standard EN 275 (glej preglednico 2, primeri na sliki 3).

Preglednica 2: Skupine napada po standardu EN275:1992 in pripadajoči odstotek izjedene površine, kot je bila prikazana na rentgenskih slikah.

Obračanje %	Skupina napada	Jakost napada
0	0	Ni znakov napada (No Attack)
>0, ≤15	1	Nizka stopnja napada (Slight attack)
>15, ≤25	2	Srednja stopnja napada (Moderate attack)
>25, ≤50	3	Visoka stopnja napada (Severe Attack)
<50	4	Zelo visoka stopnja napada (Failure)





Slika 3: Izgled RTG slik vzorcev z oceno 0 (A), oceno 1 (B) in oceno 4 (C)

Digitalno slikanje plošč v Benetkah je bilo opravljeno pri veterinarskem laboratoriju dr. Luce Perala iz Benetk z uporabo aparata Ecoray Orange 1040 HF pri napetosti 50 kV, toku 0,5 mA, času ekspozicije 7 milisekund in razdalji 70 cm med izvorom sevanja X žarkov in ploščatim slikovnim sprejemnikom.

Digitalizirani filmi so bili shranjeni v visokokakovostnem formatu BMP. Merjenje je potekalo z uporabo brezplačnih in prosto dostopnih programskih oprem ImageJ (Schneider in sod. 2012) in Inkscape (Harrington in sod. 2004-2005). Analiziranih je bilo približno 700 rentgenskih posnetkov.

Digitalno slikanje plošč v Koper je bilo opravljeno pri je za nas opravilo zunanje podjetje IMK d.o.o (Ljubljana). Za RTG slikanje je bil uporabljen rentgenski aparat Seifert Eresco MF4 Control s parametri: napetost: 80 kV, tok: 2 mA, čas ekspozicije: 30 s, razdalja izvor sevanja - film: 70 cm. Presevanje se je vršilo na filme AFGA Structurix D5 Vacupac dimenzije 10 x 24 cm.

Kasneje smo filme digitalizirali s pomočjo digitalnega fotoaparata.

## 3 REZULTATI

### BENETKE

#### 3.1 Mesečni trendi

##### Neobdelan les

Kontrolne in referenčne plošče treh vrst iglavcev, ki niso bile obdelane - to so vrste rdeči bor *Pinus sylvestris* (PIN NTC), bela jelka *Abies alba* (ABI NTC), smreka *Picea abies* (PIC NTC) (NTC=Neobdelan kontrolnik) - in ki so bile izpostavljene v morju ob pomolu inštituta ISMAR pri beneški ladjedelnici (v nadaljevanju »Ladjedelnica«) - so po treh mesecih izpostavljenosti (september 2021) pokazale izredno visoko raven razkroja (Preglednica 3). Od oktobra pa te vzorce lahko označimo kot »failed« po veljavni evropski zakonodaji.

Rdeči bor se je izkazal za rahlo bolj odpornega od bele jelke in smreke.

Preglednica 3: Skupine napada v različnih mesecih po kontrolnih vzorcih (NTC)

	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022
PIN NTC	0	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4
ABI NTC	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
PIC NTC	0	0	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

### Modificiran les

Termično modificiran rdeči bor (PIN THM) je po prvi sezoni (oktober 2021, Preglednica 4 ) pokazal le nekaj znakov napada, ki so se v glavnem ohranili enaki do aprila-maja naslednjega leta. Med drugo sezono je pa prišlo do popolnega razraščanja. Acetiliran *Pinus radiata* (PRA-ACC) pa se ni poškodoval.



Preglednica 4: Skupine napada v različnih mesecih po vrsti modificiranega lesa

	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022	18/08/2022
PIN THM	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	
	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
PRA ACC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Impregnirani les

Standardni vzorci smreke, impregnirani s Silvanolinom v nizki koncentraciji (PIC LOW), so pokazali popolnoma enak odziv kot termično modificiran les. Smrekovi vzorci, prepojeni s Silvanolinom UC3 (PIC UC3), UC5 (PIC UC5) in marine (PIC MAR), so bili tudi po drugi sezoni brez znakov poškodb morskih organizmov (Preglednica 5).

Preglednica 5: Skupine napada v različnih mesecih po vrsti impregniranega lesa

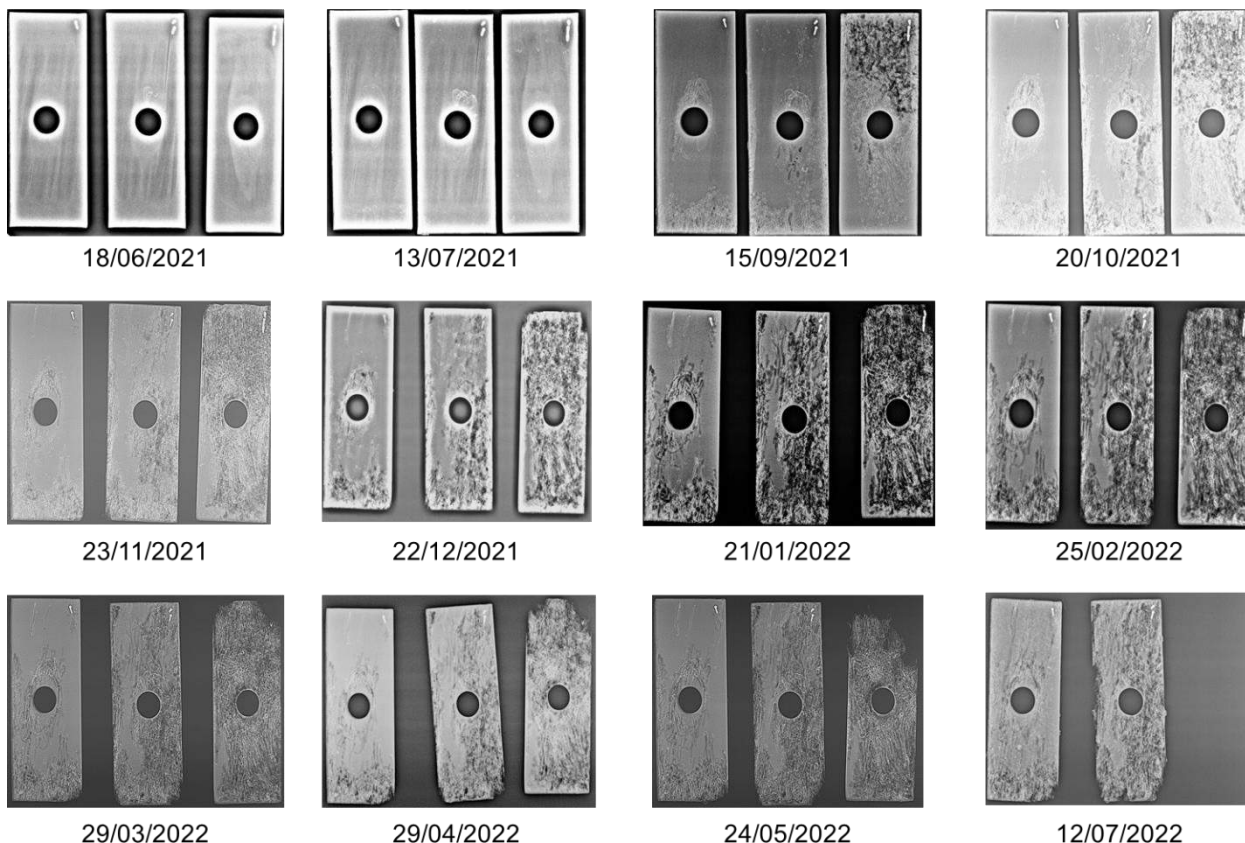
	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022	18/08/2022
PIC LOW	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3	
	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	3	
	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	3	
PIC UC3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIC UC5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PIC MAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### Silvanolin 2020-2022

Junija 2020 smo na območju Ladjedelnice potopili v vodo tri vzorce, impregnirane s Silvanolinom UC5, ki so nam jih kolegi z Univerze v Ljubljani posredovali v predogled.

Ti vzorci so pokazali prve znake razraščanja na začetku drugega leta, to je junija 2021, oktobra istega leta pa sta bili dve plošči v stanju »failure«, medtem kot se je ena plošča med poletjem 2022 celo zlomila (slika 4).

$T_0 = 15.07.2020$



Slika 4: Plošče vrste *Pinus sylvestris*, obdelane s Silvanolinom, izpostavljene v Benetkah (ARS) od julija 2020 do julija 2022

Na podlagi dosedanjih rezultatov so se plošče leta 2020 izkazale za manj odporne od tistih, ki so nam bile dostavljene leta 2021. Ta odziv bi lahko pripisali uporabi različnih lesnih vrst - leta 2020 je bil sicer uporabljen *Pino sylvestris*, leta 2021 pa *Picea abies* - ali različni impregnaciji. Obstaja tako možnost, da bodo v prihodnjem letu vzorci, obdelani s sredstvi UC5, UC3 in MAR, poškodovani, zato smo jih po zaključku projekta pustili v vodi.

#### Hrastovina

Čeprav v projektu ni bilo prvotno predvideno, smo izkoristili priložnost, da preizkusimo tudi delovanje železa na les listavcev. Lesne vrste listavcev, zlasti tiste z visoko vsebnostjo taninov, kot sta robinija in kostanj, sicer razvijejo visoko stopnjo odpornosti

na napad ladijskih črvov, če so vanje gosto zabiti železni žebli (ta praksa je že stoletja poznana kot »scupper nailing« ali »mailletage«). Vprašali smo se, ali je zaščitno delovanje žebljenja odvisno od nastanka železovega tanata ali pa od kemično-fizikalnega delovanja žebeljev. Na Oddelku za biotehnologijo Univerze v Ljubljani so tako poskusno ustvarili tanat po vsej debelini različnih hrastovih vzorcev (*Quercus robur*), ki smo jih impregnirali z železovim sulfatom in raztopino na osnovi železovih nanodelcev.

Neobdelani hrastovi vzorci so se izkazali za slabo odporne in so le en mesec pozneje doživeli enako usodo kot neobdelani vzorci iz iglavcev. Hrastovi vzorci, obdelani z železovim sulfatom, so pokazali enako ali celo manjšo odpornost od netretiranih vzorcev. Vzorci, zaščiteni z železovimi nanodelci, pa so imeli večjo odpornost, kljub temu so bili na koncu jeseni, torej po slabem letu, v celoti preraščeni (Preglednica 6).

Preglednica 6: Skupine napada v različnih mesecih za hrastovino

	08/06/2021	13/07/2021	20/09/2021	21/10/2021	23/11/2021	22/12/2021	21/01/2022	25/02/2022	29/03/2022	29/04/2022	24/05/2022	12/07/2022
QUE NTC	0	0	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	0	0	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4
QUE SUL	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4
QUE NAN	0	0	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4
	0	0	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4

### 3.2 Letni trendi

#### KOPER

Po 11 mesecih izpostavitve lesa v morski vodi so bili vzorci močno preraščeni z različnimi morskimi organizmi (Slika 5). Med posameznimi lesnimi vrstami in obdelavami nismo opazili razlik v preraščenosti vzorcev. Tako menimo, da nobeden od zaščitnih pripravkov ni imel tako imenovanega antifouling učnika. Ko smo vzorce očistili na površinah nismo zaznali poškodb površin vzorcev. Iz tega sklepamo da vzorcev niso napadle lesne mokrice, ki delajo škodo na lesu izpostavljenem v morski vodi iz površine navznoter ampak so škodo naredile zgolj ladijske svedrovke (*Teredinidae*). Njihovih poškodb pa ni bilo moč opaziti

na površini ampak samo s pomočjo rentgenskih posnetkov. Na najbolj razkorjnih vzorcih smo predvsem na čelnih površinah opazili posamezne luknjice, ki so predstavljale vstopno mesto za posamezne organizme ladijske svedrovke (Slika 6).



Slika 5: Fouling na ploščah (julij 2021), po 11 mesecih v Kopru (levo) in en mesec po čiščenju v beneškem Arsenalu (desno).



Slika 6: Površina očiščenih hrastovih vzorcev z opaznimi posameznimi luknjicami na površini

Iz preglednice 7 so razvidni rezultati ocenjevanja RTG posnetkov vzorcev, ki so bili 11 mesecev izpostavljeni v morski vodi. Iz rezultatov je razvidno, da so bili kontrolni vzorci smrekovine popolnoma razkrojeni, zelo močno so bili razkrojeni tudi smrekovi vzorci tretirani s Silvanolin low pripravkom. Medtem ko so bili vzorci Silvanolin UC3, Marine in UC5 še popolnoma brez opaznih poškodb. V primeru hrastovine pa so bili tako netretirani kot tudi tretirani vzorci po 11 mesecih popolnoma razkrojeni. Železov sulfat v nobeni obliki ni deloval proti ladijskim svedrovkam.

Preglednica 7: Ocene posameznih vzorcev lesa izpostavljenih v morski vodi med 18.8. 2021 in 21. 7.2022 v Luki Koper

	1	4		1	0		1	0		1	0
	2	4		2	0		2	0		2	0
	3	4		3	0		3	0		3	0
	4	4		4	0		4	0		4	0
PIC NTC	5	4	PIC UC3	5	0	PIC UC5	5	0	PIC MAR	5	0
	6	4		6	0		6	0		6	0
	7	4		7	0		7	0		7	0
	8	4		8	0		8	1		8	0
	9	4		9	0		9	0		9	0
	1	3		1	4		1	4		1	4
	2	3		2	4		2	4		2	4
	3	2		3	4		3	4		3	4
	4	3		4	4		4	4		4	4
PIC LOW	5	2	QUE NTC	5	4	QUE SUL	5	4	QUE NAN	5	4
	6	1		6	4		6	4		6	4
	7	3		7	4		7	4		7	4
	8	3		8	4		8	4		8	4
	9	4		9	4		9	4		9	4
	10	0		10	4		10	4		10	4

### 3.3 Primerjava

V nadaljevanju podamo analizo stanja vzorcev EN275, obdelanih s Silvanolinom, po enem letu izpostavljenosti v Benetkah in Kopru.

Primerjavo vzorcev EN275, ki so bili izpostavljeni na območju Ladjedelnice, ob ploščadi »Acqua Alta« Nacionalnega raziskovalnega inštituta (v nadaljevanju: »Ploščad«) in v koprskem pristanišču, smo opravili na letni ravni.

Na beneških testnih območjih izstopa velika razlika v stopnji napada med območjema Ladjedelnice, kjer so bile plošče veliko bolj izpostavljene poškodbam ladijskih črvov, in Ploščadi (Preglednica 8).

Preglednica 8: Primerjava rezultatov, beleženih po enem letu na 3 testnih območjih

	PTF	ARS	KOP
PIC NTC	1	4	4
ABI NTC	2	4	ND
PIN NTC	1	4	ND
PIN THM	0.7	2.7	4
PRA ACC	0	0	ND
PIC LOW	0.3	3	2.7
PIC UC3	0	0	0
PIC UC5	0	0	0
PIC MAR	0	0	0
QUE NTC	1	4	4
QUE SUL	1	4	4
QUE NAN	0.7	4	4

Na območju Ladjedelnice so bile vse neobdelane lesne vrste podvržene močnemu napadu organizmov, medtem ko je bilo na območju Ploščadi opažen le vdor nekaterih ladijskih črvov. Tudi v tem primeru je bila ugotovljena tako, kot v prvih mesecih napada na Ladjedelnici, razlika med tremi vrstami iglavcev, kjer je bila bela jelka (ABI) najbolj napadena vrsta, ji sledita rdeči bor (PIN), nato smreka (PIC). Replikacije se medseboj razlikujejo; manj napadene replikacije so pokazale naslednji vrstni red odpornosti PIN, PIC, ABI, tiste najbolj napadene pa PIC, PIN, ABI. Pri termično modificiranem boru (PIN THM) je bilo stanje napadenosti izredno nizko, acetiliran *Pinus radiata* pa na nobeni testni postaji ni imel nobenih znakov napada. Kar zadeva lesne vzorce, zaščitene s Silvanolinom, je bilo ugotovljeno, da so znatno manjšo napadenost kazali tisti, obdelani z raztopino v manjši koncentraciji (PIC LOW) in postavljeni ob Ploščadi. Hrastovina, tako nezaščitena kot zaščitena z železom, je na območju Ladjedelnice kazala izrazito napadenost, na Ploščadi pa izredno nizko.

Ugotovljeno je bilo popolnoma enako stanje v koprskem pristanišču in na območju Ladjedelnice. Na sliki 8 so v tabelarni obliki prikazani rezultati povprečne ocene vseh plošč na treh testnih postajah.

Če upoštevamo vsako posamezno replikacijo, ugotavljamo, da je stanje vzorcev, izpostavljenih v pristanišču v Kopru, precej poenoteno in je enako tistemu, zabeleženemu na območju Ladjedelnice. Silvanolin LOW je pokazal največjo variabilnost med replikacijami, kjer so bile stopnje preraščenosti različne.



### 3.4. Prisotne vrste lesnih škodljivcev

Ugotovljene so bile naslednje vrste ladijskih črvov *Teredo navalis*, *Teredo bartschi*, *Lyrodus pedicellatus* in *Nototerredo norvegica*.

Na vseh testnih območjih je bil napad rakcev valilničarjev, kot so npr. *Chelura terebran* ali različne vrste mokric *Limnoria*, zanemarljiv v primerjavi z napadom teredinidov.

## 4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

---

V času trajanja tega projekta smo opravili dve oceni obstojnosti lesa v morju po protokolu, ki se že uporablja v Benetkah:

- Preizkušanje na standardnih lesenih vzorcih po spremembi evropskega standarda EN275 (DS3.1.2 - AKT8 Ocena odpornosti lesa, zaščitenega s Silvanolinom, acetiliranega ali termično modificiranega, na napad morskih škodljivcev)
- Preizkušanje na kolih (DS3.1.2 - AKT9 Ocena odpornosti lesenih konstrukcij, zaščitenih s Silvanolinom, acetilacijo ali termično modifikacijo, na napad morskih škodljivcev)

Aktivnosti 8 in 9, to je ocena napada morskih škodljivcev na material in konstrukcije (kole), izdelane iz istega lesenega materiala, zajemata dva različna, a tesno povezana vidika, vključno z metodologijo, ki jo že davno uporablja Medregionalna ustanova za javne infrastrukture dežel Veneto, Trentinsko - Gornje Poadižje in Furlanija - Julijska krajina (nekdanji Beneški Magistrato alle Acque) pri izdaji dovoljenj za uporabo lesnih in alternativnih materialov v Beneški laguni.

Že na začetku projekta je svetovna pandemija COVIDA-19 močno prizadela vse projektne aktivnosti ter zaustavila tiste, povezane s pripravo materiala (AKT 5 in 6, glej ustrezni poročili). Onemogočena je bila dostava snovi, potrebnih za impregnacijo lesa, saj so bile le-te prednostno uporabljene za pripravo razkuževalnih sredstev za namene obvladovanja izrednega zdravstvenega stanja. Zaradi zamude pri pripravi vzorcev za terenske preizkuse (AKT6) je bila aktivnost prestavljena na naslednje leto, z opustitvijo prve možne biološke sezone v času trajanja projekta, kar je izključilo vsakršno možnost za izvajanje dodatnih ocen ali prilagoditev na druge morebitne nepredvidljive okoliščine, ki bi se lahko pojavile med potekom terenskega dela.

Oktobra so nam bili dostavljeni vzorci za terensko in laboratorijsko preizkušanje (AKT 8, 9, 10, 14, 15, 18 in 19). Izvedli smo vse postopke za prevzem, skladiščenje in preverjanje materialov ter pripravo nosilcev.

Na podlagi ekotoksikoloških analiz (povezava z AKT 14 in 18) je bil material, že pripravljen za namestitev, prevzet in podvržen postopku ponovne prilagoditve/ obdelave (glej AKT. 5 in 6). Tako ni bilo mogoče izvesti načrtovanih terenskih aktivnosti za različne materiale (EN275), temveč smo jih le prevzeli.

Šestmesečno podaljšanje trajanje projekta je bilo minimalni pogoj, da smo lahko zaključili fazo eksperimentiranja. Zaradi navedenega smo zamudili eno sezono razmnoževanja in naseljevanja teredinidov, kar je posledično zmanjšalo možnosti za bolj poglobljeno oceno.

Spodaj navajamo glavne ugotovitve opravljenih ocen:

- Neobdelan les iglavcev ni prestal prvega poletja.
- Trajnost naravnega lesa je *Pinus sylvestris* > *Abies alba* > *Picea abies*, a z manjšimi razlikami.
- Termično modificiran les nudi zaščito, ki je vsekakor nezadostna, če je stalno potopljen v vodi.
- Acetiliran les zagotavlja popolno zaščito.
- Silvanolin v nizki koncentraciji ne ščiti.
- V prvem letu les, obdelan s Silvanolinom UC5 in Marine, ni pokazal znakov napada, v kratkem času.
- vendar preventivni testi kažejo na to, da bi lahko prišlo do napada po drugem letu izpostavljenosti. S testiranjem nadaljujemo tudi po zaključku projekta.
- Morsko okolje ob Ploščadi se je izkazalo za manj podvrženo napadom ladijskih črvov v primerjavi s sedimentnima okoljema Beneške lagune in koprskega pristanišča
- Med posameznimi vrstami lesa in obdelavo ni bilo večjih razlik v stopnji fouling. Zato se ocenjuje, da noben od pripravkov ni imel doslednega učinka antifouling.

Ekperimentalni načrt in protokoli, ki se že uporabljajo, so se izkazali za učinkovite, kar je v skladu s predvidevanji. Da bi ocenili dejansko trajnost proučenih zaščitnih obdelav, predlagamo, da se nadaljuje s spremljanjem tudi po prvi biološki sezoni. Podatki, pridobljeni med izvajanjem te aktivnosti, so bili uporabljeni tudi za boljšo interpretacijo aktivnosti 9AKT: Ocena odpornosti zaščitnih lesenih konstrukcij na

---

napad morskih škodljivcev (koli).

## LITERATURA

---

European Committee for Standardization, 1992. EN 275 Wood Preservatives. Determination of the Protective Effectiveness against Marine Borers. Brussels, Belgium.

Harrington, B., the Inkscape developer team, 2004-2005. Inkscape. <http://www.inkscape.org>.

Lo Monaco, A, Balletti, F, Pelosi, C (2018): Wood in cultural heritage properties and conservation of historical wooden artefacts. European Journal of Science and Theology, 14(2), 161-171.

Marais, BN, Brischke, C, Miltz, H (2022): Wood durability in terrestrial and aquatic environments - A review of biotic and abiotic influence factors. Wood Material Science & Engineering, 17(2), 82-105.

Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W., 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. Nat. Methods 9 (7), 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.

*Projekt, sofinanciran iz Evropskega sklada za regionalni razvoj v sklopu »Programa za sodelovanje Interreg V-A Italija-Slovenija 2014 - 2020«*

*Vsebina publikacije v nobenem pogledu ne izraža stališča Organa upravljanja »Programa sodelovanja Interreg V-A Italija-Slovenija 2014 - 2020«. Za vsebine so odgovorni avtorji.*