

I pali del villaggio palafitticolo di Molina di Ledro: indagini funzionali all'intervento manutentivo

Stefania Sartori

Via Vivaldi, 43/1. I-31021 Mogliano Veneto (TV). E-mail: sartori.restauro@gmail.com

Olivia Pignatelli

Laboratorio Dendrodata, Via Pigna, 14. I-37121 Verona. E-mail: oliviapignatelli@gmail.com

Roberta Gasperini

Via A. Cristofoli, 16. I-37138 Verona. E-mail: rgasperini@fastwebnet.it

Mirella Baldan

R&C Art srl, Via Retrone, 39. I-36077 Altavilla Vicentina (VI). E-mail: mirella.baldan@rcartsrl.it

RIASSUNTO

Dieci dei ventisette reperti lignei (pali e travi) provenienti dal villaggio palafitticolo di Ledro, conservati presso l'Istituto di Antropologia dell'Università di Padova, sono stati analizzati per individuarne la specie di appartenenza. Sono stati riconosciuti quattro diversi taxa che erano stati ritrovati anche nelle ricerche precedenti, confermando le ipotesi sulla provenienza del legname.

Una parte importante dei pali è stata riportata alla luce negli estesi scavi del 1937, eseguiti dal prof. Raffaele Battaglia e descritti in un resoconto, pubblicato nel 1943, sugli scavi e la stratigrafia della palafitta del Lago di Ledro. In questo prezioso documento sono incluse anche alcune informazioni riguardo alle tecniche di conservazione del legno bagnato messe in atto al tempo e in quel contesto.

Al momento dell'intervento manutentivo quasi tutti i pali e le travi presentavano un forte e caratteristico degrado delle parti esterne e spesso affioravano sulle loro superfici formazioni cristalline di colore bianco. Per avvalorare l'ipotesi di un'origine fungina del grave ammaloramento superficiale e per escludere la presenza di crescite attive, sono state condotte analisi biologiche. Inoltre, al fine di caratterizzare sostanze consolidanti utilizzate in passato e ancora presenti nel legno, che potrebbero aver dato luogo al deposito biancastro, è stata eseguita un'analisi fisico-chimica.

Dai risultati delle indagini scientifiche sono arrivati gli spunti per stabilire i metodi e i materiali da utilizzare per il consolidamento strutturale del legno durante l'intervento di manutenzione e alcune riflessioni per possibili sviluppi futuri.

Parole chiave:

Ledro, legno bagnato, specie legnose, allume di rocca, funghi cariogeni.

ABSTRACT

The poles of the pile-dwelling village of Ledro: Functional Analysis for the Maintenance Intervention

Ten of the twenty-seven wooden finds (poles and beams) from the village of Ledro, preserved at the Institute of Anthropology of the University of Padua, were analyzed to identify their species. Four different taxa that had been recognised in previous research were confirmed, supporting the hypothesis regarding the origin of the wood.

An important part of the poles was highlighted in the extensive excavations of 1937, conducted by Prof. Raffaele Battaglia and described in a report published in 1943 on the excavations and stratigraphy of the pile-dwelling of Lake of Ledro. This valuable document also includes some information about wet wood conservation techniques implemented at the time and in that context.

During maintenance, nearly all the poles and beams displayed significant and distinctive degradation of their outer parts, often revealing white crystalline formations on their surfaces. Biological analyses were carried out to confirm the hypothesis regarding the fungal origin of severe surface malady and to eliminate the possibility of active growths. In addition, a physicochemical analysis was performed to characterize the consolidators used in the past and still present in the wood, which may have contributed to the whitish deposit.

The results of the scientific investigations have provided the foundation for determining the methods and materials to be used for structural consolidation of wood during maintenance operations, along with some reflections for possible future developments.

Key Works:

Ledro, waterlogged wood, timber species, rock alum, wood-decaying fungi.

INTRODUZIONE

I 27 elementi lignei (pali e travi) oggetto dell'intervento manutentivo provengono dal villaggio palafitticolo nei pressi del Lago di Ledro (TN) ed erano conservati presso l'ex Museo di Antropologia dell'Università di Padova. L'abitato palafitticolo di Molina di Ledro, datato tra l'antica e la media età del Bronzo (circa XXII-XIV sec. a.C.), è situato all'estremità orientale del Lago di Ledro, all'imbocco dell'emissario Ponale, a quota 651 m s.l.m. La scoperta di questa palafitta avvenuta nel 1927 si deve a un notevole abbassamento del lago. Il primo scavo estensivo (500 m²) fu diretto nel 1929 dal prof. Ettore Ghislanzoni, ispettore della Regia Soprintendenza delle Antichità del Veneto e della Venezia Tridentina (Ghislanzoni, 1930). Nel 1937 venne incaricato il prof. Raffaello Battaglia (direttore dell'Istituto di Antropologia di Padova) di condurre una nuova campagna di scavo che raggiunse l'estensione di 4200 m² portando alla luce quasi 10.000 pali (Battaglia, 1943). Durante questi scavi il prof. Giuseppe Dalla Fior (Dalla Fior, 1969) si occupò di classificare una parte degli avanzi vegetali rinvenuti nel deposito antropozoico. A questa campagna seguirono altri interventi più circoscritti dal 1957 al 1967. A tutela del sito palafitticolo di Molina di Ledro fu disposto nel 1965 il vincolo archeologico su una parte dell'area centrale e sulla sponda meridionale dell'emissario. Nel 2003 l'Ufficio beni archeologici della Provincia Archeologica di Trento ha effettuato ulteriori sondaggi archeologici e dal 2008 al 2011 sono state eseguite nuove indagini archeologiche e paleoambientali. Dal 2011 l'area palafitticola diventa parte componente del sito "Siti palafitticoli preistorici delle Alpi", riconosciuto dall'UNESCO come Patrimonio dell'Umanità (Bellintani et al., 2015).

Nello scritto del prof. Battaglia (Battaglia, 1943) è riportato un importante resoconto sulla natura dello scavo del 1937, sui ritrovamenti e sulle prime analisi scientifiche. Riguardo ai pali, scrive il Battaglia, vennero tutti lasciati sul posto e individuate visivamente le principali specie di appartenenza. Nel testo si legge inoltre che furono prelevati alcuni campioni, esaminati dal prof. L. Piccioli presso l'Orto Botanico dell'Università di Padova. Di queste analisi purtroppo finora non si hanno riscontri effettivi, come non è ancora chiaro quando i pali presenti all'Istituto di Antropologia siano arrivati a Padova e a quale scavo facciano effettivamente riferimento. Il lavoro di manutenzione di questi reperti, a partire dalle conoscenze storiche appena citate, ha preso avvio con una campagna conoscitiva delle specie legnose e con indagini volte a indagare la natura dei problemi conservativi individuati.

INDAGINI DIAGNOSTICHE

Le indagini xilotomiche

I campioni pervenuti per le indagini xilotomiche per il riconoscimento della specie legnosa sono 10, seleziona-

ti fra i 27 reperti sottoposti a intervento manutentivo. Essi rappresentano gli elementi strutturali selezionati dalla restauratrice Stefania Sartori, che ne ha curato anche il campionamento in accordo con la Direzione Lavori, cercando di individuare quelli più significativi da un punto di vista tipologico e dimensionale per ottenere elementi di conoscenza utili alle indagini successive. L'esame è stato condotto al microscopio ottico a luce trasmessa, seguendo la norma UNI 11118:2004, su sezioni sottili ricavate manualmente da ciascun campione lungo le tre principali direzioni anatomiche del legno (trasversale, longitudinale tangenziale e longitudinale radiale), montate su vetrino. Per l'identificazione sono stati utilizzati gli atlanti di Schweingruber (1982, 1990). I taxa individuati sono quattro e sono riferibili quasi esclusivamente a legno di conifera (tab. 1). Le conifere sono rappresentate da tasso (*Taxus baccata* L.) (4 campioni), larice (*Larix decidua* Mill.) (3 campioni) e pino della sezione *Sylvestris* (*Pinus* sp. della sezione *Sylvestris*), presumibilmente pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) (2 campioni). L'unico reperto in legno di latifoglia è un elemento con una biforcazione in maggiociondolo (*Laburnum* cfr. *anagyroides*).

Tali risultati concordano con quanto già emerso dalle precedenti ricerche condotte a Molina di Ledro su un numero molto più ampio di campioni, 150 provenienti da altrettanti pali dello scavo Battaglia e altri 113 riferibili a elementi strutturali e a resti di ramaglie e tronchi, recuperati nel corso delle ricerche archeologiche intraprese dal 2003 al 2011 dall'Ufficio beni archeologici della Provincia Autonoma di Trento in tre aree archeologiche pertinenti all'insediamento palafitticolo denominate Ponale Sud, Baracca dei Pescatori e Hotel San Carlo. Entrambi gli studi precedenti hanno evidenziato una netta prevalenza dell'impiego del legno di conifera, rispetto a quello di latifoglia (Dalla Fior, 1940; Bellintani et al., 2015).

I risultati delle ricerche sono tutti confluiti nel data base del Piano di Gestione elaborato per il sito seriale

N. inventario	Taxon	Tipo di elemento
3296	<i>Pinus</i> sp. sezione <i>Sylvestris</i>	palo con scasso
3299	<i>Pinus</i> sp. sezione <i>Sylvestris</i>	palo con incastro?
3301	<i>Larix decidua</i> Mill.	trave con incastro?
3303	<i>Taxus baccata</i> L.	elemento con serie di incastri?
3304b	<i>Taxus baccata</i> L.	palo
3310	<i>Taxus baccata</i> L.	trave
3311a	<i>Larix decidua</i> Mill.	trave
3312	<i>Taxus baccata</i> L.	trave
3313	<i>Laburnum</i> cfr. <i>anagyroides</i>	trave con biforcazione
3315	<i>Larix decidua</i> Mill.	asse con foro?

Tab. 1. Gli elementi lignei oggetto dell'indagine.

transnazionale UNESCO sulle palafitte preistoriche dell'arco alpino, progetto finanziato a valere su fondi della Legge 20 febbraio 2006 n. 77 (Martinelli, 2022). Venendo a descrivere in dettaglio i risultati delle ricerche già citate, per 100 dei campioni esaminati da Dalla Fior è stata possibile l'identificazione, mentre per i restanti 50 è stata individuata solo l'appartenenza, non meglio determinata, a legno di conifera per 30 di essi e a legno di latifoglia per gli altri 20. Fra gli elementi identificati predominano le conifere che costituiscono il 76% dei campioni determinati, dove, oltre a tasso, larice, pino, sono presenti anche abete bianco e abete rosso. Le latifoglie sono, invece, rappresentate da quercia, olmo e frassino. Si segnala che nella sua pubblicazione Dalla Fior cita inoltre, in nota, una ventina di campioni da lui inviati in un primo tempo al botanico Piccioli, risultati tutti in legno di conifera (Dalla Fior, 1940).

Gli studi effettuati in occasione delle indagini archeologiche e paleobotaniche condotte più recentemente per la Provincia Autonoma di Trento hanno permesso, invece, l'identificazione di 109 campioni, mentre quattro sono stati attribuiti genericamente a legno di latifoglia; anche in questo caso prevalgono le conifere che raggiungono l'81,42% con 6 diversi taxa, dove alle specie già individuate dal Dalla Fior si aggiunge la presenza sporadica del ginepro; il restante 18,58% è risultato in legno di latifoglia, rappresentato da 8 taxa (Bellintani et al., 2015). La presenza di una maggiore diversificazione fra le specie appartenenti a legno di latifoglia può essere legata al fatto, come suggerisce Martinelli (Martinelli, 2022), che fra i reperti esaminati in queste tre aree vi sono, come sopra riportato, oltre agli elementi strutturali anche resti di tronchi e di rami.

Le tre diverse specie di conifere utilizzate per gli elementi strutturali esaminati nel presente studio – tasso, larice e pino – sono ben rappresentate nelle ricerche precedenti e sono caratterizzate da un legno il cui durame, almeno per quanto riguarda tasso e larice, è durevole (Giordano, 1988); l'unica latifoglia, un elemento in legno di maggiociondolo, anch'esso con legno piuttosto durevole (Giordano, 1988), è stata individuata, invece, solo in uno dei reperti determinati provenienti dall'area dell'Hotel San Carlo; si segnala inoltre che tale specie era stata riscontrata anche dal botanico Piccioli tra campioni non meglio definiti raccolti dal prof. G. Sala nello scavo Battaglia (Dalla Fior, 1940) e che alcuni elementi appartenenti sempre a questo tipo di legno sono riportati anche nell'elenco delle specie individuate macroscopicamente da alcuni falegnami che hanno esaminato in situ i quasi 10.000 pali rinvenuti nello scavo Battaglia (Battaglia, 1943).

I risultati dell'insieme delle indagini xilotomiche condotte suggeriscono che gli antichi carpentieri di Ledro abbiano utilizzato per la costruzione della palafitta tronchi provenienti dai boschi misti che ricoprivano le pendici circostanti il lago, prediligen-

do il legno di conifera, in particolare pino e abete bianco, come già evidenziato nei precedenti studi. Anche nell'altro sito palafitticolo trentino, quello di Fiavé-Carera, si evidenzia l'impiego quasi esclusivo di legno di conifera, fra cui prevalgono, invece, gli elementi in abete rosso e larice. L'approvvigionamento del legname da boschi con abbondante presenza di conifere, situati in prossimità degli insediamenti, fa sì che i due siti palafitticoli trentini di Molina di Ledro e di Fiavé-Carera rappresentino in Italia gli unici con strutture in prevalenza in legno di conifera (Martinelli, 2022). Fra i pochi elementi esaminati delle collezioni museali dell'Università di Padova non è stato possibile individuare alcun uso preferenziale a livello di specie per le diverse tipologie in esame.

Le indagini biologiche e l'analisi FT/IR

In alcuni scritti il prof. Battaglia (Battaglia, 1943, 1949) afferma che tutti i pali furono lasciati sul posto, mentre alcuni manufatti lignei di più piccole dimensioni, rinvenuti nel sito e ancora immersi in acqua, furono prelevati per essere studiati. Questa scelta provocò agli oggetti non pochi problemi di conservazione, poiché, com'è immaginabile, durante l'asciugatura si deformarono, fino a fessurarsi e spaccarsi. Il comportamento del legno bagnato esposto all'aria, probabilmente, non era ben conosciuto dal prof. Battaglia, che si occupava principalmente di paleontologia. Per impedire, o almeno limitare, la perdita di tali reperti, su consiglio dell'allora direttore dell'Orto Botanico dell'Università di Padova, prof. G. Gola, egli immerse il materiale ligneo in una soluzione composta da formalina, che serviva da battericida, glicerolo, utilizzato per sostituire l'acqua durante la sua evaporazione e come plastificante, e gomma arabica e zucchero, i consolidanti veri e propri. Comunque, alcuni reperti, una volta asciugati, si deformarono profondamente, riducendosi di volume. I pali e le travi, oggetto della presente campagna manutentiva, non mostravano problematiche legate al ritiro del materiale ligneo, mentre, prima dell'intervento appena concluso, manifestavano gravi problemi di decoesione della materia lignea, che risultava sbriciolarsi ogni qual volta fosse necessario movimentarli. Vistose fenditure, con andamento longitudinale e trasversale, solcavano, e tuttora solcano, le zone più esterne dei reperti, segno di un degrado probabilmente ascrivibile a una presenza fungina (Bravery et al., 1987; Gambetta, 2010). Per sostenere tale ipotesi e per verificare se ci fosse ancora una qualche attività vitale sono state eseguite le indagini biologiche.

Inoltre, sulle superfici di alcuni pali erano visibili efflorescenze cristalline biancastre riconducibili al consolidante utilizzato per il trattamento del legno bagnato. Quindi, proprio per stabilire la natura del consolidante utilizzato al momento del rinvenimento e del prelievo dal sito dei pali (si ricorda che non è noto esattamente quando i pali sono stati prelevati), si è deciso di eseguire una microanalisi FT/IR.

Le analisi biologiche

Sono stati prelevati campioni di materiale da quattro reperti in legno di conifera caratterizzati da notevole degrado anche esteso sull'intera superficie. È stato preferito il legno di conifera in quanto utilizzato in maniera maggioritaria rispetto a quello di latifoglia per la costruzione delle palafitte nel sito di Ledro.

Per ottenere risultati rappresentativi, riguardo sia alla durabilità delle diverse specie che alle tipologie di manufatti, sono stati scelti due pali in *Pinus* sp. sezione *Sylvestris* (palo n. inv. 3296 e palo n. inv. 3299), un palo in *Taxus baccata* L. (palo n. inv. 3304b), una trave in *Larix decidua* Mill. (trave n. inv. 3311a) (fig. 1).

Sono state eseguite osservazioni al microscopio di tutti i campioni, per valutare lo stato di deterioramento dei legni e la presenza di strutture fungine (ife, micelio, spore ecc.) (UNI 10923, 2001), e analisi colturali (pali 3296 e 3299), per evidenziare eventuale attività vitale di biodeteriogeni in crescita (Normal 19/85, 1985).

I pali in *Pinus* sp. sezione *Sylvestris* presentavano sulla superficie consistenti fenditure che davano luogo a una peculiare struttura cubica riconducibile ai danni causati dai funghi della carie bruna. Nel palo 3299 le fessurazioni, longitudinali e trasversali, arrivavano maggiormente in profondità. Danni così significativi sono probabilmente dovuti anche alla bassa durabilità del legno di pino in ambiente aereo.

Allo stereomicroscopio il materiale prelevato manifestava perdita della struttura lignea e notevole aumento della fibrosità. Allestire i preparati sul vetrino è stato difficoltoso per l'estrema fragilità del materiale ligneo. Al microscopio ottico le fettine ottenute mostravano ripetute microfessurazioni delle tracheidi in tutte le direzioni: fenomeno sintomatico del passaggio dei funghi della carie bruna che, rilasciando enzimi cellulolitici, causano l'indebolimento della parete cellulare, ma non la sua totale distruzione. L'attività digestiva di questi biodeteriogeni infatti colpisce la cellulosa, ossia la struttura portante, e non la lignina, il cemento, e ciò porta ai cedimenti visti al microscopio, alla caduta di materiale ligneo al solo contatto e alle spaccature apparse sulla superficie dei manufatti (Blanchette, 2000).

Inoltre, rare ife fungine sono state individuate lungo le pareti delle tracheidi in entrambi i campioni di pino. Le colture hanno dato, però, esito negativo, indicando che le strutture biologiche ritrovate sono solo residui disidratati e inattivi e che il degrado è riferibile a un attacco passato.

Per quanto riguarda il palo in legno di tasso (*Taxus baccata* L.), nelle aree inferiori e centrali era visibile la caratteristica struttura cubica. In questo caso le fessurazioni si fermavano più in superficie rispetto a quelle ritrovate sui pali in pino e il degrado non sembrava riguardare le parti più profonde del reper-

to. Lo stesso andamento si osservava sul campione allo stereomicroscopio: la zona superiore ed esterna degradata, quella inferiore e interna quasi integra. La parte sommitale del reperto presentava, invece, una cospicua sfibratura longitudinale della superficie. Al microscopio l'aspetto delle fettine di legno richiamava l'andamento di tale sfibratura. Sebbene il campione apparisse abbastanza compatto, i bordi erano piuttosto frastagliati per la perdita di resistenza del legno causata dalla depolimerizzazione della cellulosa da parte dei funghi produttori di cellulasi.

Per l'ultimo reperto analizzato, la trave in *Larix decidua*, il campione osservato mostrava allo stereomicroscopio e al microscopio ottico rispettivamente fessurazioni trasversali e microfessurazioni che attraversavano le tracheidi, entrambe segni inequivocabili di un attacco dovuto a funghi da carie bruna. Questa osservazione in parallelo permette di immaginare che il taglio, o, meglio, il cedimento, delle pareti cellulari, causato dall'attività enzimatica dei funghi, si ripeta e si amplifichi nell'intera struttura lignea inducendo fessurazioni ben visibili sulla superficie del reperto. In una parte del campione è stata rinvenuta un'ifa che percorreva una tracheide (fig. 1). Come per i campioni dei pali 3296 e 3299, i funghi sono disidratati da lungo tempo e non sono più vitali.

In conclusione, ciascuno dei reperti analizzati presentava danni riconducibili a colonizzazioni di funghi da carie bruna, appartenenti alla divisione *Basidiomycota* (Basso, 2023). Il materiale legnoso appariva microfessurato, sfibrato e fragile, anche se non in totale disfacimento: come detto sopra, sono tutte manifestazioni del deterioramento della cellulosa, ma non della lignina, compiuto dai funghi xilofagi detti della carie bruna o "cubica".



Fig. 1. Particolare di una fettina di legno di larice (trave 3311a), osservata al microscopio ottico (200x) in sezione longitudinale. È visibile un'ifa fungina che corre lungo la parete della tracheide.



Fig. 2. Osservazione allo stereomicroscopio di un particolare di materiale campionato dal palo 3299. È visibile un'abbondante formazione cristallina sulla superficie lignea e tra le fibre.

La microanalisi spettrofotometrica semiquantitativa all'infrarosso (FT/IR)

Quando i reperti sono arrivati in laboratorio, allo stereomicroscopio era osservabile una formazione cristallina di colore biancastro distribuita sulla superficie lignea e tra le fibre, in alcuni punti anche di dimensioni consistenti. È stato prelevato un campione di materiale dal palo 3299 (fig. 2) per caratterizzare, con spettroscopia IR, i materiali che componevano tale deposito cristallino. È stato utilizzato uno spettrometro all'infrarosso FT/IR della NICOLET mod.iS50, associato al microscopio FT/IR sempre NICOLET modello Continuum. I risultati dello spettro mostrano che il componente maggiore della formazione cristallina è l'allume di rocca, solfato di potassio e alluminio (fig. 3). Sono inoltre presenti, in quantità inferiore, composti di derivazione del glucosio, forse riferibili al trealosio, un disaccaride ottenuto dalla condensazione di due molecole di glucosio. La certezza che si tratti di questo zucchero andrebbe comunque attestata da analisi più approfondite e specifiche, come una gascromatografia-spettrometria di massa.

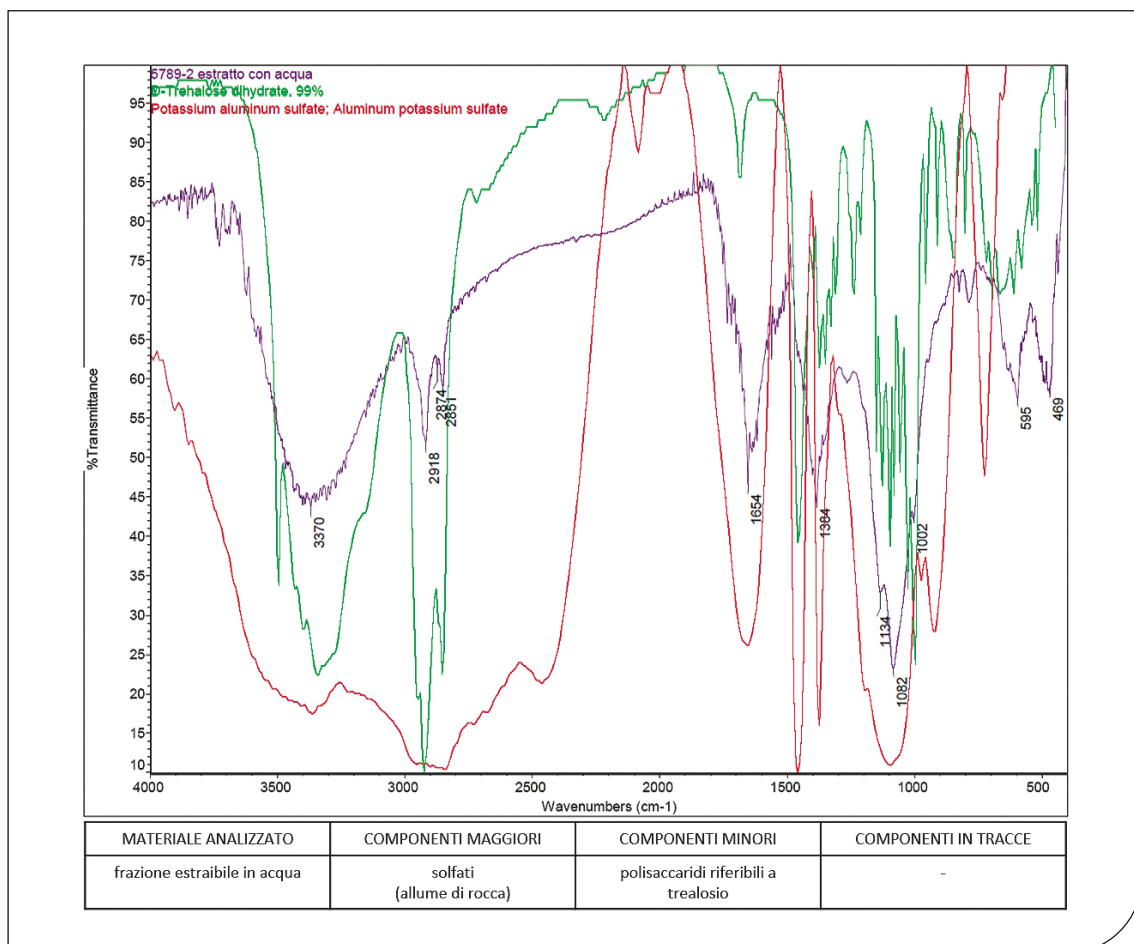


Fig. 3. Spettro FT/IR ottenuto per caratterizzare il deposito cristallino.

DISCUSSIONE SULLE INDAGINI

Le analisi biologiche hanno confermato che il degrado della superficie è dovuto a un attacco fungino avvenuto in passato, probabilmente al momento dell'asciugatura del legno e della sua esposizione all'aria. Nessuna crescita si è attivata durante le analisi colturali indicando che attualmente non si è in presenza di biodeterioramento all'interno della struttura lignea.

La microanalisi FT/IR ha attestato che la struttura cristallina presente tra le fibre del legno è per lo più allume di rocca. L'allume è stato usato come consolidante del legno bagnato a partire dalla fine del XIX secolo nel Nord Europa, poi utilizzato fino alla fine degli anni '50. L'allume potrebbe essere stato impiegato a Ledro negli scavi più recenti, a conferma anche del fatto che nel 1937, come riportato dal Battaglia, i pali non furono rimossi dal sito.

Purtroppo, in bibliografia (Andriulo et al., 2016; Braovac et al., 2018) è riportato che questo materiale, applicato a caldo, acidifica la struttura lignea (avviando l'idrolisi della cellulosa) portando il pH a valori tra 1 e 2,5. Queste ricerche, avviate con il progetto Savin Oseberg, intrapreso per studiare le problematiche conservative riscontrate sui reperti di una nave vichinga norvegese (v. sito web 1), hanno inoltre dimostrato che le impregnazioni con allume non riescono sempre a penetrare in profondità nel legno, causando nel tempo differenti sollecitazioni meccaniche e producendo crepe e vuoti interni. L'analisi dei pali di Ledro confermerebbe, anche in questo caso, la distribuzione del materiale cristallino prevalentemente in superficie (fig. 3).

La spettrometria IR, oltre all'allume, ha individuato anche la presenza di zuccheri, ipotizzando specificamente il trealosio. Questo disaccaride è stato però commercializzato solamente negli ultimi vent'anni e utilizzato solamente in anni recenti quale consolidante del legno bagnato (Alonso-Olvera et al., 2002; Capretti et al., 2009; Morgos, 2009). Non dovrebbe quindi trattarsi di una sostanza applicata sui reperti di Ledro. Si esclude inoltre che possa derivare dal legno quale sostanza di riserva, in quanto è lecito pensare che il materiale costitutivo dei pali e delle travi sia oramai caratterizzato quasi unicamente da cellulosa e lignina.

Un'ipotesi alternativa potrebbe essere che il trealosio sia un prodotto proveniente dai funghi; questi organismi ne sono più o meno abbondantemente provvisti e lo utilizzano come fonte di energia per poter sopravvivere al gelo e alla mancanza d'acqua (v. sito web 2). I funghi che attaccarono i reperti potrebbero aver accumulato il disaccaride durante l'asciugatura del legno ed esso potrebbe essere rimasto presente anche dopo il disfacimento delle ife e dei miceli fungini.

Si auspica che possano essere condotte ulteriori indagini in altre campagne manutentive per accertare la natura e la provenienza dello zucchero e, nel caso

si confermi la presenza di trealosio, vengano approfonditi gli studi anche per valutare l'identificazione di tale sostanza come marcatore del "passaggio" dei funghi sui manufatti lignei, per esempio quando il materiale campionato è esiguo, è assai disidratato e quindi è difficile da analizzare.

INTERVENTO DI MANUTENZIONE

Alla luce dei risultati delle analisi era evidente la necessità di provvedere alla misurazione sistematica dei valori di pH dei pali e delle travi. Le misurazioni hanno attestato valori variabili da pH 4,5 (in pochi esemplari) a pH 6, valori leggermente acidi che non potevano giustificare l'esecuzione di trattamenti deacidificanti, altamente invasivi. Questi numeri risultano inoltre contraddire gli studi di riferimento riportati sopra che indicano la forte acidità del legno trattato con allume.

Riguardo all'attacco biologico i risultati delle analisi hanno escluso attività vitale e quindi reso superflua l'applicazione di un biocida.

Il trattamento necessario rimaneva il consolidamento strutturale per ridare consistenza alla materia oramai fragile e degradata. Tutti i pali sono stati quindi accuratamente spolverati facendo molta attenzione al possibile distacco di alcune porzioni. Sono stati eseguiti test di fattibilità con due consolidanti, il Paraloid B72 in diluizione con solventi quali acetone ed etilacetato, e la resina Regalrez 1126 diluita in White Spirits D40. I test sono stati eseguiti con diluizioni differenti, variabili dal 5% al 20%. La valutazione era volta a determinare il potere consolidante a parità di concentrazione, e l'eventuale variazione colorimetrica. Il miglior risultato è stato quello ottenuto con Paraloid B72 in etilacetato nelle diverse diluizioni dal 5 al 15%. Nelle aree di maggior degrado superficiale siamo intervenuti diluendo il Paraloid B72 in acetone con una diluizione dal 15% al 20% per evitare una sua penetrazione.

BIBLIOGRAFIA

- ALONSO-OLVERA A., IMAZU S., MENDOZA-ANAYA D., MORGOS A., TZOMPANTZI-REYES M.T., 2002. *The Lactitol® conservation of wet polychrome wooden objects found in a 15th-century Aztec archaeological site in Mexico*. In: ICOM Committee for Conservation, 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 20-27 September 2002. James & James (Science Publishers) Ltd, Rio de Janeiro, pp. 712-717.
- ANDRIULO F., BRAOVAC S., KUTZKE H., GIORGI R., BAGLIONI P., 2016. Nanotechnologies for the restoration of alum-treated archaeological wood. *Applied Physics A*, 122, 322 (<https://doi.org/10.1007/s00339-016-9833-0>).
- BASSO M.T., 2023. *Manuale di microscopia dei funghi*. La Pieve Poligrafica Editore, Villa Verucchio (RN), 302 pp.
- BATTAGLIA R., 1943. La palafitta del lago di Ledro nel Trentino. Gli scavi e la stratigrafia. Il contenuto del

- deposito antropozoico. La metallurgia e la cronologia dell'abitato palafitticolo. *Memorie del Museo di Storia Naturale della Venezia Tridentina*, 7: 1-64.
- BATTAGLIA R., 1949. *Presentazione della pianta topografica della palafitta di Ledro nel Trentino*. Atti del I Convegno preistorico italo-svizzero, Locarno-Varese-Como, 29 giugno - 2 luglio 1947. Società archeologica comense, Como, p. 47.
- BELLINTANI P., BASSETTI M., BETTINARDI I., DEGASPERI N., MAGNY M., MARTINELLI N., PIGNATELLI O., ROTTOLO M., 2015. *Nuove ricerche per la tutela del sito palafitticolo di Molina di Ledro (TN)*. In: Archeologia delle Alpi. Provincia Autonoma di Trento, Soprintendenza per i Beni Culturali, pp. 25-34.
- BLANCHETTE R.A., 2000. A review of microbiodeterioration found in archaeological wood from different environments. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46: 189-204.
- BRAOVAC S., MCQUEEN C.M.A., SAHLSTEDT M., KUTZKE H., ŁUCEJKO J.J., KLOKKERNES T., 2018. Navigating conservation strategies: linking material research on alum-treated wood from the Oseberg collection to conservation decisions. *Heritage Science*, 6, 77 (<https://doi.org/10.1186/s40494-018-0241-y>).
- BRAVERY A.F., BERRY R.W., CAREY J.K., COOPER D.E., 1987. *Recognising wood rot and insect damage in buildings*. Building Research Establishment, Garston, Watford (UK), 120 pp.
- CAPRETTI C., LABRIOLA M., MACCHIONI N., MORALDI M., PIZZO B., ZOLFO G., 2009. *Il ritrovamento di mobilio in legno e avorio proveniente dall'area di Villa dei Papiri in Ercolano scavi: dal microscavo allo studio per il consolidamento di reperti polimerici in stato imbibito*. In: Biscontin G., Driussi G. (a cura di), Atti del convegno di studi "Conservare e restaurare il legno: conoscenze, esperienze, prospettive", Bressanone 23-26 giugno 2009. Arcadia Ricerche, Venezia, pp. 991-998.
- DALLA FIOR G., 1940. *Analisi politiche di torbe lacustri della Venezia Tridentina*. *Memorie del Museo di Storia Naturale*, 5: 121-176.
- DALLA FIOR G., 1969. *Analisi polliniche di torbe e depositi lacustri della Venezia Tridentina*. Estratto da "Memorie del Museo di Storia Naturale della Venezia Tridentina, volume V, fascicolo 1, 1940". Temi, Trento, pp. 97-114.
- GAMBETTA A., 2010. *Funghi e insetti nel legno. Diagnosi, Prevenzione, Controllo*. Nardini Editore, Firenze, 155 pp.
- GHISLANZONI E., 1930. Una palafitta lacustre, Molina di Ledro. *Bollettino Associazione Internazionale degli Studi Mediterranei*, 4, p. 20.
- GIORDANO G., 1988. *Tecnologia del legno. Vol. 3/2. I legnami del commercio*. UTET, Torino.
- MARTINELLI N., 2022. *IT-TN-01 Molina di Ledro (TN)-Molina di Ledro*. In: Ruggiero M.G., Baioni M., Mangani C., Sito Unesco seriale transnazionale "Siti palafitticoli preistorici dell'arco alpino". Elaborazione della parte nazionale del Piano di Gestione del sito: prime azioni e studi di fattibilità. Studio Aligraphis, Gravellone Toce (VB), pp. 133-134.
- MORGOS A., 2009. Conservation of wooden archaeological heritage. "Cibinium" Journal, 07, www.muzeulastra.com.
- NORMAL 19/85, 1985. *Microflora Autotrofa ed Eterotrofa: Tecniche di Indagine Visiva*. CNR-ICR, Comas Grafica, Roma, pp. 7.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1982. *Mikroskopische Holz Anatomie*. EAFV, Kommissionsverlag, Teufen, 226 pp.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1990. *Anatomie europäischer Hölzer*. WSL FNP, Stuttgart, 800 pp.
- UNI 10923, 2001. *Beni Culturali. Materiali lapidei naturali ed artificiali. Allestimento di preparati biologici per l'osservazione al microscopio ottico*. UNI, Milano, pp. 4.
- UNI 11118, 2004. *Beni Culturali, Manufatti lignei. Criteri per l'identificazione delle specie legnose*. UNI, Milano.
- Siti web (ultimo accesso 08.06.2024)**
- 1) University of Oslo, Museum of Cultural History, Saving Oseberg
<https://www.khm.uio.no/english/research/projects/saving-oseberg/>
- 2) FM Funghi Magazine, Trealosio
<https://funghimagazine.it/encyclopedia/trealosio/>