

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea triennale in Tecnologie Forestali e Ambientali L-25

**Legno di Quercia sub-fossile: caratterizzazione, collocazione commerciale e
utilizzi**

Relatore

Prof.ssa Tiziana Urso

Laureanda

Eva Giora

Matricola n. 2007861

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

RIASSUNTO.....	- 2 -
ABSTRACT	- 3 -
1. INTRODUZIONE	- 4 -
2. ANALISI DATI	- 8 -
2.1 Caratterizzazione fisica.....	- 8 -
2.1.1. Densità basale.....	- 9 -
2.1.2. Densità basale residua	- 10 -
2.1.3. Massimo contenuto d'acqua	- 10 -
2.1.4. Ritiri.....	- 11 -
2.1.5. Colore	- 12 -
2.2 Caratteristiche meccaniche	- 14 -
2.2.1. Durezza.....	- 14 -
2.2.2 Resistenza a compressione	- 16 -
2.3 Contenuto di ceneri.....	- 17 -
2.4 Caratteristiche chimiche	- 18 -
2.5. Degrado	- 19 -
2.6 Collocazione commerciale	- 21 -
2.6.1 Costi.....	- 29 -
2.7 Utilizzi	- 36 -
2.8 Imitazioni.....	- 44 -
3. CONCLUSIONI.....	- 45 -
4. BIBLIOGRAFIA	- 47 -
5. SITOGRAFIA	- 50 -

RIASSUNTO

La quercia sub-fossile, o *bog oak*, è un legno sub-fossile non pietrificato che assume un particolare colore scuro o nero. La formazione del legno sub-fossile avviene quando rimane sepolto per centinaia o migliaia di anni in condizioni anossiche e di elevata umidità; condizioni che si possono trovare in letti di fiumi, nelle paludi o nei sedimenti morenici. A ciò si aggiunge spesso una bassa temperatura, che rallenta l'attività biologica e la degradazione permettendo così la conservazione del materiale organico.

La quercia è la specie che si conserva meglio e che viene trovata più spesso in questo particolare stato ma non è l'unica; si trovano anche pino, olmo, acero, pioppo, faggio, frassino e ontano (Dvorská e Vít, 2002), anche se in minoranza.

I luoghi più comuni dove questi legni vengono trovati sono l'Irlanda e il centro o nord Europa.

In questo elaborato di tesi si riassumono i dati di alcuni studi effettuati su querce subfossili rinvenute nella pianura veneta, confrontandoli con i dati di letteratura e con quelli di legno di quercia recente. In particolare, si prendono in esame le caratteristiche anatomiche, fisiche (densità basale, densità basale residua, massimo contenuto d'acqua e ritiri), meccaniche (resistenza a compressione e durezza), chimiche (analisi elementare) e di degrado; che vengono confrontate con quelle della quercia attuale.

Inoltre, si vuole indagare la collocazione che questo particolare legno ha nel mercato nazionale e internazionale ponendo l'accento anche sull'esistenza in commercio di imitazioni e facendo un'analisi dei suoi utilizzi e dei suoi costi.

ABSTRACT

Sub-fossil oak, or Bog oak, is a non-petrified sub-fossil wood that takes on a particular dark or black colour. The formation of sub-fossil wood occurs when it remains buried for hundreds or thousands of years in anoxic and high humidity conditions; conditions that can be found in river bottoms, swamps, or moraine sediments. To this is often added a low temperature, which slows down biological activity and degradation, thus allowing the preservation of organic material.

The oak is the species that is best preserved and is most often found in this particular state, but it is not the only one; pine, elm, maple, poplar, beech, ash and alder are also found (Dvorská and Vít, 2002), although in a minority.

The most common places where these woods are found are Ireland and central or northern Europe.

This thesis summarizes the data of some studies carried out on subfossil oaks found in the Venetian plain, comparing them with literature data and with those of recent oak wood. In particular, the anatomical, physical (basal density, residual basal density, maximum water content and shrinkage), mechanical (compressive strength and hardness), chemical (elemental analysis) and degradation characteristics are examined, which are compared with those of the current oak.

Furthermore, we want to investigate the place that this particular wood has in the national and international market, also placing emphasis on the existence of imitation on the market and carrying out an analysis of its uses and costs.

1. INTRODUZIONE

Il legno subfossile viene definito come “legno non pietrificato, conservatosi per centinaia o migliaia di anni in fiumi, paludi o sedimenti morenici” (Schweingruber e Kaennel, 1995).

Il legno subfossile si forma quando rimane sepolto per lungo tempo in condizioni anossiche e di elevata umidità. Esso non viene decomposto ma va incontro a una lenta trasformazione, che comporta una modificazione delle sue caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche.

Le torbiere e le zone umide sono i luoghi più comuni in cui trovare questo particolare materiale grazie alle specifiche condizioni del terreno. (Lindsay et al., 2014). Queste condizioni sommate alle basse temperature riducono l'attività biologica e degli agenti di degrado, consentendo la conservazione del materiale organico.

L'Irlanda, l'Europa settentrionale e centrale sono alcuni dei luoghi più importanti di ritrovamento di foreste di querce palustri. Tronchi di quercia di palude sono stati rinvenuti anche in Italia e Svizzera, soprattutto nei fondali dei corsi d'acqua durante la loro pulizia e la riqualificazione dei fiumi. (Meneghello et al., 2022).

Il legno di quercia, in particolare, si trova spesso eccezionalmente ben conservato, presumibilmente grazie al suo alto contenuto di tannini. Inoltre, il legno di quercia subfossile è spesso ricco di ferro prelevato dalle falde acquifere. Il suo colore scuro, che varia dal marrone al verde brunastro fino al nero profondo, è dovuto in gran parte alle reazioni del ferro con i tannini. (Van Bürck et al., 2012). L'assorbimento da parte del legno di elementi minerali dal suolo causa il mutamento delle sue caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche.

In letteratura, i tronchi di quercia subfossile (*Quercus*, sp.) venivano chiamati “quercia nera” a causa del loro colore (Kalicki, Krapiec; 1995).

Il legno di quercia subfossile è molto apprezzato per la sua durezza e durevolezza, oltre che per il suo gradevole colore scuro. Viene utilizzato per realizzare mobili e impiallacciate, sculture, strumenti musicali, pipe per tabacco e ornamenti vari. (Van Bürck et al., 2012). Nel passato veniva utilizzato negli intarsi lignei in sostituzione del più raro e costoso legno di ebano (Nardi, 2006).

Il presente studio si pone l'obiettivo di riassumere i dati degli studi che hanno analizzato tronchi di quercia subfossile rinvenuti in Italia, confrontandoli con i dati della letteratura. Gli studi italiani da me considerati hanno esaminato due tronchi di quercia subfossile, rinvenuti nel canale Piavon e nel fiume Zero, tra le province di Venezia e Treviso. Entrambi i tronchi sono stati datati sia al

radiocarbonio che con tecniche dendrocronologiche, e ne sono state analizzate le caratteristiche fisiche (per poterne quantificare il degrado), chimiche e meccaniche (Urso et. al 2015; Maraschin, 2019; Bolge 2021; Meneghello, 2022).

Il ritrovamento del tronco nel canale Piavon (figura 1.1a) risale al 2008, ed è avvenuto in seguito a lavori di sistemazione dei suoi argini. La porzione di tronco ritrovata era lunga 15 metri, con un diametro di 50 centimetri. Dalla datazione al radiocarbonio, il tronco risulta risalire al periodo 1180-1278 d.C. L'analisi macro e microscopica dei tessuti legnosi indica la sua appartenenza al genere *Quercus* (specie *Q. petraea* (Matt.) Liebl. o *Q. robur* L.) (Urso et al., 2015; Meneghello, 2022).



Figura 1.1a. Tronco di quercia subfossile ritrovato nel canale Piavon (Urso et al., 2015).

Dal tronco è stata ricavata una sezione trasversale di 10 cm di spessore, che presentava una gradazione di colore del legno dal nero della parte più esterna fino ad un marrone della zona del midollo. Inoltre, la rotella risultava spaccata in due sezioni separate da una profonda fessura radiale che interessava l'intero diametro passando per il midollo (figura 1.1b) (Meneghello, 2022).



Figura 1.1b. Rotella ricavata dal tronco Piavon.

Il tronco rinvenuto nel fiume Zero (figura 1.2a) nel 2019, in seguito a lavori di sistemazione idraulica, misurava circa 6 metri di lunghezza. Gli studi lo hanno datato in un periodo compreso tra il 245 e il 433 d.C. Dall'analisi anatomica è emerso che anche questo tronco appartiene al genere *Quercus* (Maraschin, 2019; Bolge 2021; Meneghello, 2022).



Figura 1.2a. Tronco di quercia subfossile ritrovato nel fiume Zero (foto di Maraschin P.).

Le rotelle studiate, di 14 cm di spessore e diametro di 59 cm, sono state ricavate a 3 metri dalla base del fusto. In seguito al ritiro si presentavano suddivise in 5 frammenti. La zona centrale di midollo risultava distaccata dal resto a causa di un anello interno di materiale fortemente degradato, che si espandeva per circa 5 cm in direzione centripeta e centrifuga. Inoltre, era presente una fessurazione dall'esterno fino al centro che si allungava in direzione longitudinale al fusto, causa di ingresso di marciume e degrado, e probabilmente del distacco della zona centrale (Figura 1.2b) (Meneghello, 2022).



Figura 1.2b. Rotella ricavata dal tronco Zero.

2. ANALISI DATI

Lo studio delle caratteristiche tecnologiche del legno subfossile ha sostanzialmente due scopi principali: la comprensione del processo di deterioramento e il miglioramento della conoscenza per la sua conservazione. Gli studi si concentrano quindi principalmente sugli aspetti del degrado, mediante la caratterizzazione fisica, chimica, meccanica e anatomica del degrado. L'identificazione della specie legnosa, la datazione dendrocronologica e al radiocarbonio completano le ricerche.

2.1 Caratterizzazione fisica

La caratterizzazione fisica comprende la densità basale e la densità basale residua, il contenuto massimo di umidità, l'analisi dei ritiri e lo studio del colore. È utile per quantificare il degrado del legno archeologico che, essendo rimasto a lungo in un ambiente umido e con poco ossigeno, è soggetto agli attacchi batterici che consumano lentamente le pareti cellulari. La riduzione del peso e l'aumento del contenuto massimo di acqua forniscono utili indicazioni sull'entità dell'attacco biologico.

Lo studio degli agenti di degrado che potrebbero influire sul legno archeologico è essenziale per comprendere i fattori critici per la sua conservazione e il suo trattamento. La norma UNI 11130 (UNI, 2004a) definisce il degrado come “modificazione del legno, di diversa origine, che in qualsiasi modo ne peggiora le caratteristiche (in particolare, ma non esclusivamente, quelle meccaniche). In generale può essere causato da agenti chimici, fisici, meccanici, biotici e/o loro combinazioni” che alterano la struttura chimica dei tessuti legnosi, degradando cellulosa, emicellulose e lignine, secondo modalità diversificate tra i diversi agenti. (Meneghello, 2022).

2.1.1. Densità basale

La densità basale indica il rapporto tra la massa allo stato anidro ed il volume del legno imbibito, quindi quantifica la componente di tessuto legnoso del campione osservato: minore è il valore di densità basale maggiore è la porosità del legno in esame. (Meneghello, 2021).

Viene ricavata con la seguente formula:

$$BD = \frac{P_0}{V_{max}} [g/cm^3]$$

Dove:

- P_0 : peso allo stato anidro [g]
- V_{max} : volume a massima imbibizione [cm^3]

Nel legno degradato imbibito la densità basale diminuisce all'aumentare del degrado, in quanto diminuisce la massa, consumata dal degrado biologico, mentre il volume rimane invariato in quanto l'acqua va a riempire gli spazi lasciati vuoti nelle pareti.

Nei legni sepolti questo può avvenire solo in parte, se nel tempo entrano nel legno veicolate dall'acqua sostanze minerali che ne fanno aumentare il peso.

Nello studio di Kolář, M. e Rybníček (2010) vengono analizzati quattro campioni provenienti da varie località della Repubblica Ceca e messi a confronto con i dati di vari autori (Požgaj, 1997; Tsoumis, 1991; Noack, 1963; Rowell, Barbour, 1990; Govorčin, Sinković, 1995; Bednar, Fengel, 1974; Reinprecht, 1986; Wagenführ, 2000). I risultati mostrano che ci sono differenze considerevoli tra le singole località. In due dei quattro campioni analizzati da Kolář, M. e Rybníček risulta esserci una densità basale di poco inferiore a quella del legno di quercia recente (0,53-0,575 g/cm³); mentre negli altri due campioni e in tutti i campioni analizzati dagli altri autori risulta essere sempre maggiore (da 0,62 g/cm³ fino ad un massimo di 0,74 g/cm³).

Negli studi in cui vengono esaminate le due rotelle dei due diversi tronchi rinvenuti nei fiumi Zero e Piavon si riscontra una densità basale maggiore rispetto a quella del legno recente, confermando quindi l'ingresso di materiali inorganici nei lumi cellulari (Urso et. al. 2015; Maraschin, 2019; Bolge 2021; Meneghello, 2022)

2.1.2. Densità basale residua

La densità basale residua determina il rapporto percentuale tra la densità basale del legno in esame e la densità basale della stessa specie legnosa presa come riferimento (Meneghello, 2021).

Viene ricavata con la seguente formula:

$$RD = \frac{BD}{BD_{controllo}} * 100 [\%]$$

Dove:

- $BD_{controllo}$: densità basale per legno sano. Per la quercia è stato considerato il valore di 0,58 [g/cm³] (Dietz, 1975).

Questo è un valore fondamentale per la quantificazione del degrado del legno: indica la percentuale di parete cellulare rimasta rispetto al legno sano.

La RD_b del legno sano è pari a 100%; la sua diminuzione indica quindi una perdita di materiale della parete cellulare.

Negli studi effettuati sui tronchi Zero e Piavon le parti interne meno degradate hanno mostrato valori di densità basale residua leggermente diminuiti ($\pm 90\%$). Le parti esterne più degradate invece, hanno raggiunto valori di RD_b del 75%.

2.1.3. Massimo contenuto d'acqua

Il contenuto idrico massimo rappresenta la massima quantità d'acqua che il legno può contenere; quindi, il valore aumenta con l'aumentare della porosità del materiale. (Meneghello, 2022).

Viene ricavato con la seguente formula:

$$MWC = \frac{P_{max} - P_o}{P_o} * 100 [\%]$$

Dove:

- P_{max} : peso a massima imbibizione [g]

Lo studio di Urso et. al. (2015) afferma che quando le pareti cellulari si deteriorano, aumenta la porosità e la quantità di acqua che può essere contenuta nel legno (MWC). Pertanto, ci si aspetta che all'aumentare del deterioramento della parete cellulare, aumenti anche il contenuto massimo di acqua.

I parametri dell'area degradata interna dei tronchi Zero e Piavon analizzati nelle tre tesi non hanno tuttavia confermato questa teoria, in quanto il contenuto idrico massimo diminuisce. L'ipotesi è che, essendo penetrati materiali inorganici nel legno durante il suo periodo di sepoltura, questi abbiano fatto aumentare il peso del legno limitando lo spazio disponibile per l'acqua, facendo così diminuire il MWC. (Meneghello et. al. 2022).

2.1.4. Ritiri

I ritiri sono movimenti dimensionali nei quali vi è una riduzione delle dimensioni di un campione di legno in seguito a perdita d'acqua: vi è quindi un desorbimento, che consiste nella perdita di molecole d'acqua e nel ritiro della parete. Essendo il legno un materiale anisotropo i cambiamenti dimensionali sono diversi nelle diverse direzioni. Il legno di quercia subfossile ha una tendenza notevolmente maggiore a rigonfiarsi e ritirarsi rispetto al legno di quercia recente.

Studi effettuati da Reinprecht et al., 1988; Govorčin, Sinković, 1995 e Wagenführ, 2000; riscontrano differenze notevoli tra i valori di ritiri del legno recente e quello subfossile. Il rovere subfossile, infatti, presenta una percentuale di ritiro massima quasi doppia rispetto a quella del rovere recente. Ciò può essere ricondotto al fatto che il legno subfossile, essendo maggiormente deteriorato, ha meno parete cellulare; questo perché cellulosa e lignina vengono degradate nel tempo da funghi e/o batteri.

Lo studio di Kolář, M. Rybníček, (2010) che ha analizzato 5 campioni di quercia subfossile di differente età e origine (Horský e Reinprecht, 1986; Reinprecht et al, 1988; Rowell e Barbour, 1990; Govorčin e Sinković, 1995; Wagenführ, 2000) ha riscontrato che i valori di ritiro ottenuti

corrispondono a quelli della letteratura. Rispetto al legno recente, i valori di legno subfossile sono approssimativamente il doppio. Per quanto riguarda il rigonfiamento, il legno si comporta allo stesso modo (i valori sono molto simili).

Nello studio di Meneghello (2022) è stato osservato un aumento generale significativo del ritiro rispetto al legno di controllo in tutte e tre le direzioni anatomiche. L'aumento maggiore rispetto al legno di controllo si osserva per il ritiro tangenziale. Tra i due tronchi subfossili, il tronco Zero presenta sempre i ritiri maggiori.

2.1.5. Colore

Il colore è una caratteristica fisica e visiva del legno. La variabilità del colore del legno è dovuta alla specie e, all'interno della stessa specie, al tipo di legno osservato (alburno, durame, legno primaticcio, legno tardivo), alla faccia di osservazione, alla presenza di difetti, ecc... Il colore del legno può essere modificato in seguito a un trattamento o all'esposizione del materiale alla luce solare e ad agenti esterni biotici. Il colore del legno può essere influenzato anche dalla composizione del suolo sul quale la pianta cresce. Le variazioni di colore rispetto all'originale sono generalmente legate a modificazioni chimiche, come l'ossidazione, delle componenti organiche del legno (Tsoumis G., 1968).

La variazione di colore è molto probabilmente causata dalla reazione tra i tannini, comunemente presenti nel legno di quercia, e le componenti ferriche assorbite dall'acqua e dal terreno. La tonalità del colore dipende dal tempo di deposito del legno e dalla natura dei sedimenti. (Govorcic e Sinkovic, 1995).

Il colore risulta essere più scuro nelle parti esterne. Andando via via verso l'interno l'intensità del colore scuro diminuisce gradualmente. Ciò avviene perché le parti più esterne sono più facilmente impregnabili rispetto a quelle interne, in quanto gli elementi chimici penetrano dall'esterno verso l'interno (Figura 2.1).



Figura 2.1. Rotella del fiume Piavon in cui si può notare il gradiente di colore. (foto di Meneghello C.)

2.2 Caratteristiche meccaniche

Le proprietà meccaniche del legno di quercia subfossile sono approssimativamente 20–50 % in meno rispetto a quelle del legno di quercia recente (Bednar and Fengel, 1974; Horský and Reinprecht, 1986; Govorčín and Sinković, 1995; Kolář and Rybníček, 2010; Mańkowski et al., 2016). Ci sono più spiegazioni possibili per questi possibili cambiamenti. Una delle teorie è una degradazione biologica del legno che provoca la decomposizione della struttura del legno, e quindi il cambiamento di proprietà (Klaassen, 2008). Un'altra teoria può basarsi sulla differenza della composizione del legno di quercia subfossile e recente. Come affermato da Wagenführ (2000) e Bednar, Fengel (1974) la proporzione di emicellulose nel legno subfossile è molto inferiore, il che è causato dal fatto che sono facilmente eluibili dal legno se rimasto in ambiente umido a lungo termine. Poiché le emicellulose costituiscono il componente legante tra cellulosa e lignina, quando vengono eluiti, questi legami del legno vengono alterati. Con i cambiamenti dimensionali c'è spazio libero per le molecole d'acqua; con lo stress meccanico il legno risulta avere una minore resistenza dovuta alla modifica strutturale. Sulla base dei risultati si può concludere che i valori, con piccole variazioni, corrispondono ai valori forniti nella letteratura sulla quercia subfossile. Le variazioni dimensionali volumetriche del legno di quercia subfossile raggiungono valori massimi nella direzione tangenziale, arrivando fino ad essere doppi rispetto a quelli di quercia recente. Dall'altra mano, le proprietà meccaniche – resistenza alla compressione parallela alla fibratura e durezza – determinano 50–80 % dei valori del rovere recente. (Kolář and Rybníček, 2010).

Inoltre, è stato osservato che la variazione delle caratteristiche meccaniche non è strettamente legata al periodo di interrimento, ma principalmente dipende dal sito, condizioni di deposito, processi e stato di degradazione. (Kolář e Rybníček, 2010; Meneghello, 2022).

2.2.1. Durezza

La durezza è la capacità del legno di resistere alla rientranza di un altro oggetto nella sua struttura. (T. Kolář, M. Rybníček, 2010).

Esistono due test per stabilire la durezza del legno: la prova di durezza di Brinell e la prova di durezza di Janka. Nel test Brinell una sfera d'acciaio viene forzata nel legno utilizzando una determinata forza;

in seguito, il diametro dell'impronta lasciata dalla sfera viene misurata con una lente d'ingrandimento Brinell. Nel test Janka si utilizza un utensile dalla punta a sfera in acciaio da 11,284 mm, spinto nel legno; in seguito, la durezza è calcolata come la forza necessaria per far rientrare la sfera a metà del suo diametro per l'area di rientranza, che è 100 mm² (Požgaj, 1997).

Il valore di durezza viene calcolato con la seguente formula:

$$HB = \frac{2F}{\pi * 10 * \left(10 - \sqrt{100 - \left(\frac{D1 + D2}{2} \right)^2} \right)}$$

Dove:

- HB: valore di durezza [mm]
- D1 e D2: diametri perpendicolari dell'impronta [mm]
- F: forza massima applicata [N]

I risultati degli studi che sono stati trovati negli anni riportano sia conformità che incongruenze.

La letteratura (Bednar and Fengel, 1974; Horský and Reinprecht, 1986; Govorčín and Sinković, 1995) afferma che i valori di durezza della quercia subfossile sono inferiori rispetto a quella recente anche se la struttura cellulare è stata sostituita da minerali più duri.

Anche i risultati di Kolař e Rybniček, 2010, trovati attraverso il test Janka, mostrano che la durezza della quercia subfossile è inferiore a quella della quercia recente.

La durezza cambia poi a seconda della sezione anatomica e la relativa disposizione e direzione delle fibre (Tsoumis G., 1968).

In generale la sezione trasversale è la più dura e difficile da penetrare, mentre la radiale risulta la più facilmente penetrabile. La causa è imputabile alla direzione delle fibre, che risultano più resistenti quando la forza è applicata in direzione parallela, come si osserva anche con la maggior resistenza alla compressione parallela alle fibre rispetto alla compressione perpendicolare (Walker, 1993). La durezza nelle direzioni trasversali del legno subfossile ammonta a circa 45-65% della durezza in direzione longitudinale, mentre la durezza nelle direzioni trasversali del legno recente ammonta a circo 70-80% della durezza nella direzione longitudinale.

Nelle rotelle analizzate negli studi di Bolge (2021) e Meneghello (2022), viene usato il metodo di Brinell e risulta che la durezza della quercia subfossile sia maggiore rispetto a quella recente. Questo risultato differisce con quanto affermato dalla letteratura e da Kolař e Rybniček, (2010). È stato ipotizzato che questo sia dovuto al maggiore quantitativo di sostanze inorganiche e di minerali contenuti al suo interno. In ogni caso, come nella quercia recente, anche nella quercia subfossile, la faccia trasversale ha una durezza maggiore rispetto alle altre mentre, la faccia radiale si conferma la meno dura.

Nello studio effettuato da Meneghello si è cercato di trovare una possibile spiegazione all'aumento di durezza ricercando la correlazione con il contenuto di ceneri e con la densità basale. Analizzando il contenuto di ceneri viene registrata per tutte le sezioni una forte correlazione diretta tra la durezza e il contenuto di ceneri, correlazione più forte per la sezione tangenziale ($r = +0,96$) e più debole ma pur sempre forte per la sezione radiale ($r = +0,76$). Si può quindi concludere che la durezza è fortemente legata all'aumento delle ceneri contenute. Il test di Pearson tra la durezza e la densità basale non ha evidenziato correlazioni lineari importanti.

Anche nello studio di Bolge (2021), la durezza risulta poco correlata con la densità basale. Si conferma però una forte correlazione positiva tra durezza e contenuto di ceneri.

2.2.2 Resistenza a compressione

La resistenza alla compressione parallela alla fibratura si determina applicando una forza di compressione parallela alle fibre. La deformazione è prodotta dall'accorciamento della lunghezza del materiale nella direzione della forza applicata. Normalmente la resistenza meccanica del legno è influenzata dalla massa volumica: più il legno è pesante, maggiore è la sua resistenza meccanica.

Secondo gli studi di Bednar, Fengel, (1974); Horský, Reinprecht, (1986) la resistenza del legno di quercia subfossile corrisponde a circa il 70-80%, in alcuni casi anche 50% di quella della quercia recente, anche quando abbia una maggiore massa volumica. Risulta quindi, dal punto di vista meccanico, che la quercia subfossile sia meno resistente alla compressione parallela alle fibre rispetto alla quercia recente.

Lo studio di Bolge conferma la tesi della letteratura: la rotella del fiume Zero presentava una resistenza del 82%, e quella del canale Piavon del 87% rispetto alla quercia recente.

La minore resistenza può essere influenzata dalla massa volumica del legno e/o dalla sua età, ma vari studi (T. Kolař, M. Rybniček, 2010; Bolge, 2021) hanno dimostrato che non vi è una correlazione diretta tra esse.

Nello studio di Meneghello si è ipotizzato che la minore resistenza alla compressione sia dovuta alla minore resistenza delle pareti degradate.

2.3 Contenuto di ceneri

Il contenuto di ceneri nel legno sano attuale di quercia è compreso tra 0,34% e 0,48% (Bednar e Fengel, 1974).

Il legno di quercia archeologico è caratterizzato da una percentuale di sostanze minerali molte volte maggiore rispetto al legno di quercia recente. Questa proporzione è coerente con il risultato ottenuto in precedenza da diversi autori (Kúdela e Reinprecht 1990, Krutul et al. 2010) e dati che sono il risultato della ricerca sul contenuto di sostanze minerali nel legno di quercia archeologico (Babiński 2005; Mankowski, 2015) risultano compresi tra 1,9 e 2,10. (Kolář et al. 2014).

Nello studio effettuato da Maraschin (2019) nella parte interna del tronco analizzato (tronco Zero), quindi la parte meno degradata, il contenuto di ceneri in media è circa dell'1,5%, mentre nella parte degradata esterna risulta essere in media dell'8,14%; nella zona anulare interna del 7, 52%. Risulta esserci una differenza molto marcata tra la zona degradata e quella più sana. Oltre al contenuto di ceneri vi è una differenza anche nel colore delle stesse: i campioni analizzati provenienti dalla parte degradata presentavano un colore marrone scuro, mentre quelli più sani riscontravano un colore più chiaro.

Risulta esserci quindi un maggiore contenuto di ceneri nel legno archeologico rispetto a quello recente, confermato anche da altri autori (Siepi, 1989; Macchioni et al., 2012; Urso et al., 2015; Romagnoli et al., 2018). Inoltre, all'interno dello stesso legno, la quantità di ceneri è maggiore nel legno più degradato.

L'analisi del contenuto di ceneri sembra confermare che l'aumento della densità delle aree apparentemente intatte è dovuto all'ingresso di materiale inorganico che fa aumentare la quantità di ceneri (Zanetti et al., 2017).

2.4 Caratteristiche chimiche

La conseguenza dei cambiamenti chimici nel legno archeologico dipende principalmente dall'ambiente in cui è rimasto sepolto il legno (Dzbeński 1970, Borgin et al. 1979, Babiński et al. 2011 Kolář et al. 2014).

Secondo alcuni studi (Kolář and Rybníček, 2010; van Bürck et al., 2012) il legno di quercia subfossile è ricco di ferro assorbito dal suolo: il ferro contenuto nel suolo come Fe^{2+} penetrerebbe nel legno sommerso e interrato e reagirebbe con i polifenoli dei tannini, dei quali le querce sono naturalmente ricche, per poi ossidare conferendo al legno una colorazione molto scura, che può arrivare al nero. (Meneghello, 2022). Sembra esserci una progressiva diminuzione del contenuto di ferro verso il centro della sezione trasversale della quercia subfossile, non vi sarebbe quindi una distribuzione del ferro uniforme. Nei campioni analizzati di quercia recente risulta un più basso contenuto di ferro, ma con una distribuzione uniforme lungo la linea di misurazione lungo il raggio. Il processo di penetrazione del ferro è più intenso negli strati più vicini alla superficie, essendo gli strati più vicini al centro naturalmente isolati. Inoltre, l'alburno ha un contenuto naturalmente inferiore di tannini rispetto al durame. (Mankowski, 2013).

Lo studio di Baar (2019) sui cambiamenti dei componenti chimici nel legno di quercia subfossile durante gli anni ha dimostrato che vi è una diminuzione del contenuto di carboidrati e un apparente aumento della lignina. Inoltre, ha dimostrato una graduale diminuzione del contenuto totale di componenti estrattivi e fenolici, che corrisponde alla durata del periodo di interramento. Anche questo studio ha rilevato un aumento degli elementi inorganici, in particolare del ferro, nonché in misura significativa del calcio.

Anche nello studio di Meneghello C. (2022) sul tronco Piavon e sul tronco Zero ha confermato un aumento significativo del ferro e del calcio.

2.5. Degrado

Il legno archeologico, essendo rimasto in ambiente umido per molto tempo, ha dato modo agli agenti di degrado di alterare i componenti della parete cellulare. Gli organismi xilofagi che degradano il legno umido sono funghi e batteri. I funghi crescono sia esteriormente sia interiormente al legno, ma non si sviluppano al di sotto di una certa umidità del legno (20%). Si alimentano sia delle sostanze presenti dentro le cellule, sia dei componenti della parete cellulare.

Per quanto riguarda i funghi lignicoli che consumano le pareti cellulari, quelli che interessano il legno archeologico sono i funghi della carie soffice, che colpiscono sia la lignina che la cellulosa e che sono attivi con basse concentrazioni di ossigeno, anche se con velocità molto ridotte.

Il legno sommerso, essendo un ambiente quasi completamente anaerobico, viene decomposto dai batteri. I principali responsabili della sua degradazione sono gli *erosion bacteria*, che utilizzano cellulosa ed emicellulose e degradano lo strato S2 della parete (essendo questo più ricco di cellulosa). Altre tipologie di batteri (*tunnelling bacteria* e *cavitation bacteria*) possono svilupparsi ma non riescono a fare gravi danni a causa dell'ambiente privo di ossigeno.

Nello studio che ha analizzato il tronco del canale Piavon (Urso et. al 2017), le cellule al microscopio appaiono ben conservate, anche se in alcune zone sono visibili cellule che presentano lievi attacchi batterici sulle pareti, circondate da legno sano.

Lo studio del tronco del fiume Zero (Maraschin, 2019) ha evidenziato come le parti che macroscopicamente appaiono degradate abbiano microscopicamente chiari segni di degrado. Le pareti cellulari sono per la maggior parte soggette a rottura, soprattutto nella porzione esterna del legno, che è la parte più soggetta a degrado. All'interno dei lumi cellulari si può notare una buona quantità di sedimenti, insediatisi nel tempo in cui il legno è stato sommerso. L'analisi microscopica ha evidenziato notevoli collassi dei lumi dei vasi e delle cellule e una quantità minore di aree vuote rispetto al legno sano (Figura 2.2).

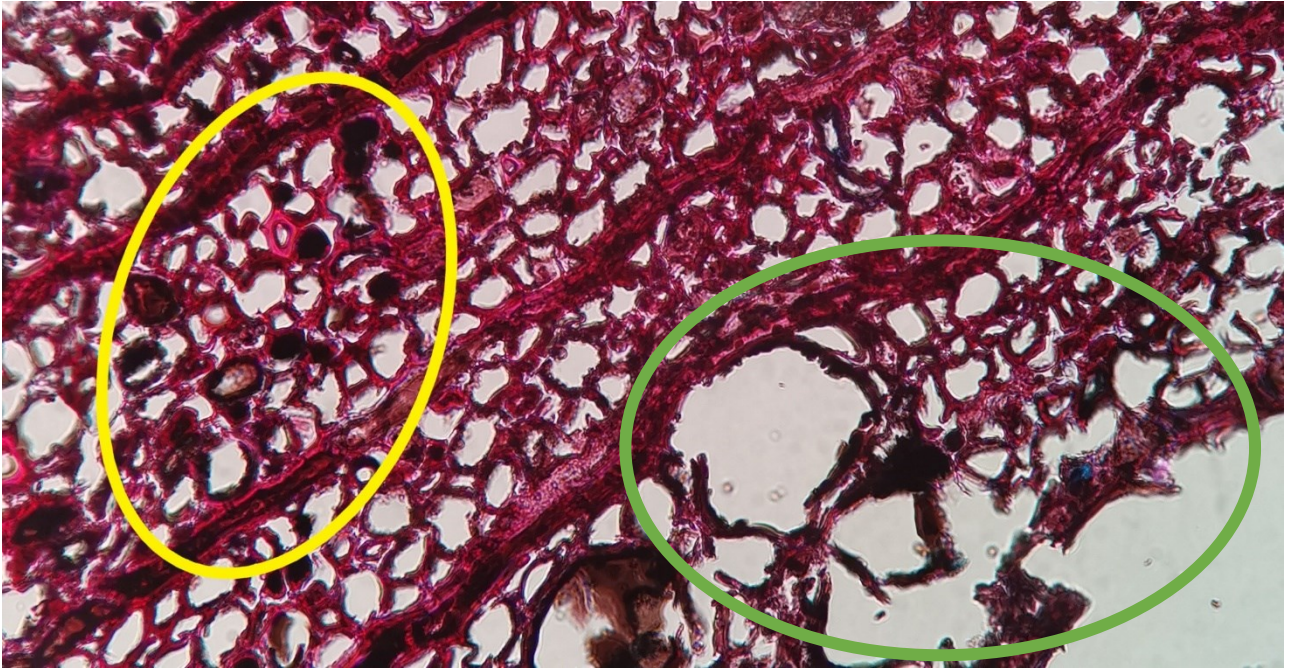


Figura 2.2. Sezione trasversale in cui si può notare sia la porzione esterna degradata con assottigliamento e rottura delle pareti (cerchio verde), sia l'inclusione di materiale probabilmente minerale all'interno dei lumi cellulari (cerchio giallo). Foto di Maraschin P.

Il degrado del legno archeologico decresce dall'esterno verso l'interno (Urso et. al. 2017). Ciò viene indicato anche dai valori di contenuto massimo d'acqua, contenuto delle ceneri e densità basale.

2.6 Collocazione commerciale

Il legno di quercia subfossile è un legno molto raro e unico. Avendo una bella quanto particolare colorazione ha una sua collocazione commerciale di pregio e si trova in commercio sia nel mercato nazionale che in quello internazionale.

Alla quercia subfossile vengono attribuiti vari nomi commerciali: quercia di palude, rovere di palude, quercia affogata, bog oak.

Vi sono numerose aziende che commerciano direttamente i tronchi prelevati nei fiumi o nelle torbiere ed altre che vendono il prodotto lavorato a diversi livelli.

Per garantire l'autenticità del prodotto è importante che venga fornito un certificato di datazione al radiocarbonio che assicura l'età del legno e ne fa aumentare il valore economico

Di seguito si riportano alcune fra le più importanti aziende che commerciano questo tipo di legno.

COMMERCIO EUROPEO



- **Bois Antique**

È un'azienda con sede in Belgio, ed è un fornitore diretto di legno di recupero invecchiato naturalmente. La vasta gamma di prodotti che offre l'azienda è disponibile per clienti privati e professionisti nel Regno Unito e in tutta Europa. La missione che si pongono è quella di recuperare e utilizzare il legno antico recuperato da vecchi fienili e antichi casali. I prodotti che offrono sono piastrelle in legno, rivestimenti, mobili su misura, tavoli in legno, pavimenti, parquet, pannelli, traverse. Tra i vari tipi di legno che l'azienda offre vi è quello di quercia affogata, venduto in lastre, tronchi o in progetti personalizzati (Figura 2.3).

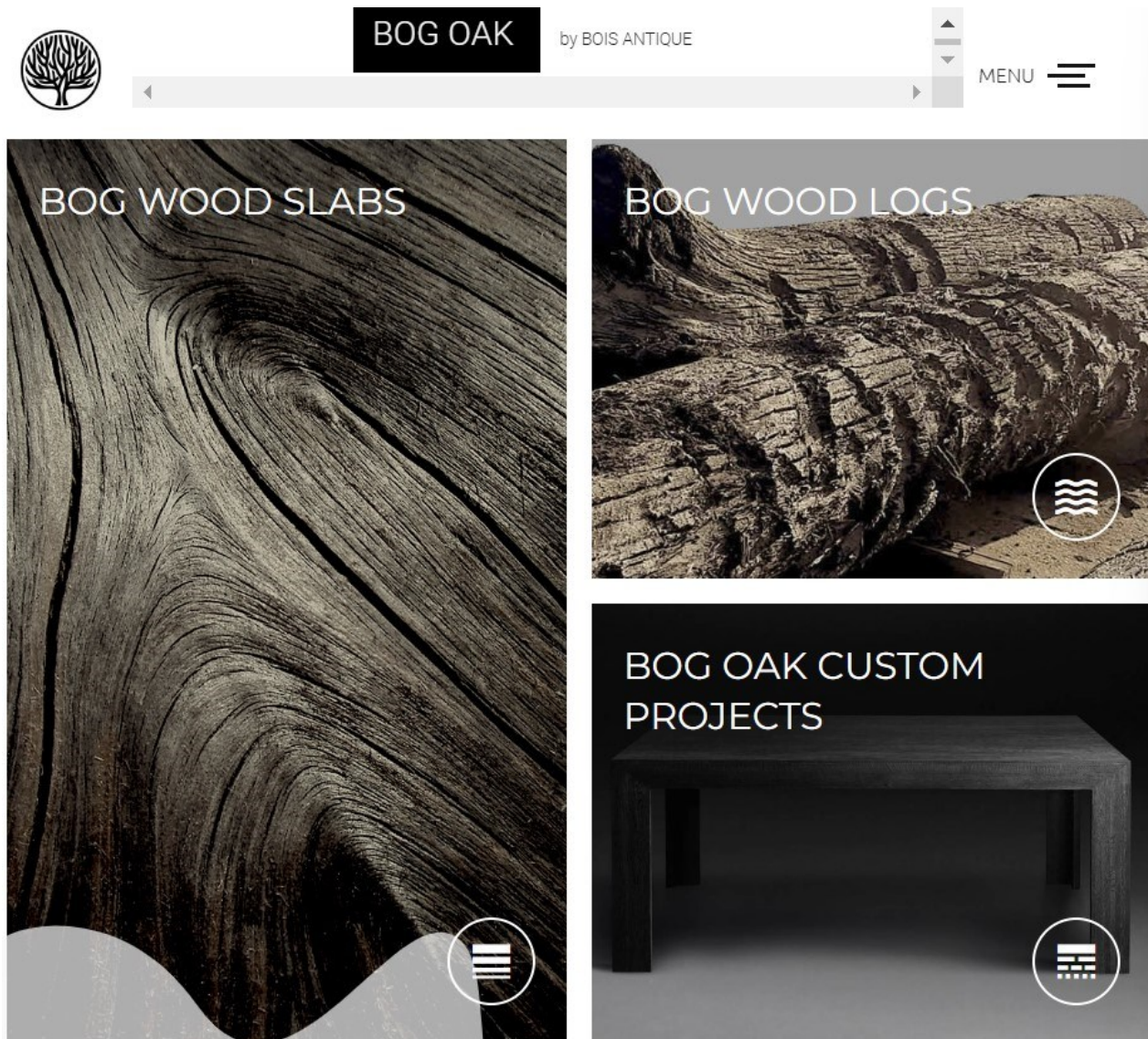


Figura 2.3. Tipologia di prodotti di bog oak offerti dall'azienda BoisAntique.

Nella branca del commercio di legno affogato l'azienda fornisce materiali in legno di palude di alta qualità accompagnati da un certificato di datazione al carbonio. Da molti anni fornisce lastre, tranciati e traverse di rovere di palude di alta qualità, pronti per essere utilizzati per creare prodotti finiti unici. Bois Antique è dotata delle più moderne tecnologie e macchinari professionali, per garantire solo materiali di torbiera di alta qualità.

I tronchi di legno affogato vengono recuperati dal fondo delle torbiere, dei fiumi e dei laghi e hanno un'età compresa tra 1000 e 8000 anni. L'azienda estrae il legno scavando le paludi e i fiumi come il Danubio e il Mures. La maggior parte delle torbiere trovate avevano un'età datata al carbonio compresa tra 3000 e 5000 anni. La dimensione dei tronchi è sempre sorprendente, in quanto hanno trovato tronchi con diametri anche di 180 cm.

Ogni tronco di quercia di palude viene accuratamente selezionato, secondo i requisiti di qualità dell'azienda e tagliato nello spessore richiesto dai clienti per ottenere le lastre, che dopo un controllo di qualità vengono inserite negli essiccatoi controllati. Viene determinato il tempo di asciugatura forzata in funzione della percentuale di umidità del legno (Figura 2.4).

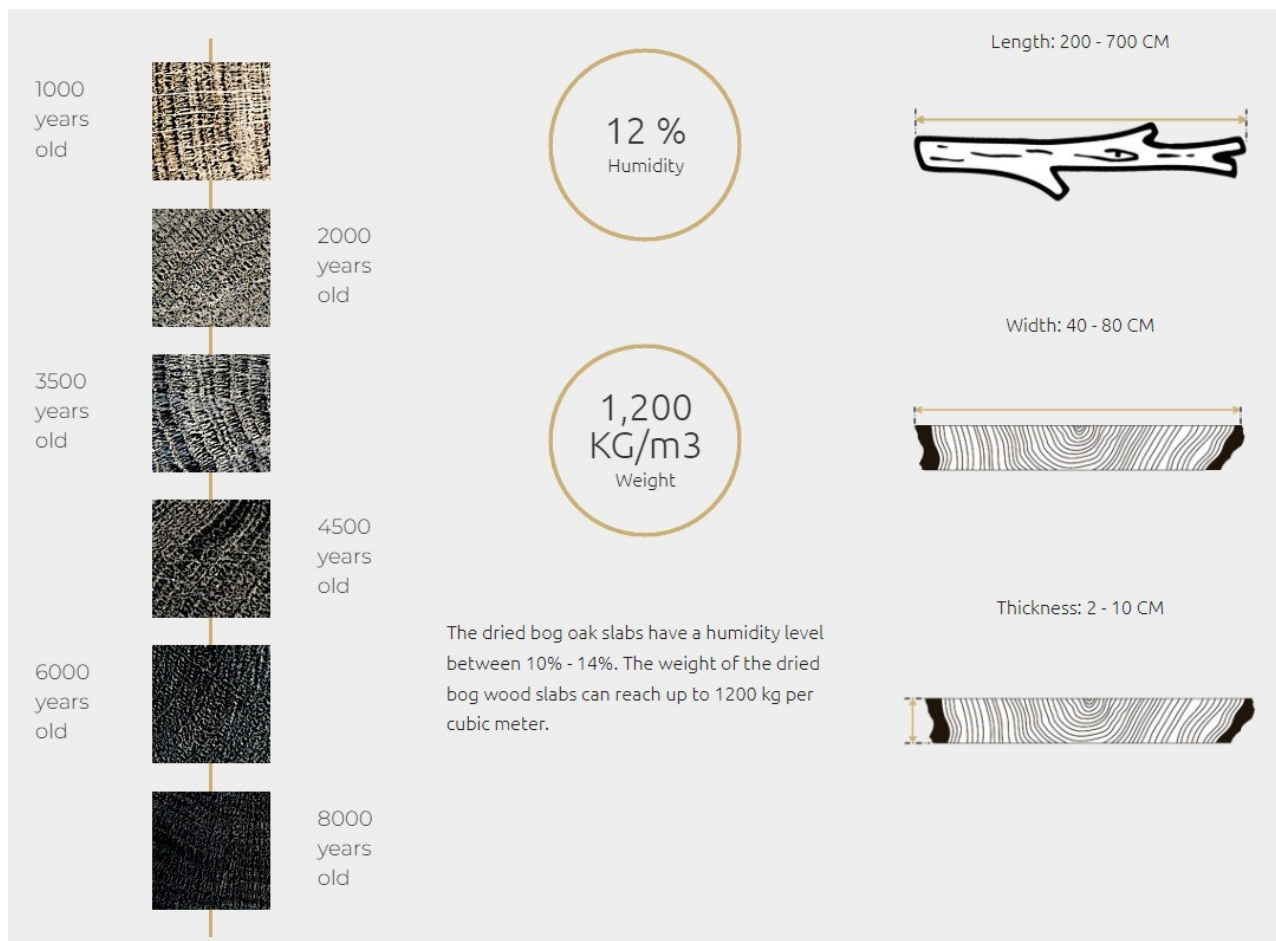


Figura 2.4. Descrizione del materiale del quale sono composte le lastre.

Per quanto riguarda i progetti personalizzati con legno di rovere affogato l'azienda offre: pavimentazioni, mobili e pannelli. I pannelli sono unici perché creati appositamente in base al progetto richiesto: i pezzi di legno vengono assemblati con una speciale tecnica creando un mix di elementi naturali impossibile da replicare con altri tipi di legno (Figura 2.5).

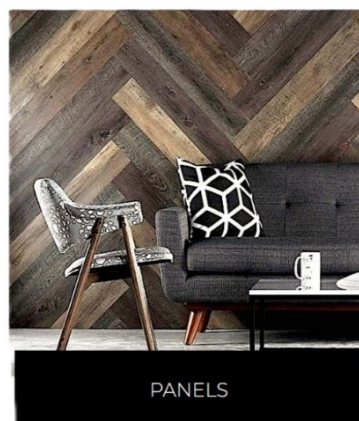


Figura 2.5. Tipi di prodotti lavorati che offre l'azienda BoisAntique.

ebonyandco

- **Ebonyandco**

È un'impresa che realizza elementi di lusso in legno duro, tra cui pavimenti, rivestimenti murali, rivestimenti, terrazze e parquet. Si occupa di approvvigionamento, fresatura e finitura artigianale su misura dei legni più pregiati del mondo. Negli ultimi 3 decenni ha fornito i suoi prodotti ad oltre 45 Paesi in tutto il mondo. La sede aziendale si trova in Irlanda, a Dublino, ma hanno sedi e showroom sparsi in tantissime città del mondo (Amsterdam, Dubai, Cipro, Mosca, New York, Parigi, Londra).

I legni che commerciano sono vari, ma sempre molto pregiati: mogano africano, ciliegio americano, acero americano, noce americano, rovere bianco americano e la rovere di palude (Figura 2.6).

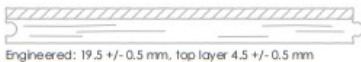


True Bog Oak Ultramatt Hardwax

Pre-finished by hand giving the Oak a timeless deep black-greenish Oriental patina. Before we apply a hard-wearing lacquer, the Oak is deeply oil-stained to protect and keep this true look over longer time. This finish works particularly well on uniform Oak plank patterns for floor and wall. Consider our Rift & Quarter cut Oak for beautiful harmony.

Species	Continental (European) Oak From mineralized logs
Finish*	Hardwax-Oil
Origin	Reclaimed European Oak (Quercus Robur) that grew several thousands of years ago in dense dark old-growth forests.
Maintenance	This finish can be cleaned regularly using our Natural Oil Soap. This feeds and strengthens the surface over time and allows you to adjust the patina to your requirements.
Spot repair and Refinish	Professional maintenance with our Maintenance Oil will make this finish richer and protect it over time. Spot repairs are possible with our touch-up kit.

Structure**



Engineered: 19.5 +/- 0.5 mm, top layer 4.5 +/- 0.5 mm



Color variation

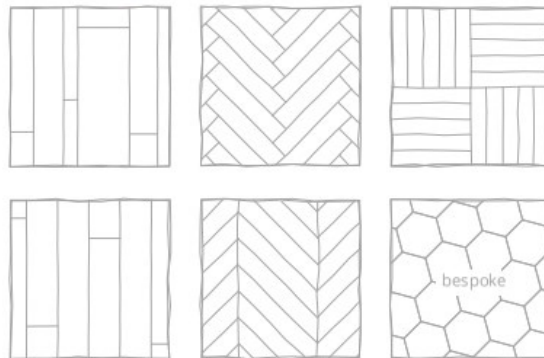


Traffic resistance



Patina change in time

Recommended patterns



*] Whilst our sampling and photography endeavours to show grain and colour as natural as possible, a sample or photo are never an exact representation of an entire floor. Wood being a natural material, variation in colour and grain exists, floors may change appearance over time through exposure to light, wear and tear and maintenance.

**] Prefinishing of solid floors may be subject to more strict recommendations for limited board dimensions and climate control. Read further on the next page.

Figura 2.6. Descrizione del legno di quercia affogata che offre l'azienda ebonyandco.

AntiqueBogOak

- **AntiqueBogOak**

È un'azienda situata in Ucraina che estrae tronchi di querce palustri dal 2002, nata dalla voglia di alcuni giovani di seguire i passi dei loro antenati, che la estraevano già nel passato. Dal 2002 al 2006 hanno estratto circa 100m³ di querce palustri e dal 2007 ne hanno estratti, segati ed essiccati molti di più. (Figura 2.7). Nel 2014 sono entrati nel mercato mondiale, e nel 2015 hanno iniziato a fornire i loro prodotti in tutti i continenti (grezzi per realizzare penne, manici di coltelli, pipe per fumare, gioielli, portachiavi e molto altro). Dal 2018 hanno avviato la produzione di prodotti unici (Figura 2.8). Ad oggi, vendono oltre a lastre, tavole (con bordo naturale o non), rotelle e nodi anche piccoli oggetti come portachiavi e supporti per telefono. Forniscono anche certificati di datazioni al radiocarbonio (Figura 2.9).

Il loro negozio online si trova su Etsy.



Figura 2.7. Estrazione dei tronchi di quercia subfossile da parte dell'azienda AntiqueBogOak.



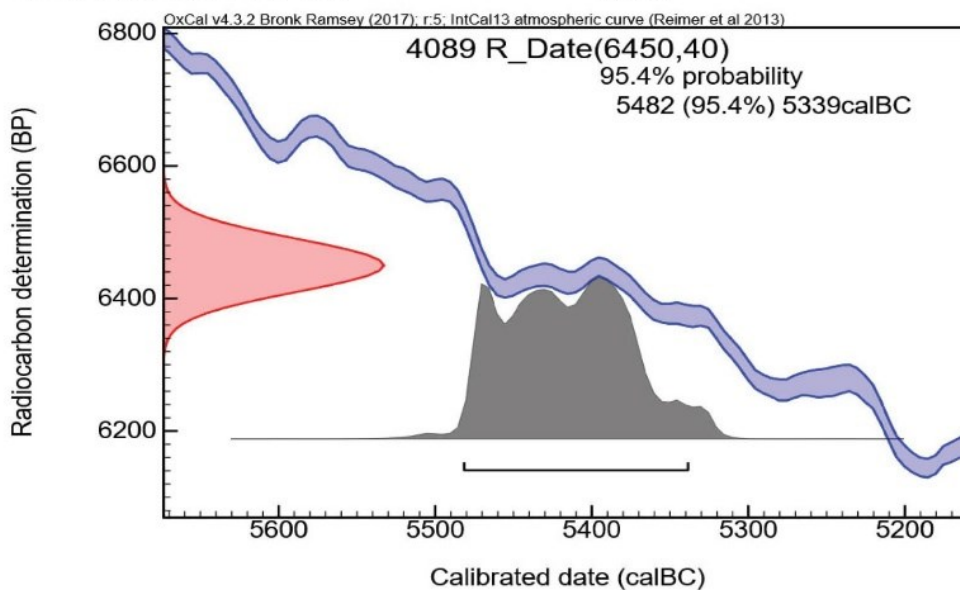
Figura 2.8. Prodotti lavorati che offre l'azienda AntiqueBogOak.



Conventional radio carbon dating service laboratory. Kiev.

Радіовуглецева дата (Radiocarbon date)

Замовник (Customer)	Antique Bog Oak Volodymyr Baranenko www.antiquebogoak.com	
Зразок (Sample):	Морський дуб (Bog oak)	
Код лабораторії (lab code)	ИМЕ-4089	
Маса бензолу (benzene mass)	3.740	грам (g)
Час вимірювання (counting time)	2500	хвилин (minutes)
Швидкість лічення проби (Sample count rate)	15.928	СРМ
Фон (імп./хв.) (Background count rate)	0.506	СРМ
Ефективність реєстрації (counting efficiency) :	73.51%	Процент (percent)
Радіовуглецева дата (Radiocarbon date)	6450 ± 40 BP	
Калібрована дата (Calibrated date)	Below	



Michael G. Buzinny

27.10.2020

mbuz@ukr.net
<http://c14.kiev.ua>

Figura 2.9. Certificato di datazione al radiocarbonio che offre l'azienda AntiqueBogOak.

2.6.1 Costi

Il legno di quercia subfossile ha un valore variabile, che dipende dal grado di lavorazione. Essendo un materiale così pregiato e difficile da estrarre il suo costo è abbastanza elevato. Per una bassa lavorazione, quindi per la vendita di tavolame o travi da parte di grosse aziende, il costo si aggira intorno ai 2500€/m³. Per una lavorazione più lunga, per vendita al dettaglio di rotelle, piccole travi e oggetti vari si arriva anche a 5000-7000€/m³.

Generalmente i tronchi grezzi provengono dall'Europa orientale (Repubblica Ceca, Russia, Ucraina) e da quei paesi le cui pianure in passato erano coperte da foreste interessate da alluvioni frequenti.

Confrontandolo con il legno di quercia recente, considerato uno dei legni nobili per eccellenza, il costo di riferimento è 2000-2500 €/m³.

Di seguito alcune immagini della grande varietà di prodotti di quercia subfossile.

- **Tronchi**

Nella figura 2.10 un intero tronco di quercia subfossile messo in vendita dall'azienda BoisAntique.



Figura 2.10. Tronco di legno di quercia subfossile.

- **Lastre**

Nella figura 2.11 una lastra di legno di quercia subfossile venduta dall'azienda BoisAntique.



Figura 2.11. Lastra di quercia subfossile venduta dall'azienda BoisAntique.

Nella figura 2.12 una lastra delle dimensioni di 1500mm*470mm*40mm in vendita su Etsy; con un costo pari a 1130€.



Figura 2.12. Lastra di quercia di palude in vendita su Etsy.

- **Assi**

Nella figura 2.13 un'assicella di legno di quercia subfossile venduta su Etsy dall'azienda AntiqueBogOakBlanks.

Le dimensioni sono pari a 24mm*105mm*270mm, l'età di 3720 anni. Ha un costo pari a 40€.



Figura 2.13. Asse di legno di quercia subfossile in vendita su Etsy.(AntiqueBogOakBlanks).

Confronto con quercia recente



Figura 2.14a. Asse di legno di quercia subfossile



Figura 2.14b. Asse di legno di quercia recente.

Entrambe le assi hanno più o meno la stessa grandezza: $\pm 100 \times 300$ mm di diametro e $\pm 25-30$ mm di spessore.

La prima asse di legno di quercia subfossile (Figura 2.14a) ha un costo pari a 40€, mentre il costo dell'asse di quercia recente (Figura 2.14b) è pari a 10€.

In questo caso il prezzo del legno di quercia subfossile è quattro volte superiore a quello di quercia recente.

- **Rotelle**

Nella figura 2.15 2 rotelle da 234g del costo di 15€ ciascuna, con età stimata di 2840 anni.



Figura 2.15. Due rotelle di quercia subfossile in vendita su Etsy (AntiqueBogOakBlanks).

Confronto con la quercia recente



Figura 2.16 a. Rotella di legno di quercia subfossile. Figura 2.16 b. Rotella di legno di quercia recente.

Entrambe le rotelle hanno più o meno la stessa grandezza: $\pm 17-25$ cm di diametro e $\pm 2,5$ cm di spessore.

La prima rotella di legno di quercia subfossile (Figura 2.16a) ha un costo pari a 63€; mentre il costo della seconda rotella di legno di quercia recente (Figura 2.16b) è pari a 23€.

In questo caso il prezzo del legno di quercia subfossile è tre volte superiore a quello di quercia recente.

2.7 Utilizzi

Da sempre l'uomo si è servito della materia prima legno come combustibile, materiale da costruzione e per mille altri usi primo dei quali fu senza dubbio la costruzione di manici per utensili o rudimentali armi. E poiché l'esperienza è la migliore maestra, ben presto si cominciò a rilevare la maggiore o minore idoneità delle varie specie per determinati impieghi. Anche il modo di lavorare tali materiali era ben noto, se si pensa che già nel periodo egiziano si riusciva ad ottenere sottili piallacci dai legnami di maggior pregio. Altrettanto note erano le caratteristiche di questo materiale, il suo "muoversi" a seconda del variare del contenuto di umidità e la necessità di adeguati periodi di stagionatura prima della sua lavorazione e posa in opera. (Nardi Berti, 2003)



Figura 2.17. Trono in legno di quercia subfossile.

Storia

È difficile dire quando e dove fu scoperta per la prima volta la quercia palustre, ma una delle leggende racconta che le mura della fortezza costruita dal duca Rurik sulla riva del lago Ilmen nel IX secolo d.C. erano fatte di quercia palustre ed è considerata una delle prime fortezze dell'antica Russia. Inoltre, ci sono alcuni fatti innegabili che anche i troni dei sovrani imperiali erano fatti di quercia palustre (il trono del re britannico Yakov II o il trono di Pietro I furono donati loro dai maestri inglesi). Da tempo immemorabile sono stati creati mobili e souvenir che oggi sono conservati nei musei e nei negozi di antiquariato di tutto il mondo. Anche la camera da letto di Luigi XIV, gli armadi del cardinale Mazarini, gli appartamenti dello straordinario palazzo in legno del conte Sheremetiev sono stati realizzati in quercia di palude. La famosa tavola rotonda di Re Artù fu realizzata in massello di quercia nera su sua richiesta. La quercia di palude veniva utilizzata per la decorazione dei mobili e dei

parquet più costosi nei palazzi reali. Gabinetti, poltrone e segretari sono stati presentati in occasione

di giubilei e nomine ufficiali. Scatole, forzieri e statuette venivano donate alle dame in occasioni come i matrimoni e gli onomastici.

(<https://web.archive.org/web/20160923224651/http://royaloakglobal.com/BogOakHistory.aspx>)

Nella figura 2.17 un grande trono in rovere nero intagliato con montanti, gambe e barella a doppia torsione, il pannello posteriore finemente intagliato con viticci di vite con uva, uccelli e teste di putti alati, sormontato da una corona; braccia intagliate che terminano con teste di leone. Questa sedia fu esposta alla Grande Esposizione del 1851 dalla ditta Curran & Sons di Lisburn, nella contea di Antrim, in Irlanda. Presumibilmente successivamente presentato alla regina Vittoria.

(<https://www.rct.uk/collection/28295/throne-chair>)

Tarsie lignee

Il legno di base usato prevalentemente per accogliere la tarsia era il noce, mentre svariate erano le specie legnose usate per comporre i disegni. L'ebano era il legno scuro per eccellenza, sostituito sovente e più economicamente dal pero annerito o soprattutto in Toscana, dalla quercia "annegata" ritrovata durante scavi nei greti dei fiumi. (Nardi Berti, 2003).

È da notare come il colore nero diventi talmente intenso da nascondere la venatura marcata tipica del legno di rovere. In altri contesti, il legno di rovere al naturale trova invece utilizzo proprio per la marcata venatura oltre che per i raggi grandi, particolarmente evidenti nei tagli radiali. La combinazione di queste due peculiarità, ad andamento perpendicolare l'una rispetto all'altra nelle sezioni radiali, è stata utilizzata spesso per dare l'impressione della struttura incrociata dei corsi di tegole sui tetti.

Nella figura 2.18 un esempio di tarsie lignee nello studiolo di Federico da Montefeltro, a Urbino.



Figura 2.18. Tarsie lignee nello studiolo di Federico da Montefeltro di Urbino.

<https://gubbiostudioloblog.unibo.it/?p=53>

Ad oggi il legno di quercia subfossile, essendo molto apprezzato per la sua durezza e durevolezza, oltre che per il suo gradevole colore scuro viene utilizzato per realizzare anche pipe per tabacco, manici per coltelli e ornamenti vari.

Produzione di pipe.

Uno dei mercati di nicchia più importanti che si occupa della lavorazione di questo particolare tipo di legno riguarda la produzione di pipe. Il legno di quercia subfossile, essendo stato lavato dall'acqua del fiume e fatto precipitare con minerali, è un materiale ideale per la loro costruzione. La presenza di minerali al suo interno lo rende particolarmente resistente alla combustione, e lavaggi millenari hanno cancellato ogni traccia di tannini e resine, trasformandolo così in un legno perfetto perché conferisce un gusto completamente neutro durante la fumata del tabacco. È però difficile da intagliare, essendo alcune parti flessibili e altre estremamente dure. Inoltre, la quantità di difetti nascosti all'interno del materiale è enorme, e può causare la rottura del tubo della pipa durante le fasi finali della produzione vanificando così molte ore di lavoro. Nonostante ciò, il pezzo finito risulta essere di rara bellezza, unico.

Di seguito vengono elencate alcune aziende e piccoli imprenditori che producono questo particolare tipo di oggetto.

EST. 1865
Peterson[®]
OF DUBLIN

- **Peterson Pipe.**

Il marchio di pipe Peterson è uno dei più riconosciuti al mondo. Producono pipe come azienda in Irlanda dal XIX secolo. Nella loro grande varietà di prodotti ci sono quelle prodotte con la quercia di palude. Alcune

delle pipe più antiche prodotte nella figura 2.19.



Figura 2.19. Pipe di legno di quercia subfossile del XIX secolo.



Davorin Morta Pipes

- **Davorin Morta Pipes**

Ad oggi c'è un numero relativamente piccolo di produttori di pipe che utilizzano questo particolare materiale: acquistare materiale di qualità risulta complicato, la sua lavorazione è difficoltosa essendoci una quota di scarto relativamente alta. Davorin è uno di questi, nato e vissuto in Croazia, e impegnato nella costruzione di pipe da 28 anni. Alcune delle sue creazioni nella figura 2.20.



Figura 2.20. Vari tipi di pipe in morta vendute da Davorin Morta Pipes.

Produzione di coltelli

Un altro particolare tipo di lavorazione della quercia subfossile riguarda la produzione di manici di coltelli. Di seguito alcuni artigiani che scelgono questo legno per dare unicità ai loro coltelli fatti a mano.



- **Sirius Knives**

È un artigiano inglese che produce coltelli solo con i migliori materiali: sia le lame, sia le parti in legno sono accuratamente selezionate per garantire qualità e unicità. Nella figura 2.21 una delle sue produzioni, con un costo pari a 85€.



Figura 2.21. Coltello con manico in quercia subfossile venduto da Sirius Knives.

- **SgianAlba**

Artigiano del Regno Unito. Nella figura 2.22 una delle sue creazioni, con un costo pari a 170€.



Figura 2.22. Coltello con manico in rovere di palude scozzese venduto da SgianAlba.

2.8 Imitazioni

Con i termini “imitare” si intende riprodurre un bene in maniera tale che sembri uguale all’originale. L’imitazione è un fenomeno antichissimo che riguarda molti settori merceologici.

L’imitazione non è sempre evidente, e per evitare di acquistare inconsapevolmente merce contraffatta è importante evitare i prodotti troppo economici e rivolgersi sempre a venditori autorizzati che possono fornire documentazione sul prodotto.

Un sistema di imitazione del legno di quercia subfossile è quello della “coloritura” che si può definire più correttamente una reazione chimica. Per ottenere un risultato analogo al legno originale, si immerge il legno di quercia in un recipiente contenente ammoniaca, coprendolo con della plastica, che isola il recipiente. Più passaggi di ammoniaca vengono fatti, più la quercia diventerà nera; dopo alcuni giorni verrà estratta e fatta asciugare. Tale reazione si ha perché l’ammoniaca reagisce con i tannini del legno, prendendo la colorazione nera.

Su Alibaba, sito di e-commerce cinese che permette di acquistare prodotti di vario genere all’ingrosso, si trova legno nero denominato “smoked oak” e viene venduto a $\pm 4\text{€}$ al m^2 (spessore 1cm), prezzo decisamente troppo basso per essere legno di quercia affogata (Figura 2.23).



Figura 2.23. “Smoked Oak” venduto su AliBaba.

3. CONCLUSIONI

In questo elaborato di tesi vengono messi a confronto i dati analizzati negli ultimi anni sui ritrovamenti italiani di quercia subfossile (nel canale Piavon e nel fiume Zero) con quelli della letteratura.

Riguardo la densità basale, ovvero l'espressione della quantità di materia del volume fresco, risulta essere maggiore quella del legno subfossile. Generalmente nei legni degradati ci si aspetta che diminuisca, perché le pareti cellulari vengono degradate da funghi e batteri; ma nella quercia subfossile questo non succede perché anche se le pareti vengono consumate, all'interno del legno vi si inseriscono minerali, che fanno variare positivamente il valore di densità basale.

La densità basale residua indica una perdita di materiale cellulare: quella dei tronchi Zero e Piavon risulta essere minore a quella della quercia recente. Le parti esterne più degradate hanno RBd inferiore rispetto alle parti interne meno degradate.

In letteratura il contenuto idrico massimo risulta aumentare all'aumentare del deterioramento delle pareti cellulari, perché assottigliandosi le pareti, aumenterebbe la porosità e quindi il contenuto massimo di acqua. Nei tronchi italiani analizzati il MWC risulta diminuire, probabilmente a causa dei materiali inorganici che si sono insediati nel legno limitando lo spazio disponibile per l'acqua.

Per quanto riguarda i cambiamenti dimensionali, a seguito della perdita di acqua, il legno subfossile ha un ritiro pari a circa il doppio di quello della quercia attuale. Questo assunto viene confermato anche nelle tesi analizzate.

Parlando del colore invece, il cambiamento della tonalità del legno in nero è causato dai componenti ferrici disciolti nell'acqua che reagiscono con i tannini presenti nel rovere. L'intensità del colore scuro è determinata principalmente dal tempo di deposizione del legno e dalla natura dei sedimenti, e diminuisce gradualmente dall'esterno verso l'interno.

Oltre ai cambiamenti di tonalità si verificano anche modificazioni nelle proprietà meccaniche e chimiche.

In tutti i casi le proprietà meccaniche della quercia subfossile sono inferiori a quelle della quercia attuale, infatti, la resistenza alla compressione parallela alla fibratura è circa 70 - 80% di quella della quercia recente e in alcuni casi scende al 50%.

L'alterazione delle caratteristiche meccaniche è causata da diversi fattori, tra cui la degradazione biologica che comporta una modifica della struttura del legno, il mutamento della densità nel tempo,

che implica una variazione di tutte le proprietà ad essa collegate e infine, il minore contenuto di emicellulose. Queste ultime si legano sia alla cellulosa che alla lignina e, quando vengono rimosse, si libera spazio che viene occupato dalle molecole d'acqua con il conseguente aumento dei ritiri.

Relativamente alla durezza, ossia la capacità del materiale di resistere alla penetrazione di un altro oggetto la letteratura riporta che i valori di durezza della quercia subfossile sono minori di quelli della quercia attuale. Negli studi italiani invece risulta che la durezza della quercia subfossile sia maggiore rispetto a quella recente. In generale la sezione trasversale risulta la più dura e difficile da penetrare, mentre la sezione radiale quella più facilmente penetrabile. Questo avviene per via della direzione delle fibre, più resistenti quando la forza viene applicata in direzione parallela alle fibre. La durezza nelle direzioni trasversali del legno subfossile ammonta a circa 45-65% della durezza in direzione longitudinale, mentre la durezza nelle direzioni trasversali del legno recente ammonta a circa 70-80% della durezza nella direzione longitudinale.

È stata inoltre confermata una forte correlazione positiva tra durezza e contenuto di ceneri. Risulta esserci un maggiore contenuto di ceneri nel legno subfossile rispetto a quello recente. All'interno dello stesso legno la quantità di ceneri è maggiore nel legno più degradato.

Per quanto riguarda la composizione chimica, il legno subfossile rispetto al legno recente presenta un minor quantitativo di emicellulosa in quanto, queste ultime sono solubili e in ambiente acquoso vengono facilmente eluite (Kolář e Rybníček, 2010). Inoltre, l'elemento più abbondante nel legno subfossile è il ferro (principale causa della modifica del colore), seguito dal calcio.

Relativamente al degrado, esso decresce dall'esterno verso l'interno.

4. BIBLIOGRAFIA

- Antico Gallina M. 2011, Archeologia del legno; uso, tecnologia, continuità in una ricerca pluridisciplinare, Milano.
- Baar, J., Paschová, Z., Hofmann, T., Kolář, T., Koch, G., Saake, B., & Rademacher, P. (2019). Natural durability of subfossil oak: wood chemical composition changes through the ages. *Holzforschung*, 74(1), 47-59.
- Babiński, L., Izdebska-Mucha, D., & Waliszewska, B. (2014). Evaluation of the state of preservation of waterlogged archaeological wood based on its physical properties: basic density vs. wood substance density. *Journal of Archaeological Science*, 46, 372-383.
- Bednar H. e Fengel D. 1974. Physikalische, chemische und strukturelle Eigenschaft en von regentem und subfossilem Eichenholz. *Holz als Roh und Werkstoff*, 32: 99–107
- Bolge L. 2021. Bog oak: caratteristiche e caratterizzazione fisico-meccanica. Relatore Urso T., Correlatore Zanetti M. Dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Capretti, C., Macchioni, N., Pizzo, B., Galotta, G., Giachi, G., & Giampaola, D. (2008). The characterization of waterlogged archaeological wood: the three Roman ships found in Naples (Italy). *Archaeometry*, 50(5), 855-876.
- Donati G. E Genovese V. E. 2013 (a cura di), Forme del legno; intagli e tarsie fra Gotico e Rinascimento, *Edizioni della Normale*, Pisa.
- Dietz P. 1975. Dichte und Rindengehalt von Industrieholz Density and bark content of industrial raw wood. *Holz als Roh-Werkst*, 33 (4): 135–14.
- Dvorská J. e Vít J. 2002. Dendrochronologické a radiometrické zpracování subfossilních kmenů z Mohelnice. In: 8. Kvartér 2002. Brno, in Anonymus (ed.). p. 22–25. (Citato da Kolář T.e Rybníček M. 2010. Physical and mechanical properties of Subfossil Oak (*Quercus*, SP.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 123–134)
- Florian M-L.E. (1990). Scope and History of Archaeological Wood. *Archeological Wood*, 3-32. American Chemical Society.

Ghavidel, A., Bak, M., Hofmann, T., Vasilache, V., & Sandu, I. (2021). Evaluation of some wood-water relations and chemometric characteristics of recent oak and archaeological oak wood (*Quercus Robur*) with archaeometric value. *Journal of Cultural Heritage*, 54 (5): 1121–1137.

Govorčin S. e Sinković T. 1995. Some physical and mechanical properties of the Bednja abonos. *Drvna–Industrija*, 46 (1): 9–14. ISSN 0012- 6772 (Citato da Kolář T.e Rybníček M. 2010. Physical and mechanical properties of Subfossil Oak (*Quercus*, SP.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 123–134)

Kalicki, T., & Krąpiec, M. (1995). Problems of dating alluvium using buried subfossil tree trunks: lessons from the 'black oaks' of the Vistula Valley, Central Europe. *The Holocene*, 5(2), 243-250.

Klaassen R. K. W. M., 2008: Bacterial decay in wooden foundation piles: patterns and causes. A study on historical pile foundations in the Nether lands. *International Biodeterioration and Biodegradation*, Vol. 61, No. 1, p. 45–60.

Kolář T.e Rybníček M. 2010. Physical and mechanical properties of Subfossil Oak (*Quercus*, SP.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 123– 134.

Kolář, T., & Rybníček, M. (2011). Dendrochronological and radiocarbon dating of subfossil wood from the Morava River basin. *Geochronometria*, 38, 155-161.

Lindsay, R., Birnie, R., Clough, J., 2014. Peat Bog Ecosystems: Key Definitions. IUCN UK Committee Peatland Programme BriBr Briefing Note No 1. Available at: www.iucnuk-peatlandprogramme.org; consulted on 10/11/2021.

Mańkowski, P., Kozakiewicz, P., Zielenkiewicz, T., 2013: Investigations of iron content in fossil oak from a medieval settlement in Płońsk. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* No 83: 201-205.

Mańkowski P., Kozakiewicz P., Drożdżek M., Warsaw, 2015, The selected properties of fossil oak wood from medieval burgh in płońsk. University of Life Sciences - Sggw, Faculty of Wood Technology Department of Wood Science and Wood Preservation Warsaw, Poland. 61(2): 287–298.

Maraschin P., 2019. Caratterizzazione del legno di un tronco subfossile rinvenuto nel letto del fiume Zero (VE). Relatore Urso T., Correlatore Zanetti M. Dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.

Matovič, A., 1993: Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva. 1. edition. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně. 212 p. ISBN 80– 7157–086–9 (Citato da Kolář T.e Rybníček

- M. 2010. Physical and mechanical properties of Subfossil Oak (*Quercus*, SP.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 123–134
- Meneghello C., 2022. Legno subfossile: caratterizzazione fisico meccanica e chimica di due tronchi rinvenuti nella pianura veneta. Relatore Urso T., Correlatore Zanetti M. Dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova, Legnaro.
- Meneghello C., Maraschin P., Zanetti M., Urso T., 2022. Bog oak: Characteristics and characterization of a log from the Venetian Plain (Italy). *Journal of Archaeological Science: Reports* (43).
- Nardi Berti R. e Berti S. 2003. Principali specie legnose impiegate nelle strutture e nei manufatti del passato e criteri per il loro riconoscimento. In *Atti Congresso Nazionale Legno nel Restauro e Restauro del Legno*. Vol. 2: 45-55. Firenze, 30 novembre - 3 dicembre 1983. Milano: Palutan Editrice.
- Nardi Berti, R., 2006. La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego. In: Berti, S., Fioravanti, M., Macchioni, N. (Eds.), CNR — IVALSA, Firenze
- Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., Babiak, M., 1997: Struktura a vlastnosti dreva (Citato da Kolář T.e Rybníček M. 2010. Physical and mechanical properties of Subfossil Oak (*Quercus*, SP.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 123–134).
- Reinprecht L., Kúdela J. e Čunderlík I. 1988. Vlastnosti subfosílného dubového dreva z oblasti Zelená voda. *Drevársky výskum*, 117: 79– 90. (Citato da Kolář T.e Rybníček M. 2010. Physical and mechanical properties of Subfossil Oak (*Quercus*, SP.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 123–134).
- Romagnoli, M., Galotta, G., Antonelli, F., Sidoti, G., Humar, M., Krzysnik, D., Cufar, K., Davidde, P.B., 2018. Micro-morphological, physical and thermogravimetric analyses of waterlogged archaeological wood from the prehistoric village of Gran Carro (Lake Bolsena-Italy). *J. Culture Heritage* 33, 30–38.
- Schweingruber F. H. e Kaennel M. 1995. Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt.
- Tsoumis G. 1968. Wood as raw material. Source, structure, chemical composition, growth, degradation and identification. Pergamon press Inc, New York.
- Urso T., Martinelli N., Pignatelli O., E Scortegagna T. 2017, The Subfossil Trunk of Chiarano (TV), *Conservation Science in Cultural Heritage*, 15(2): 41–52.

Van Bürck U., Wagner F. E. e Lerf A. 2012. Mössbauer studies of subfossil oak. *Hyperfine Interact* 208: 105–110.

Wagenführ R. 2000. Holzatlas. 5. edition. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag. 707 p. ISBN 3-446-21390-2 (Citato da Kolář T. e Rybníček M. 2010. Physical and mechanical properties of Subfossil Oak (*Quercus*, SP.) wood. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 58(4): 123–134).

Walker J. C. F., Butterfield B. G., Langrish T. A. G., Harris J. M. e Uprichard J. M. 1993. Primary Wood Processing. Principles and practice. Chapman e Hall, London.

5. SITOGRAFIA

<https://en.wikipedia.org/wiki/Bog-wood>

<https://www.bbc.com/news/uk-england-norfolk-19722595>

<https://web.archive.org/web/20160923224651/http://royaloakglobal.com/BogOakHistory.aspx>

<https://www.mastrosanti.com/METODI/procedimentiemetodi5.htm>

<https://gubbiostudioloblog.unibo.it/?p=53>

<https://bogoak.fr/bogwood-logs/>

<https://bogoak.fr/bogwood-slabs/>

<https://boisantique.eu/en/>

<https://bogoak.fr/>

<https://www.ebonyandco.com/>

<https://antiquebogoak.com/>

<https://www.etsy.com/shop/AntiqueBogOakBlanks>

[https://www.etsy.com/it/listing/1579970736/lastra-curva-di-quercia-di-palude-da-](https://www.etsy.com/it/listing/1579970736/lastra-curva-di-quercia-di-palude-da-60?ref=sold_out_ad-5&frs=1&sts=1&plkey=1d07a466281c77a1357b71a7931e54aa09d6861a%3A1579970736)

[60?ref=sold_out_ad-](https://www.etsy.com/it/listing/1579970736/lastra-curva-di-quercia-di-palude-da-60?ref=sold_out_ad-5&frs=1&sts=1&plkey=1d07a466281c77a1357b71a7931e54aa09d6861a%3A1579970736)

[5&frs=1&sts=1&plkey=1d07a466281c77a1357b71a7931e54aa09d6861a%3A1579970736](https://www.etsy.com/it/listing/1579970736/lastra-curva-di-quercia-di-palude-da-60?ref=sold_out_ad-5&frs=1&sts=1&plkey=1d07a466281c77a1357b71a7931e54aa09d6861a%3A1579970736)

https://www.etsy.com/it/listing/1416160322/tavola-di-quercia-di-palude-morta-legno?click_key=9b815128884ad5361029f06eade19550390af7a8%3A1416160322&click_sum=7117e265&ref=shop_home_active_17

https://www.etsy.com/it/listing/1606614692/asse-di-quercia-di-palude-morta-legno?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=quercia+di+palude&ref=sr_gallery-1-1&sts=1&organic_search_click=1

https://www.etsy.com/it/listing/1576940988/tavola-in-legno-di-quercia-rossataglio?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=asse+legno+di+quercia&ref=sr_gallery-1-3&frs=1&sts=1&organic_search_click=1&variation1=3964135558&variation0=3982008823

https://www.etsy.com/it/listing/1633997136/2-pezzi-di-fette-di-quercia-di-palude?click_key=f4ad820ccff01da89505728846b1f2eca51b5951%3A1633997136&click_sum=e6c1da49&ref=shop_home_active_5

https://www.etsy.com/it/listing/1231818806/un-grande-pezzo-di-quercia-di-palude?click_key=fb4a0d3a74ded7740cb86fab2c373497f8940f53%3A1231818806&click_sum=36d1678c&ref=shop_home_active_18

https://www.etsy.com/it/listing/1346029879/fette-di-quercia-dischicerchi?ga_order=most_relevant&ga_search_type=all&ga_view_type=gallery&ga_search_query=fette+di+legno+di+quercia&ref=sr_gallery-1-8&organic_search_click=1

<https://www.rct.uk/collection/28295/throne-chair>

<https://petersonpipenotes.org/>

<https://www.davorinmortapipes.com>

<https://siriusknives.com/>

<https://www.etsy.com/it/shop/SgianAlba?ref=l2-about-shopname>

https://www.etsy.com/it/listing/1269139983/realizzato-a-mano-full-tang-sgian?click_key=f83bbc85238adce7743a497fe102201e5ae8f4b3%3A1269139983&click_sum=aecffb86&ref=search2_top_narrowing_intent_modules_top_rated-4&sts=1

https://www.alibaba.com/product-detail/Click-Plus-Light-Grey-Quick-Lock_1600913960381.html?spm=a2700.galleryofferlist.p_offer.d_title.14037907nNReV3&s=p