

Committente

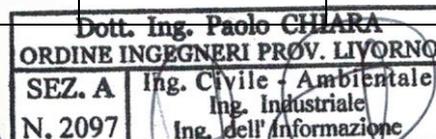
BF Progetti

Esecuzione di indagini su elementi lignei presso La Biblioteca Agorà di Lucca

RELAZIONE TECNICA

Ns. Rif.: CO-018_22_archi_BF Progetti_rev00

REV	DATA	REDAZIONE	REVISIONE	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE
1					
2					
Ø	Aprile 22	A.Crespin	Morelli	P. Chiara	Emissione



SO.IN.G. Strutture e Ambiente S.r.l.

Via A. Nicolodi 48 - 57121 Livorno
Tel. +39 0586 426710 www.soing.eu
soing@soing.eu
P.IVA 01453530493



Indice

1.	PREMESSA.....	2
2.	PROCEDIMENTO DI INDAGINE	3
	2.1 Ispezione visiva	3
	2.2 Analisi resistografica	3
	2.2.1 Strumentazione per l'indagine resistografica	4
	2.3 Generalità sulle cause di degrado del legno.....	8
	2.3.1 Variazioni climatiche	8
	2.3.2 Aggressioni biologiche (muffe, funghi e insetti xilofagi)	8
	2.4 Elaborazione dei risultati	9
3.	IDENTIFICAZIONE DELLA SPECIE LEGNOSA.....	11
	3.1 Abete Bianco	12
	3.2 Castagno	14
	3.3 Cipresso	16
	3.4 Pioppo	18
4.	PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	21
	4.1 Descrizione del metodo di interpretazione dei dati	22
	4.1.1 Sintesi della situazione di degrado	25

ALLEGATI GRAFICI (61 tavole con dati resistigrafici e tabella di sintesi della caratterizzazione).

Descrizione grafica dei Risultati delle indagini con relativa interpretazione

1. PREMESSA

Il presente documento tecnico di sintesi descrive i risultati dell'indagine diagnostica eseguita sulle strutture lignee della Biblioteca Agorà di Lucca, al fine di caratterizzare il loro stato di conservazione e la loro specie legnosa.

In dettaglio lo scopo della campagna diagnostica che è stata svolta, è quello di:

- Eseguire indagini resistografiche per la determinazione delle caratteristiche dello stato di resistenza delle strutture lignee;
- Confrontare le indagini visive con le indagini strumentali;
- Sintetizzare una valutazione globale sugli elementi indagati.

I dati sono rappresentati nell'allegato grafico organizzato in 61 tavole e nella tabella di sintesi, anch'essa allegata alla presente relazione.

2. PROCEDIMENTO DI INDAGINE

La diagnostica applicata alle strutture lignee ha lo scopo di conferire certezza ed affidabilità alla progettazione del restauro, consolidamento o riparazione attraverso la determinazione oggettiva dello stato di conservazione e della funzionalità strutturale, fornendo informazioni utili ad eliminare una serie di fattori di incertezza quali: la qualità del legno, la presenza di degrado biologico, la presenza di eventuali danni meccanici (rottture, deformazioni eccessive, etc.).

L'indagine diagnostica si esegue su ogni singolo elemento strutturale ed è articolata in tre diverse fasi: l'ispezione visiva, l'analisi strumentale e l'elaborazione dei risultati.

2.1 Ispezione visiva

La prima fase di diagnosi in situ ha l'obiettivo (rif. Norma UNI 11119 del Luglio 2004 "*Manufatti lignei Strutture portanti degli edifici – Ispezione in situ per la diagnosi degli elementi in opera*") di individuare le informazioni relative a ciascun elemento ligneo facente parte della struttura oggetto di indagine al fine di valutare l'integrità e le prestazioni. Viene effettuata osservando direttamente la superficie esterna degli elementi e mettendo in evidenza tutte le particolarità che hanno importanza ai fini dell'indagine (la geometria e la morfologia dell'elemento ligneo, difetti e anomalie varie). I difetti presi in considerazione sono quelli che condizionano le proprietà meccaniche del legno (nodi, fessurazioni, lesioni, ecc.). Per quanto riguarda invece il degrado biologico si fa riferimento principalmente agli attacchi da parte degli insetti xilofagi, deposito superficiale e dei funghi della carie, responsabili di gravi diminuzioni della resistenza del legno.

2.2 Analisi resistografica

Partendo dal rilievo delle alterazioni visibili sulla superficie dell'elemento, come indicato nella norma UNI, si deve procedere con la verifica strumentale nelle

zone di maggior incertezza di diagnosi oppure nelle zone di alterazione sospetta ma non visibile. La tecnica di indagine utilizzata è quella resistografica.

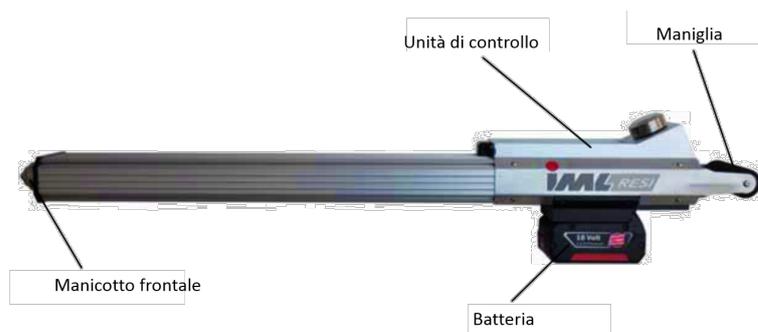
Questa analisi è sostanzialmente di tipo non distruttivo e viene effettuata “in situ”, cioè direttamente sul materiale in opera, mediante un particolare strumento denominato Resistograph.

La prova resistografica permette di individuare le variazioni di densità tra legno sano e legno decomposto o ammalorato. Questa ultima metodologia permette di effettuare diagnosi in tempo reale evidenziando la presenza di aree interne degradate (a resistenza nulla o molto bassa) relative allo stato di conservazione degli elementi indagati.

La resistenza opposta alla perforazione del legno dipende principalmente dalla densità dello stesso e rappresenta uno dei valori caratteristici più importanti del materiale, che permette di trarre conclusioni sulla qualità del legno in una particolare sezione indagata.

2.2.1 Strumentazione per l'indagine resistografica

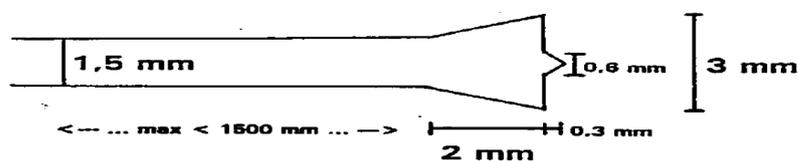
L'indagine è stata eseguita con lo strumento modello IML-RESI Serie-PD.





Strumento IML-RESI Serie-PD

Lo strumento IML-RESI Serie-PD misura la resistenza opposta dal legno alla perforazione di una punta azionata da un sofisticato trapano. La punta dell'ago, che ha un diametro di circa 3 mm è dotata di un movimento combinato di rotazione e di avanzamento a velocità costante fino a fine corsa, oppure al comando d'inversione azionato dall'operatore. Tale principio di misurazione del grado di resistenza alla foratura è stato presentato all'ufficio brevetti dagli ingegneri Kamm/Vob nel 1985.



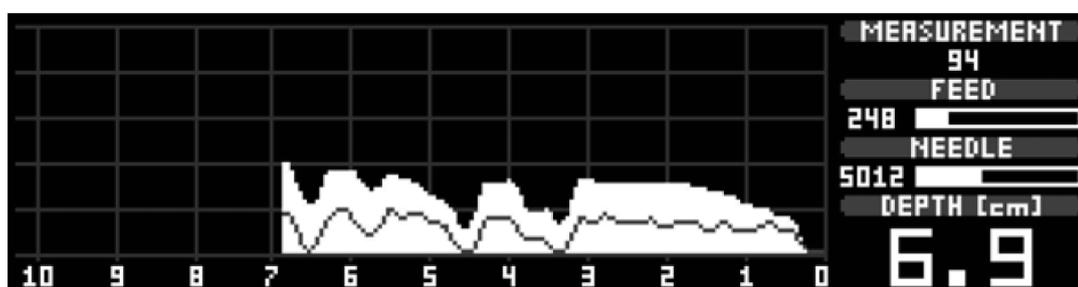
Schema della punta del resistograph



Resistograph Serie-PD 400

Lo strumento è dotato di una marcia di avanzamento che può essere impostata su 5 stadi di velocità, da un minimo di 25 cm/min ad un massimo di 250 cm/min. Affiancata alla marcia di avanzamento è correlata la marcia di rotazione, anch'essa dotata di 5 stadi, da un minimo di 1500 rpm ad un massimo di 500 rpm.

I dati acquisiti vengono visualizzati direttamente sul display in contemporanea alla perforazione, permettendo già in campagna una prima valutazione delle sezioni indagate come mostra il seguente grafico riportato di seguito:

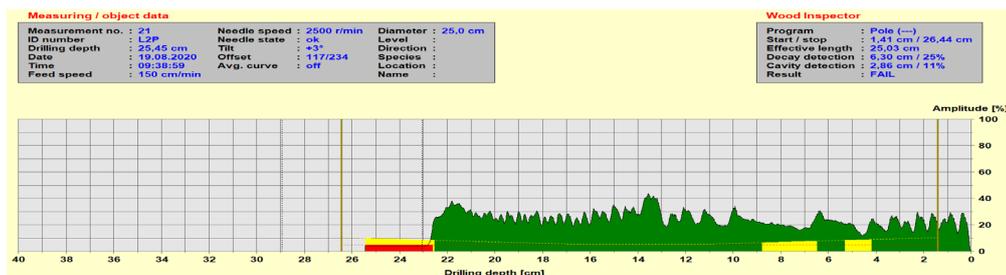


Esempio di grafico durante l'acquisizione dati

Sul lato sinistro viene visualizzata l'anteprima della curva. La figura sopra mostra la curva di avanzamento (luminosa e in colore pieno) visibile simultaneamente alla curva di rotazione (rappresentata da una linea scura).

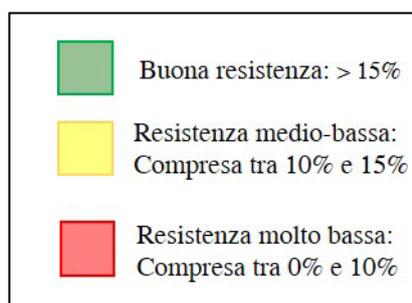
Sul lato destro vengono visualizzati i seguenti dati: numero della misurazione, velocità di avanzamento effettiva, velocità di rotazione dell'ago, carico del motore di perforazione e profondità di perforazione.

Successivamente i dati vengono scaricati, visualizzati e interpretati a mezzo di apposito software su PC. Lo strumento restituisce grafici (diagrammi), denominati "profili" nei quali sull'asse delle ascisse viene espressa la profondità del foro in centimetri mentre sull'asse delle ordinate, una scala graduata rappresenta la resistenza alla penetrazione della punta in percentuale.



Esempio di un profilo resistografico in fase successiva all'acquisizione

I dati dell'indagine resistografica forniscono indicazioni sul livello di ammaloramento del legno distinguendo sia le zone anomale a bassa resistenza (in giallo) che le zone di cavità (in rosso) rispetto alla normale resistenza (in verde). In generale la normale resistenza all'infissione della punta è considerata per ampiezze superiori al 15%. Le ampiezze comprese tra il 10 e il 15% sono indice di degrado e ammaloramento del legno (ingrigimento del legno, aggressioni biologiche come alterazioni cromatiche e presenza di l'umidità del legno, funghi e muffe, aggressioni di insetti xilofagi, fessure della superficie), mentre le resistenze inferiori al 10% indicano lo stato più avanzato di degrado caratterizzato anche dalla presenza di cavità.



Metodo di valutazione della resistenza delle strutture lignee

Si specifica inoltre che lo strumento utilizzato analizza in modo automatico ogni dato acquisito riuscendo a mettere in evidenza (in cantiere) la presenza di cavità nel caso in cui l'ampiezza registrata sia superiore ad 1 cm di spessore della sezione indagata.

Lo strumento è particolarmente utile in tutti i casi in cui siano presenti danni da insetti e/o funghi della carie, specialmente nelle zone non visibili o non accessibili. Con questa tecnica è possibile non soltanto localizzare e quantificare i danni di natura biotica ma anche valutare le dimensioni delle sezioni laddove non vi siano altre possibilità di accertamento.

2.3 Generalità sulle cause di degrado del legno

2.3.1 Variazioni climatiche

Gli agenti atmosferici hanno un'influenza determinante sullo stato di salute del legno e, quindi, del manufatto. Accanto agli effetti deleteri generati dai raggi solari, infatti, è fondamentale considerare prima di tutto l'alternanza del sole e della pioggia che provoca un continuo assorbimento e rilascio di umidità. Il corretto passaggio di umidità dall'interno all'esterno del legno è fondamentale per mantenere sano il supporto in quanto un accumulo di umidità interna (circa 20%) rappresenta la causa principale della formazione di muffe, funghi e della creazione di un ambiente ideale per lo sviluppo di insetti. Inoltre le fibre legnose sono soggette a continui rigonfiamenti e ritiri determinando una variazione dimensionale del supporto. In secondo luogo va considerata l'acqua piovana, che con il tempo penetra nel manufatto non adeguatamente protetto danneggiandolo e creando fessurazioni e spaccature verticali. Il legno si degrada e invecchia.

2.3.2 Aggressioni biologiche (muffe, funghi e insetti xilofagi)

Si sviluppano in presenza di un'umidità del legno di circa il 20% e in base all'aspetto possono essere di diverso tipo. I funghi che si nutrono di lignina e di cellulosa, provocano la carie bianca e la carie bruna. La carie bruna o distruttiva, prolifera nelle aree umide, come le cantine, provocando delle fessure ortogonali che portano allo sbriciolamento. Ha la capacità di propagarsi dal legno umido a quello sano, grazie a radici fortissime, in grado di trasportare l'acqua e di oltrepassare i muri. Le parti colpite da carie bruna non sono facilmente riconoscibili. A differenza di quella bruna, la carie bianca o corrosiva attacca non soltanto la cellulosa ma anche la lignina, conferendo al legno un aspetto

biancastro e fibroso, facilmente riconoscibile. I funghi cromogeni creano nel legno alterazioni del colore, con notevoli danni estetici ma senza pregiudicare le caratteristiche strutturali del legno. I più comuni sono i funghi dell'azzurramento con sfumature grigio bluastre di intensità e profondità variabile, si diffondono quando l'umidità del legno è compresa tra il 18 e il 40%.

I "tarli del legno", come vengono comunemente chiamati, sono in realtà numerose famiglie di insetti xilofagi, le cui larve si nutrono di legno per raggiungere la maturità. Trovano il loro habitat ideale e si sviluppano nel legno in cui c'è accumulo di umidità. Non tutte le specie hanno lo stesso grado di pericolosità. Alcune si limitano ad attaccare la parte dura del legno, mentre altre giungono fino alla parte tenera e sono in grado di ridurre il legno in una polvere finissima, che cade a terra al momento della fuoriuscita dei tarli adulti. È questo il tipico caso dei Lictidi, diffusi anche in Italia. Tra le specie più dannose rientrano anche l'*Anobium punctatum* (Tarlo dei mobili), che si adatta a diversi tipi di legno ed il *Lynctus brunneus*, che attacca prevalentemente il legno di latifoglia. I danni più ingenti sono però causati dall'*Hylotrupes bajulus* (Capricorno delle case) e dall'*Hesperophanes*, che aggrediscono tetti, pavimenti ed infissi. Sono estremamente pericolosi perché rodono il legno dall'interno, indebolendone la struttura fino al collasso, senza che dall'esterno si possa diagnosticarne la presenza. Un'altra categoria di insetti xilofagi sono le termiti, di provenienza tropicale ma ormai diffuse anche in Europa. Si nutrono prevalentemente della cellulosa contenuta nel legno vivo ed hanno una rilevante importanza nell'ecosistema, in quanto sono in grado di divorare con le loro robuste mandibole quasi un terzo del legno prodotto ogni anno nel pianeta. Le larve delle termiti scavano lunghe gallerie nel legno, per fuoriuscire soltanto al termine del suo sviluppo, che può durare mesi o addirittura anni, a seconda della specie.

2.4 Elaborazione dei risultati

La diagnosi sullo stato di salute delle strutture lignee analizzate deriva dalla sovrapposizione delle informazioni desunte delle due principali fasi di indagine, l'indagine visiva e quella strumentale.

Nel presente report tecnico le sovrapposizioni sono descritte nell'Allegato Grafico 1 e sintetizzate nei paragrafi seguenti e nella tabella di sintesi allegata.

3. IDENTIFICAZIONE DELLA SPECIE LEGNOSA

Durante le indagini visive e resistografiche sono stati prelevati 14 campioni lignei al fine di definire la specie legnosa prevalente per le strutture analizzate. I campioni selezionati sono stati fotografati e inviati all'Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree del CNR, con sede in Sesto Fiorentino.

I campioni analizzati prelevati sono i seguenti:

T4+1	piano +1	Trave
TC3+1	piano +1	Travicello
TS3+2	piano +2	Trave secondari
TS9+2	piano +2	Trave secondari
TS15+2	piano +2	Trave secondari
TC 10+2	piano +2	Travicello
TC17+2	piano +2	Travicello
TC24+2	piano +2	Travicello
P4+2	piano +2	Puntone
P7+2	piano +2	Puntone
P9+2	piano +2	Puntone
PUNTONE C2+2	piano +2	Puntone capriata 2
CATENA C1+2	piano +2	Catena Capriata 1
T1+2	piano +2	Trave

Dal certificato (PROT. 1738 del 28-03-20229 del CNR Istituto per la Bio Economia) sono emerse 4 specie legnose diverse.

I campioni P4+2 e C1+2 (catena), appartengono al genere *Abies alba* Mill. Famiglia *Pinaceae* Comunemente denominato ABETE BIANCO.

I campioni T4+1, TC3+1, TS9+2, TS15+2, TC10+2, TC17+2, TC24+2, P7+2 e P9+2 appartengono al genere *Castanea sp.* Famiglia *Fagaceae* Comunemente denominato CASTAGNO.

I campioni TS3+2 e C2+2 (puntone dx), appartengono al genere *Cupressus sp.* Famiglia *Cupressaceae* Comunemente denominato CIPRESSO.

Il campione T1+2 appartiene al genere *Populus sp.* Famiglia *Salicaceae* Comunemente denominato PIOPPO.

3.1 Abete Bianco

L'abete bianco, detto anche abete comune è un legno leggero, di colore bianco-giallastro con venature rossastre, abbastanza tenero e quindi è caratterizzato da un'alta fendibilità ossia dall'attitudine a spaccarsi lungo le fibre. E' ritenuto qualitativamente inferiore a quello dell'abete rosso ma è comunque ampiamente impiegato dalle industrie cartiere per ottenere cellulosa e nelle falegnamerie, dove viene utilizzato per varie costruzioni sia di interni (arredamenti) che per gli esterni, nonostante sia abbastanza vulnerabile a tarli e agli agenti atmosferici. Alcuni vantaggi rispetto al legno dell'abete rosso si possono trovare nel fatto che tale legno non contiene resina, poiché questa è presente solo nella corteccia, ha una maggiore resistenza e portata statica ed una superiore attitudine all'impregnazione. Gli svantaggi rispetto all'abete rosso stanno in una maggiore presenza di durame con elevato contenuto di umidità (tale difetto viene definito "cuore bagnato") e nella presenza di cipollatura, un difetto del legno che consiste in un maggior sfaldamento in corrispondenza degli anelli annuali di accrescimento. Il legno di abete bianco è utilizzato per vari scopi: strutture costruttive civili ed idrauliche, alberi da nave, paleria di vario genere, segati, falegnameria andante, imballaggi, mastelli e recipienti vari, sfogliatura per compensati e per fiammiferi, lana di legno, materiale da triturazione per pannelli o per carta e cellulosa. Per qualsiasi impiego all'esterno conviene applicare adeguati trattamenti di preservazione che peraltro risultano sempre di scarsa penetrazione.

L'abete rosso è insieme all'abete bianco una delle conifere italiane più comunemente diffuse nel settore delle costruzioni.

Caratteristiche tecnologiche dell'Abete bianco

Abete Bianco	
Densità (UL=12%)	440 kg/m ³
Durezza Janka	145 Kgf
Resistenza a compressione assiale	35 N/mm ²
Resistenza a flessione	70 N/mm ²
Modulo di elasticità	14.000 N/mm ²

Tutte le caratteristiche di resistenza meccanica si riferiscono ad un contenuto di umidità del legno (UL) del 12%.

Facendo riferimento alla norma UNI EN 350-2 si riporta di seguito le caratteristiche di durabilità naturale, di trattabilità con preservanti (che esprime anche la permeabilità all'acqua), e stabilità dimensionale dell'abete bianco.

Specie			Durabilità naturale						Trattabilità		Stabilità dimensionale
Nome unificato	Nome scientifico	Origine	Funghi	Hy	He	Anob	Ly	Term	alburno	durame	
Abete bianco	Abies Alba Mill.	Europa - Nord America	4 (poco durabile)	NR	R	NR	R	NR	2v (Moderatamente impregnabile variabile)	2-3 (poco impregnabile)	media

Hy = Hylotrupes
 He= HeHesperophanes
 Anob= Anobidae
 Ly= Lyctus
 Term= Termiti

NR= non resistente
 R= resistente

La categoria qualitativa del legno strutturale con corrispondente classe di resistenza per l'Abete Bianco, deriva dall'applicazione della Norma EN 1912, in conformità con la EN 384 e con il prospetto 5 della norma UNI-11035. La classificazione in oggetto, tratta dal "Il Legno Massiccio, materiale per l'edilizia sostenibile" a cura di Roberto Zanuttini, editore Compagnia delle Foreste Srl, per

l'Abete Bianco di provenienza geografica ITALIA, per le Categoria S2 data dalla Norma UNI11035 collega la Classe EN 338 in C24 e per la categoria S3 della stessa 11035, identifica la Classe C18.

3.2 Castagno

Il Castagno è tra le specie forestali più ampiamente diffuse in Italia: è presente in tutte le regioni con una distribuzione altimetrica variabile, tra i 100 metri s.l.m. del Nord ad i 1500 metri della Sicilia.

Il legno del Castagno presenta una tessitura grossolana ed è differenziato, con albarno biancastro-giallognolo/bruniccio e durame bruno.

Il durame ha buona resistenza alle alterazioni biologiche, la stagionatura naturale è piuttosto lenta ma non presenta particolari difficoltà, mentre l'essiccazione artificiale è spesso difficoltosa, la cipollatura è frequente e in buona parte dei casi ne preclude l'impiego come legname da opera.

Il Castagno è richiesto dall'industria degli estrattivi chimici per l'elevato contenuto di tannini, questi ultimi provocano la comparsa di macchie nero bluastre sulle superfici lignee a contatto con materiali ferrosi.

Inoltre a causa della sua acidità, il legno di castagno tende a corrodere i metalli in presenza di umidità elevata, tuttavia l'abbondante presenza di questi estrattivi e la limitata estensione dell'albarno conferiscono al legname di castagno caratteristiche di durabilità naturale superiori ad altre specie legnose europee.

Il legname di castagno, grazie alle sue caratteristiche tecnologiche si presta alle più svariate tipologie di impiego di seguito elencate in ordine di valore economico: tranci, falegnameria, carpenteria, paleria per agricoltura, pellet, legna da ardere, produzione di estrattivi.

	Castagno
Densità (UL=12%)	580 kg/m ³
Durezza Janka	308 Kgf
Resistenza a compressione assiale	50 N/mm ²
Resistenza a flessione	106 N/mm ²
Modulo di elasticità	13.000 N/mm ²

Dal punto di vista normativo è al momento l'unica latifolia nazionale per la quale sono disponibili, seppur con limitazioni, valori di resistenza meccanica riconosciuti nella norma EN 1912.

Gli approfonditi studi eseguiti sia sul legname di provenienza nazionale che francese hanno portato al conseguimento da parte di un apposito consorzio di produttori italiani di una valutazione Tecnica Europea 12/0540, finalizzata alla marcatura CE dell'assortimento denominato "uso Fiume di Castagno".

Al Castagno di origine Italia, secondo la norma di classificazione UNI 11035, viene assegnata una categoria strutturale S con Classe EN338, D24.

Le caratteristiche della Classe D24 sono sintetizzate nella Tabella A-2-Classi di resistenza secondo EN338 per legno di latifoglie, della Circolare CNR DT 206-R1/2018.

Facendo riferimento alla norma UNI EN 350-2 si riporta di seguito le caratteristiche di durabilità naturale, di trattabilità con preservanti (che esprime anche la permeabilità all'acqua), e stabilità dimensionale del Castagno.

Specie			Durabilità naturale						Trattabilità	
Nome unificato	Nome scientifico	Origine	Funghi	Hy	He	Anob	Ly	Term	alburno	durame
Castagno	Castanea sativa	Europa	2 (durabile)	NR	NR	NR	NR	NR	2 (moderatamente impregnabile)	4 (estremamente difficile da trattare)

Hy = Hylotrupes
 He= HeHesperophanes
 Anob= Anobidae
 Ly= Lyctus
 Term= Termiti

NR= non resistente
 R= resistente

La durabilità naturale di una specie legnosa può essere definita come la sua capacità di resistere al degradamento dovuto ad organismi (quali insetti, funghi,

etc., ...) i quali trovano la fonte del loro nutrimento nei costituenti chimici della parete cellulare legnosa o nelle sostanze di riserva delle cellule parenchimatiche (zuccheri e amidi). La durabilità naturale di una specie legnosa nei confronti dei funghi è riferita al durame quella nei confronti degli insetti è riferita anche all'alburno. La durabilità naturale del legno è definita dalle norme UNI-EN 350-1 e UNI-EN 350-2 che stabiliscono i metodi per la determinazione e la classificazione di durabilità del legno ai principali organismi xilofagi.

3.3 Cipresso

Caratteristiche generali del cipresso

Il Cipresso è originario della regione mediterranea orientale, da dove è stato diffuso in tutta l'Europa meridionale fin dall'antichità. Vegeta in zone a clima caldo con estati secche e si adatta a terreni diversi, prestandosi a rimboschimenti di terreni aridi, calcarei o franosi, sovente anche con funzione paesaggistica. La principale minaccia di questa pianta è il fungo che è causa del cosiddetto *Cancro del Cipresso*. La richiesta italiana di legno di Cipresso è coperta dalla produzione nazionale, concentrata in maggior parte nelle provincie di Firenze, Prato, Siena e Pisa, ove cresce ad altitudini di 200-700 metri.

L'albero può raggiungere l'altezza di 22-25 m con diametro a petto d'uomo sino ad 80 cm. Per quanto non vi siano assolutamente differenziazioni botaniche, il Cipresso si presenta con due aspetti molto diversi: una forma a chioma fastigiata fusiforme formata da moltissimi ed esili rami appressati al tronco (Cipresso detto impropriamente maschio) ed una forma a chioma espansa pressoché conica, formata da rami più grossi inseriti perpendicolarmente al tronco (Cipresso detto impropriamente femmina). La forma dei fusti risente naturalmente di tali disparità: restando il portamento complessivo abbastanza diritto le sezioni trasversali sono spesso irregolari per pronunziate cordonature; la rastremazione è più forte nella seconda forma che nella prima, ed anche la nodosità, come dimensione delle inserzioni dei rami, è maggiore nel Cipresso femmina.

E' un legno pregiato di eccellente qualità: forte, durevole, con variazioni dimensionali contenute che lo rendono molto stabile; è caratterizzato da un colore giallognolo brucicco con durame bruno più scuro a contorno irregolare; è privo di canali resiniferi, ha un forte profumo conferitogli dagli oli eteri che si trovano nella corteccia ed è resistente ai parassiti. Presenta una tessitura molto fine che consente un elevato grado di finitura, con una fibratura poco regolare per l'accentuata e grossa nodosità. La segagione e la piallatura risulta difficoltosa sia a causa dei numerosi nodi che delle irregolarità della fibratura. Va fatto essiccare lentamente per evitare spaccature e fenomeni di collasso. La sfogliatura non è praticata e per la tranciatura occorrono pezzi privi di nodi, difficili da trovare.

Caratteristiche tecnologiche del cipresso

Cipresso	
Densità (UL=12%)	610 kg/m ³
Durezza Janka	254 Kgf
Resistenza a compressione assiale	48 N/mm ²
Resistenza a flessione	90 N/mm ²
Modulo di elasticità	12.500 N/mm ²

Tutte le caratteristiche di resistenza meccanica si riferiscono ad un contenuto di umidità del legno (UL) del 12%.

Facendo riferimento alla norma UNI EN 350-2 si riporta di seguito le caratteristiche di durabilità naturale, di trattabilità con preservanti (che esprime anche la permeabilità all'acqua), e stabilità dimensionale del cipresso.

Specie			Durabilità naturale						Trattabilità		Stabilità dimensionale
Nome unificato	Nome scientifico	Origine	Funghi	Hy	He	Anob	Ly	Term	alburno	durame	
Cipresso	Cupressus sempervirens L.	Europa	2 (durabile)	NR	R	NR	R	NR	1-2	3-4	media

Hy = Hylotrupes
 He= HeHesperophanes
 Anob= Anobidae
 Ly= Lyctus
 Term= Termiti

NR= non resistente
 R= resistente

3.4 Pioppo

La caratteristica preziosa di questa specie è la sua facilità di riproduzione vegetativa e il rapido sviluppo; in 10 anni è pronto per essere tagliato, oltre alla sua diffusione massiccia in tutto l'emisfero settentrionale.

A causa della sua leggerezza (massa volumica simile all'abete) viene dalla normativa inserito tra le classi di conifere, nonostante le caratteristiche elevate di resistenza a flessione, compressione e trazione.

Il colore del legno è biancastro o lievemente giallognolo, dopo 5-6 anni dall'impianto si inizia però la formazione di durame di colore bruno verdastra, umidità elevata, cattivo odore.

Gli anelli di accrescimento possono raggiungere valori elevati di spessore 20mm o più.

Caratteristiche generali del pioppo

Difetti strutturale ed alterazioni più frequenti: cretti da gelo, legno di tensione, grosse perforazioni da insetti, lesioni alla base dei fusti.

Durabilità: scadente soprattutto nei riguardi degli attacchi fungini.

Lavorabilità: segazione e piallatura possono risultare complicate, accresciuta se sono presenti zone con legno di tensione. Essiccazione molto lenta, addirittura difficoltosa nel caso di presenza delle “tasche d’acqua”. Sfogliatura agevole, basta che non siano presenti i difetti sopra indicati. L’incollaggio, la tinteggiatura e la verniciatura senza problemi.

Impieghi principali: falegnameria di tipo corrente, imballaggi, elementi per impalcature e ponteggi, edilizia, oggetti e utensili casalinghi, zoccoli e soles per calzature, lana di legno, compensati, fiammiferi, ecc. Caratteristiche tecnologiche del Pioppo

Caratteristiche tecnologiche del pioppo

	Pioppo
Densità (UL=12%)	380-420 kg/m ³
Durezza Janka	186 Kgf
Resistenza a compressione assiale	31 N/mm ²
Resistenza a flessione	55 N/mm ²
Modulo di elasticità	7.800 N/mm ²

Tutte le caratteristiche di resistenza meccanica si riferiscono ad un contenuto di umidità del legno (UL) del 12%.

Facendo riferimento alla norma UNI EN 350-2 si riporta di seguito le caratteristiche di durabilità naturale, di trattabilità con preservanti (che esprime anche la permeabilità all’acqua), e stabilità dimensionale del pioppo.

Specie			Durabilità naturale						Trattabilità		Stabilità dimensionale
Nome unificato	Nome scientifico	Origine	Funghi	Hy	He	Anob	Ly	Term	alburno	durame	
Pioppo	Populus sp.	Europa	5 (non durabile)	R	NR	NR	R	NR	1	2	media
									(facile da trattare)	(moderatamente facile da trattare)	

Hy = Hylotrupes

He= HeHesperophanes

Anob= Anobidae

Ly= Lyctus

Term= Termiti

NR= non resistente

R= resistente

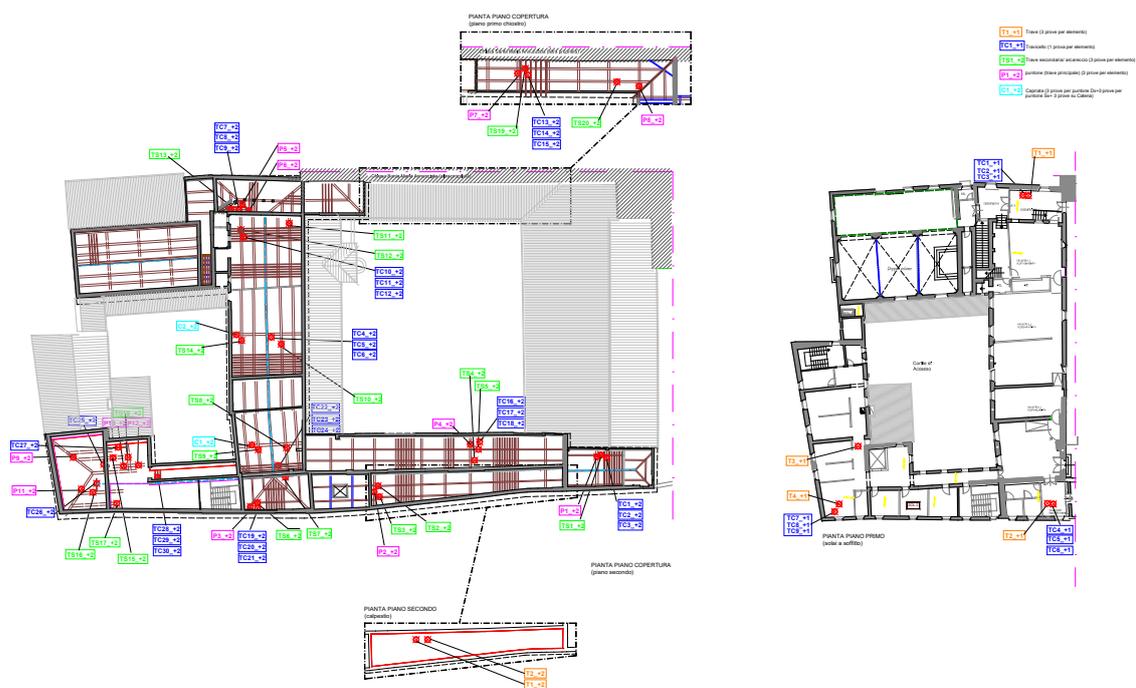
Le caratteristiche di resistenza del pioppo devono rientrare nella Tabella A-1 Classi di resistenza secondo EN338 per legno di conifere e di pioppo, della Circolare CNR DT 206 R1/2018. Ma ad oggi non è chiara l'attribuzione alla classe di resistenza secondo la EN338, per mancanza di dati sperimentali affidabili.

4. PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

I risultati dell'indagine sulle travi lignee sono presentati nell'Allegato Grafico 1 relative ad ogni singolo elemento ligneo analizzato, come riportato su mappa.

Gli elementi analizzati sono divisi in 4 zone di indagine:

- Piano 2 di copertura
- Piano di copertura della Chiesa
- Piano 2 di calpestio
- Piano 1



Gli elementi analizzati sono stati concordati con il p progettista così come il numero di prova per elemento:

- Su una trave (Sigla T seguita da un numero progressivo) sono state richieste 3 prove per elemento
- Su un travicello (Sigla TC seguita da un numero progressivo) è richiesto una sola prova per elemento

- Su una trave secondaria o arcareccio (Sigla TS seguita da un numero progressivo) sono state richieste 3 prove per elemento
- Su un puntone (Sigla P seguita da un numero progressivo) sono state richieste 3 prove per elemento
- Su una capriata (Sigla C seguita da un numero progressivo) sono state richieste 3 prove sul puntone destro, 3 prove sul puntone sinistro e 3 prove sulla catena.

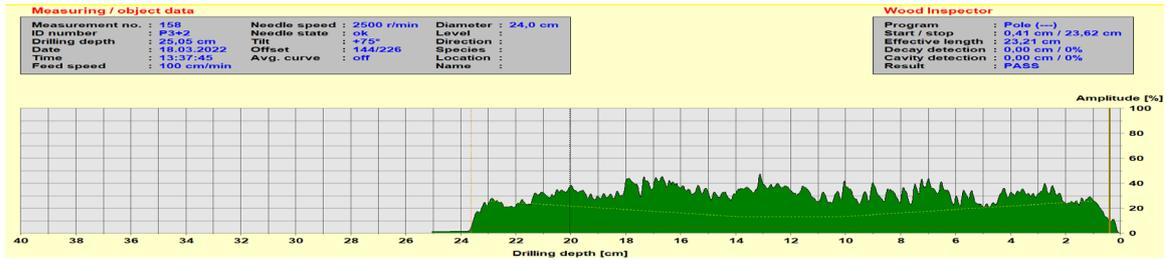
4.1 Descrizione del metodo di interpretazione dei dati

L'allegato grafico riporta i dati resistografici, le osservazioni visive ed i dettagli fotografici per ogni elemento oggetto di analisi. L'indagine è stata mirata sugli elementi lignei selezionati dal progettista, dando rilievo sia ai difetti geometrici e strutturali, che ai difetti naturali (nodi e cipollature), che alla presenza di attacchi biologici di diverso tipo. Alle valutazioni visive si sono aggiunte le misurazioni di umidità e le prove resistografiche. Tutte le informazioni raccolte sono state confrontate e poi sintetizzate in una valutazione finale di grado di degrado (1 trascurabile, 2 moderato, 3 grave).

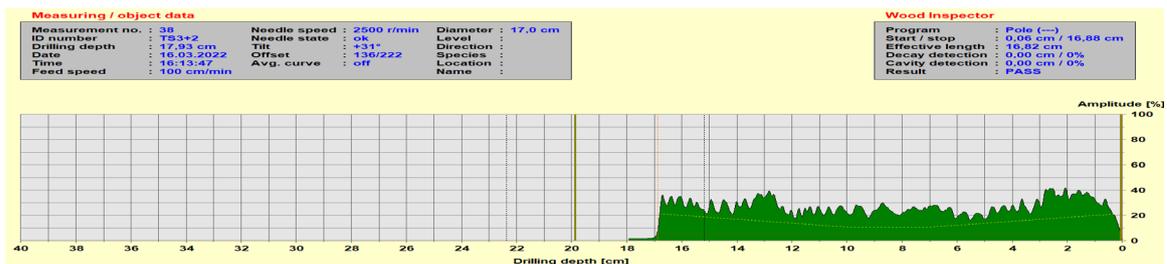
Sulla base dell'interpretazione del grado di ampiezza di resistenza alla infissione della punta da parte del legno, per ogni trave indagata, è stata riportata sia nell'allegato grafico che nel presente documento tecnico, una sintesi grafica della situazione di degrado delle parti lignee.

Sono state inoltre evidenziate 4 tipologie anatomiche diverse: Castagno, Abete Bianco, Cipresso e Pioppo. Sui 14 campioni analizzati 9 sono risultati di Castagno. Anche nel 2020 per la prima fase di indagine sullo stesso edificio, la specie legnosa predominante era quella del castagno.

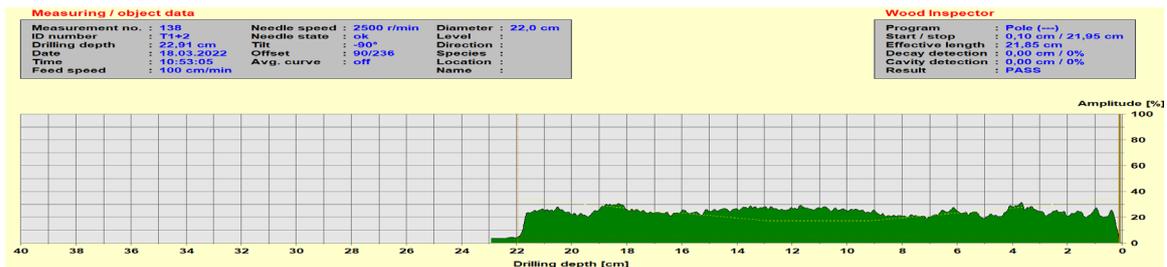
Di seguito abbiamo cercato di classificare la tipologia di risposta resistografica in base ai grafici registrati.



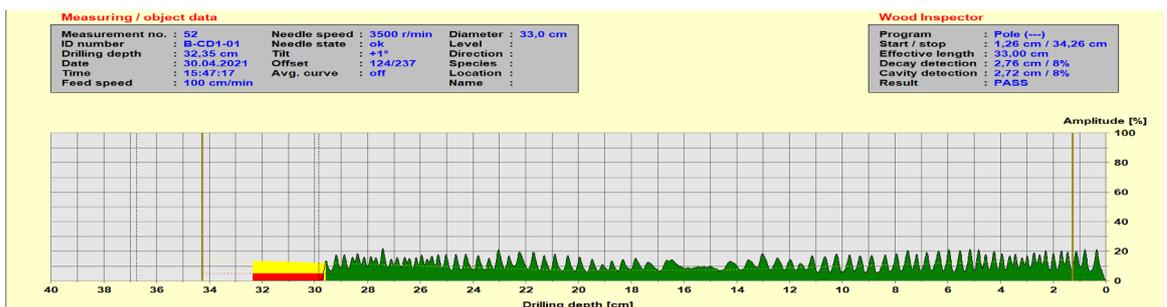
Esempio di grafico del grado di ampiezza di resistenza alla infissione della punta da parte del Castagno



Esempio di grafico del grado di ampiezza di resistenza alla infissione della punta da parte del Cipresso



Esempio di grafico del grado di ampiezza di resistenza alla infissione della punta da parte del Pioppo

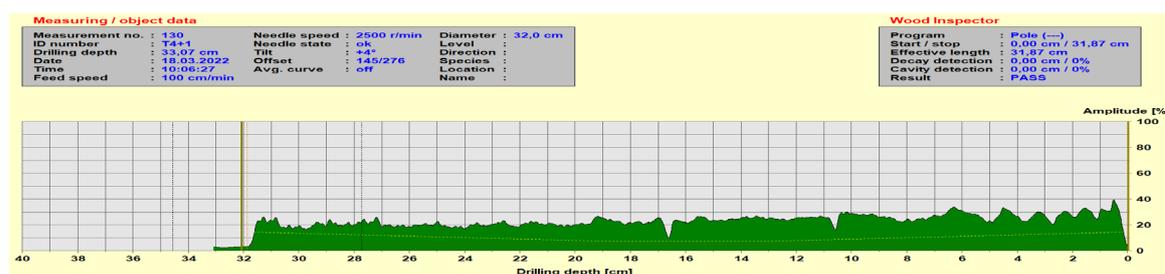


Esempio di grafico del grado di ampiezza di resistenza alla infissione della punta da parte dell'Abete bianco

Osservando i grafici sovrastanti si nota che il castagno e il cipresso in buona salute presentano un andamento del grafico relativamente simile, rendendo difficile la loro distinzione senza analisi anatomica.

Questa somiglianza si spiega sia dai valori di resistenza meccanica che dalle caratteristiche di durabilità naturale, di trattabilità con preservanti e stabilità dimensionale (norma UNI EN 350-2), tutti paragonabili.

Inoltre un castagno in condizioni non ottimali presenta un andamento molto simile a quello di un pino in buona salute.



Esempio di grafico del grado di ampiezza di resistenza alla infissione della punta da parte del Castagno in condizione di salute medie-basse

Tutt'altra cosa è l'andamento dei grafici di abete bianco in buono stato di salute, sempre molto ben riconoscibili, con un range di misura de valori di resistenza alla infissione della punta mediamente bassi che oscillano tra il 10 ed il 20%, con anelli di accrescimento ben riconoscibili, stretti e distaccati, anche se in buono stato dal punto di vista visivo.

Inoltre si può dire che in un ambiente chiuso e riscaldato (edifici civili, uffici...) i valori di umidità di riferimento per mantenere in buone condizioni le strutture lignee variano tra 8 e 12%.

Per ogni elemento ligneo è stata misurata l'umidità relativa.

Dal momento che i funghi comuni si diffondono quando l'umidità del legno è compresa tra il 18 e il 40%, abbiamo evidenziato i casi in cui l'umidità relativa risulta superiore al 18%. La tabella seguente riporta direttamente l'attenzione su questi valori, mentre nella tabella finale (allegato 2) gli stessi valori sono sottolineati ma non sempre coincidono ad oggi con situazioni di degrado grave o moderato. Quelli maggiori di 20% sono stati evidenziati nella tabella generale

(allegato 2) perché potrebbero essere interessati da futuri peggioramenti di stato di conservazione.

Ubicazione	Elemento		Umidità (%)	Ubicazione	Elemento		Umidità (%)	Ubicazione	Elemento		Umidità (%)	
PIANO 2 DI copertura	TC22	Travicello	21.3	PIANO 2 DI copertura	TS5	Trave Secondaria	12.9	piano copertura Chiesa	P7	Puntone	7.1	
	TC23	Travicello	21		P1	Puntone	18.8		TS19	Trave Secondaria	6.5	
	TC24	Travicello	23.4		TC1	Travicello	24.8		TC13	Travicello	11.5	
	TS15	Trave Secondaria	33.4		TC2	Travicello	39.9		TC14	Travicello	13.9	
	TS16	Trave Secondaria	21.8		TC3	Travicello	17.4		TC15	Travicello	17.1	
	TC25	Travicello	35.3		TS1	Trave Secondaria	24.1		TS20	Trave Secondaria	9.7	
	TC26	Travicello	14.3		Capriata C1	Catena	13.5		P8	Puntone	10.7	
	P11	Puntone	13.9			Puntone SX	13.3		Piano di calpestio P2	T1	Trave	7
	P9	Puntone	13.8			Puntone DX	13.9			T2	Trave	7.1
	TC27	Travicello	22.8		TS9	Trave Secondaria	11.5		Piano 1	T3	Trave	7.1
	P10	Puntone	13.7		TS8	Trave Secondaria	14.5	T4		Trave	15.1	
	P12	Puntone	9.8		Capriata C2	Catena	15.3	TC7		Travicello	6.1	
	TS18	Trave Secondaria	7.1			Puntone SX	23.3	TC8		Travicello	8.4	
	TS17	Trave Secondaria	10.7			Puntone DX	14.5	TC9		Travicello	6.4	
	TC28	Travicello	16.8		TS10	Trave Secondaria	14.6	T2		Trave	16.1	
	TC29	Travicello	19.5		TS14	Trave di colmo	14.7	TC4		Travicello	14	
	TC30	Travicello	11.2		TC4	Travicello	14.8	TC5		Travicello	14.3	
	P3	Puntone	14.3		TC5	Travicello	14.7	TC6		Travicello	9.8	
	TC19	Travicello	16.1		TC6	Travicello	14.7	T1		Trave	10.7	
	TC20	Travicello	14.7		TS12	Trave Secondaria	15	TC1		Travicello	11.8	
	TC21	Travicello	14.3		TC10	Travicello	15	TC2		Travicello	7.2	
	TS6	Trave Secondaria	15.7		TC11	Travicello	27.3	TC3	Travicello	25.3		
	TS7	Trave Secondaria	16.4		TC12	Travicello	29.5					
	P2	Puntone	5.5		TS11	Trave Secondaria	16.4					
	TS3	Trave Secondaria	10.4		TS13	Trave Secondaria	22.2					
	TS2	Trave Secondaria	8.9		TC7	Travicello	16.1					
	TC16	Travicello	13.5		TC8	Travicello	15.7					
	TC17	Travicello	16.4		TC9	Travicello	15.9					
	TC18	Travicello	12.9		P5	Puntone	6.4					
	P4	Puntone	12.9		P6	Puntone	6.4					
TS4	Trave Secondaria	12.7										

4.1.1 Sintesi della situazione di degrado

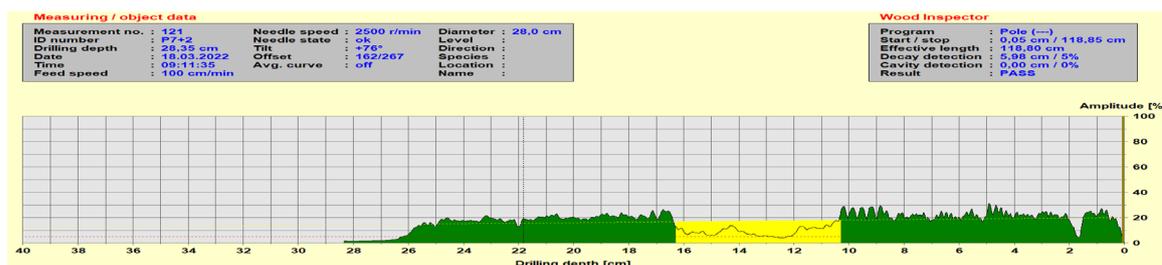
Considerando tutti gli elementi sopra ricordati, confrontando dati strumentali, e analisi visiva (presenza di attacco biologico, presenza di nodi, presenza di fessure da ritiro, colore, fratture, smussi della sezione) è stata elaborata una tabella di sintesi.

La prima valutazione si basa sui grafici, intesa come la “qualità media” dell'elemento analizzato. Tale valutazione distingue ogni elemento per qualità

buona, bassa o molto bassa in pochi casi, per capacità di resistenza alla infissione della punta strumentata.

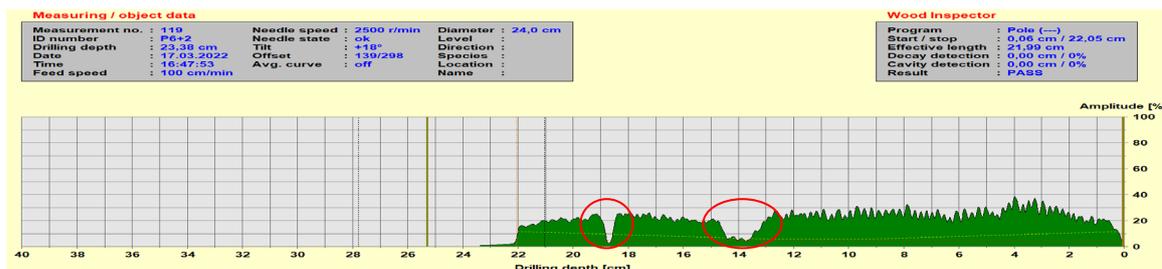
E' bene tenere conto anche del valore medio della resistenza alla infissione che varia in base alla specie legnosa, come ben dimostrato sopra, ed in particolare per l'abete bianco che in buona salute presenta dei valori inferiori rispetto ad un castagno in buona salute.

Questa classificazione tiene quindi presente non solo il valore strumentale medio di ampiezza di resistenza misurata in vari punti per elemento, ma anche la presenza di cavità e zone di ammaloramento. Quando infatti i valori della resistenza sono considerati bassi rispetto a quelli di riferimento per il legno-specie o lo strumento rileva la presenza di cavità, oppure anomali abbassamenti e variazioni di tipo di resistenza soprattutto al centro sezione, la qualità è stata considerata bassa.



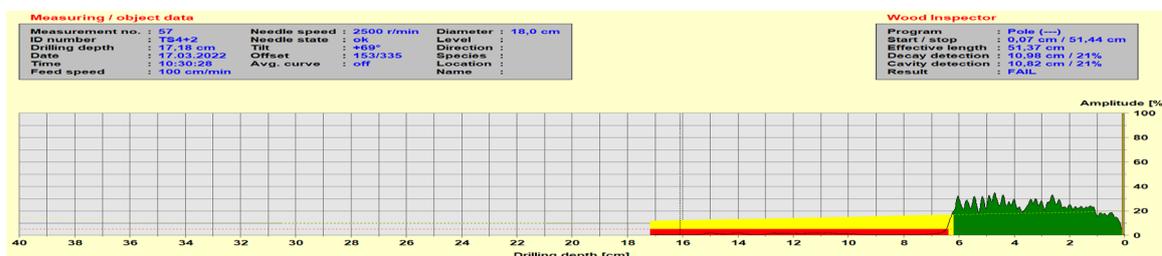
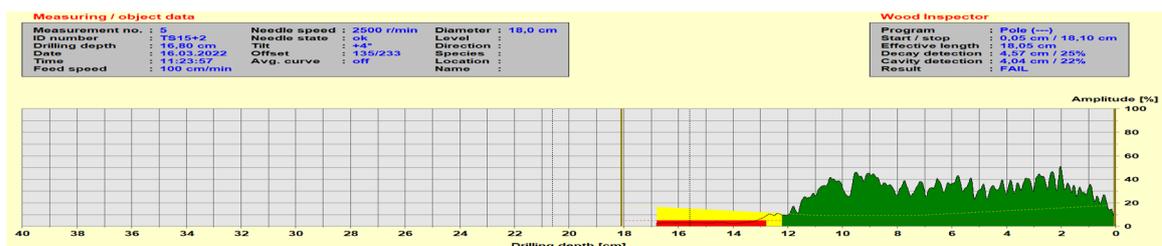
Esempio di grafico in presenza di una grande cavità/zona di ammaloramento su 6cm in centro alla trave di larghezza 28cm. Caso del puntone P7

Su diversi punti di indagine e su diversi elementi lignei, nel centro del grafico, relativo al centro della sezione della trave, sono state individuate zone di alcuni cm di lunghezza nella quale la resistenza all'infissione rimane bassa e molto diversa ai lati del grafico. Queste zone rappresentano comunque un principio di ammaloramento e quindi un potenziale punto di peggioramento con possibile formazione di cavità. Queste parti sono state evidenziate sia sulle tavole degli allegati grafici che in tabella riassuntiva.



Esempio di grafico in presenza di due possibili zone di ammaloramento

In alcuni casi sono state individuate dalla strumento cavità alla fine del file, in coincidenza con la presenza di fessurazioni da ritiro presenti sul lato opposto a quello di infissione. Le cavità rilevate in base alla presenza di fessure da ritiro sono in genere profonde un minimo di 2 cm, fino ad un massimo 12 cm. Anche in questi casi spesso la qualità finale dell'elemento è stata considerata come bassa.



Esempi di grafici in presenza di fessura da ritiro sul lato opposto

In alcuni casi, si è verificato che la punta abbia intercettato un nodo al centro sezione o a fine sezione ed il grafico si ferma prima di raggiungere la larghezza della trave e la resistenza all'infissione aumenta fino a fondo scala.



Esempio di grafico in presenza di un nodo (fine del grafico a 13.5cm mentre la trave presenta una larghezza di 16cm)

Oltre alla valutazione derivante dalla analisi dei dati strumentali, è possibile elaborare una seconda valutazione che si basa sulla norma UNI 11119, che classifica gli elementi in opera, mediante criteri stabiliti nella Tabella 1, in 3 categorie di legno strutturale: 1a, 2a e 3a allo scopo di attribuire le caratteristiche di resistenza meccanica.

CARATTERISTICA	CATEGORIA			
	(le travi non classificabili neppure come 3a categoria non sono idonee per strutture a carattere permanente)			
	1a	2a	3a	
Azzuramento	ammissibile	ammissibile	ammissibile	
Lesioni da fulmine	non ammissibili	non ammissibili	ammissibili purché presenti in misura limitata	
Cretti da gelo				
Gallerie di insetti				
Cipollature				
Marciumi				
Nodi Singoli (massimo rapporto fra diametro del nodo e larghezza della faccia su cui compare)	Max.1/5	Max.1/3	Max.1/2	
	Max. 50mm	Max. 70mm		
Nodi raggruppati (massimo rapporto fra la somma dei diametri dei nodi compresi in un tratto di 15 cm e la larghezza della faccia su cui compaiono)	Max. 2/5	Max. 2/3	Max. 3/4	
Inclinazione fibratura	in sezione rad.	max.7%	max.12%	max.20%
	in sezione tang.	max. 10%	max. 20%	max. 33%
Fessurazione radiali da ritiro	Ammissibile purché non passanti	Ammissibile purché non passanti	Ammissibile	
Spessore anelli	conifere	max. 2mm	max. 3.3mm	oltre 3.3mm
	quercia	min 7mm	min 4mm	meno di 3.3mm
	castagno	min. 8mm	min. 3.3mm	meno di 4mm

Tabella 1 [Tabella ripresa dal Manuale di Ingegneria Civile Vol.2 ESAC-ZANICHELLI-CREMONESE 2° ed. 1991 Cap. XI "Strutture di legno" a cura del Prof. Ario Ceccotti]

Da questa tabella la maggioranza degli elementi analizzati ricade nella categoria 3a a causa della presenza di attacco biologico quasi su tutti gli elementi, anche se in proporzione variabile.

Una finale valutazione di sintesi deriva dal confronto dei dati acquisiti in termini di resistenza alla infissione della punta, degrado rilevabile ad occhio nudo, valori di umidità relativi, presenza di cavità interne o da fessure da ritiro molto profonde e continue, presenza di grandi cipollature critiche, presenza di buchi e fratture e anomalie nei nodi strutturali.

In questo caso le macro classi di sintesi sono:

Dettaglio sulle Classi di degrado complessivo

- 1_Trascurabile
- 2_Moderato
- 3_Grave

Sull'ultima colonna della tabella riassuntiva è possibile individuare quali degli elementi sono stati considerati come grado 3-grave.