



Indagini per diagnosi in situ nelle opere esistenti di legno

Dott. Nicola Macchioni

Dirigente di Ricerca CNR IBE

29/04/2021

Introduzione

Per fare chiarezza, inizierei con una serie di definizioni:

- **Indagine:** attività diligente e sistematica di ricerca, volta alla scoperta della verità intorno a fatti determinati; normalmente svolta attraverso delle analisi.
- **Analisi:** letteralmente vuol dire scomporre un fenomeno nei suoi elementi; nell'uso comune e con significato generico si intende «esame accurato», «studio», usato anche come sinonimo di indagine.
- **Diagnosi:** giudizio con cui si definisce un fenomeno in genere, analizzandone i sintomi e gli aspetti con cui si manifesta.

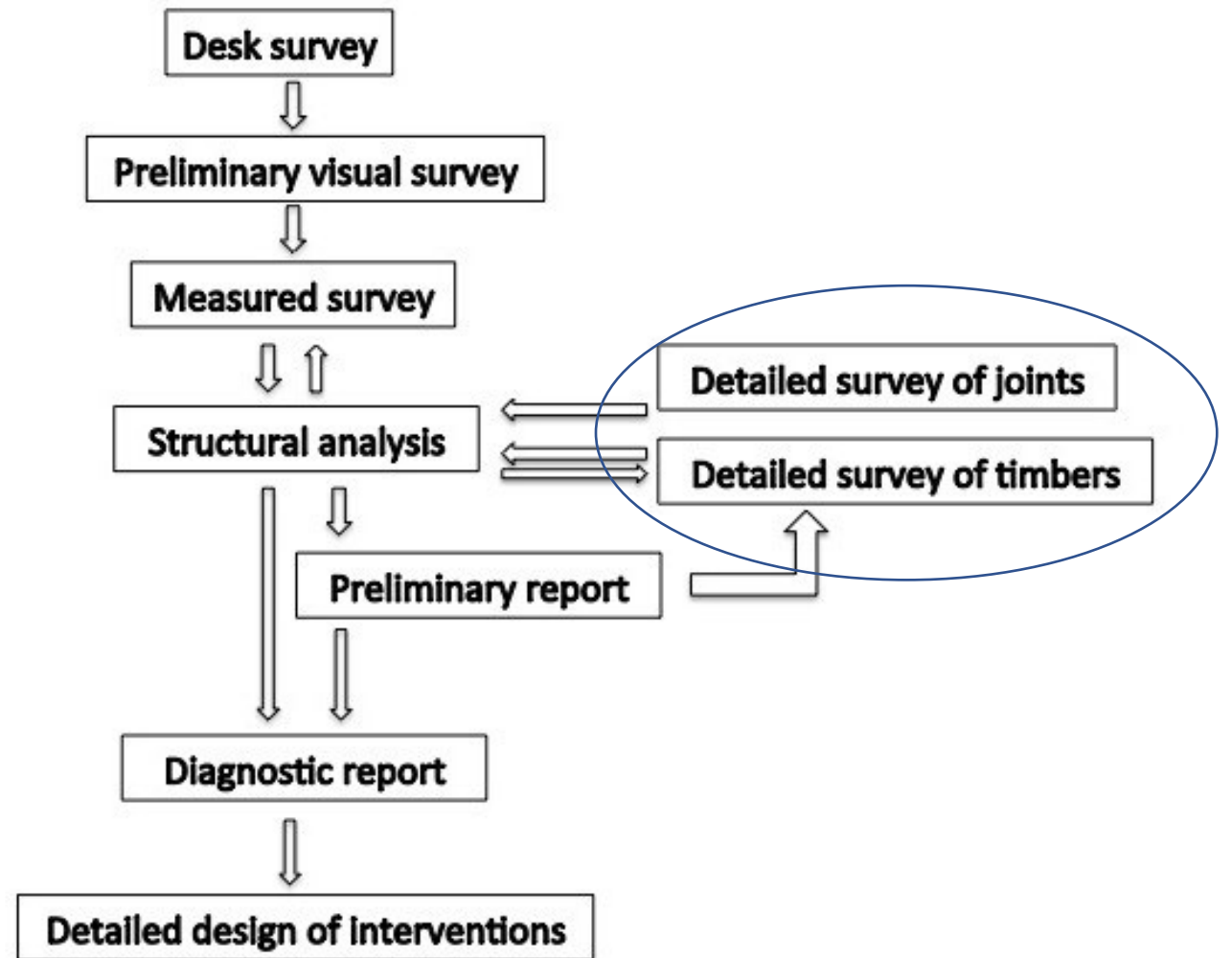
Nel nostro caso si intende dunque che attraverso una serie di indagini (analisi) in situ si arriva ad emettere un giudizio per comprendere lo stato di conservazione di strutture di legno esistenti.

Importante chiarire alcuni aspetti: io sono un *tecnologo del legno* e svolgo le indagini in situ, ma il giudizio sullo stato di conservazione lo può emettere solamente chi è in grado di fare *analisi strutturali*, beninteso attraverso le informazioni che gli vengono fornite dalle indagini.

La diagnosi ben informata e correttamente condotta porterà quindi ad una **Prognosi** efficace.

Introduzione

Questo schema è indicato per le strutture storiche, ma la procedura descritta è comunque valida per qualsiasi tipo di struttura. Potranno cambiare le tipologie di analisi nel corso delle indagini.



Tipologie di strutture

Le strutture esistenti corrispondono a due tipologie principali:

1. Strutture di legno massiccio (che comprendono anche le strutture storiche)
2. Strutture di pannelli ingegnerizzati (fatte di elementi incollati)

La materia prima è sempre e comunque il legno, ma nel caso delle strutture ingegnerizzate l'importanza degli incollaggi è sostanziale.

Peculiarità del legno

- **Variabilità** (identificazione del legname – difettosità)
- **Igroscopicità** (misura/stima dell'umidità del legno)
- **Anisotropia** – Ortotropia (difettosità – nodi strutturali)
- **Biodegradabilità** (degrado biotico, principalmente da funghi e insetti)

Normativa

Un percorso diagnostico per le strutture di legno massiccio esiste ed è descritto da due norme scritte per le strutture storiche, ma la metodologia può essere applicata su qualsiasi struttura di legno massiccio:

- UNI 11119:2004 (+ UNI 11138)
- UNI EN 17121:2019

Per le strutture di legno ingegnerizzato non esiste (ancora) nulla di normato in maniera organica



<p>NORMA ITALIANA</p>	<p>Beni culturali Manufatti lignei Strutture portanti degli edifici - Ispezione <i>in situ</i> per la diagnosi degli elementi in opera</p>	<p>UNI 11119</p> <p>LUGLIO 2004</p>
	<p>Cultural heritage Wooden artefacts Load-bearing structures - On site inspections for the diagnosis of timber members</p>	
<p>CLASSIFICAZIONE ICS</p>	<p>91.080.20</p>	
<p>SOMMARIO</p>	<p>La norma stabilisce obiettivi, procedure e requisiti per la diagnosi dello stato di conservazione e la stima della resistenza e della rigidità di elementi lignei in opera nelle strutture portanti di edifici compresi nell'ambito dei beni culturali, attraverso l'esecuzione di ispezioni <i>in situ</i> e l'impiego di tecniche e metodologie di prova non distruttive.</p>	

NORMA EUROPEA	Conservazione del patrimonio culturale - Strutture storiche in legno - Linee guida per la valutazione in situ di strutture in legno portanti	UNI EN 17121
		OTTOBRE 2019
	Conservation of cultural heritage - Historic timber structures - Guidelines for the on-site assessment of load-bearing timber structures	
	<p>La norma fornisce le linee guida sui criteri da utilizzare per la valutazione in situ di strutture portanti in legno negli edifici storici. È destinata a tutti coloro che si occupano della conservazione degli edifici del patrimonio che contengono elementi in legno, dai proprietari degli edifici o dalle autorità che ne sono responsabili ai professionisti che sono coinvolti. Dovrebbe inoltre supportare il processo decisionale in merito alla necessità di misure immediate. Il suo scopo è garantire che il rilevamento e la valutazione delle condizioni forniscano i dati necessari per l'analisi storica, la valutazione della sicurezza strutturale e la pianificazione delle opere di intervento.</p> <p>La norma è applicabile a qualsiasi tipo di elemento in legno e a qualsiasi tipo di strutture storiche in legno. Non si applica agli elementi in legno realizzati con pannelli a base di legno lamellare incollato o pannelli di legno assemblati.</p> <p>La norma fornisce una procedura completa per la valutazione in situ. È possibile effettuare una valutazione sufficiente anche quando non vengono seguite tutte le fasi a condizione che venga effettuata una valutazione pratica e tecnica del danno riscontrato basata sulla responsabilità dei professionisti coinvolti.</p> <p>In ogni paese, il documento dovrebbe essere applicato in conformità con la legislazione e le normative nazionali.</p>	

UNI EN 17121

La procedura richiesta per l'analisi e la valutazione in opera di una struttura di legno prevede due fasi di indagine: **una valutazione preliminare** che condurrà ad una analisi strutturale e ad un rapporto diagnostico preliminare, il quale dovrà prevedere tempi e modalità per l'esecuzione della seconda fase, **la valutazione diagnostica di dettaglio**. È sempre richiesto un approccio olistico, che consideri e valuti la struttura nel suo insieme, e non solo le singole membrature e i nodi strutturali.

Sebbene sembri suggerire un percorso lineare, è essenziale tenere presente che il confronto fra i professionisti coinvolti può richiedere di approfondire indagini che si consideravano concluse.

Ad esempio, l'analisi visiva preliminare potrebbe sollevare domande a cui si deve rispondere con uno studio storico più approfondito, in grado di documentare i cambiamenti osservati nella struttura.

Fasi dell'indagine preliminare

1. **studio storico** mirato a fornire informazioni e documentazione utili per determinare la storia della struttura e, se possibile, la cronologia dei carichi sopportati;
2. **analisi visuale preliminare** atta ad ottenere una visione d'insieme della struttura che sia sufficiente a pianificare le fasi successive, identificando anche quali opere vadano predisposte per ottenere un adeguato accesso alle singole membrature, in vista delle analisi previste nella seconda fase;
3. **rilievo geometrico** per determinare la disposizione generale degli elementi strutturali e individuare i problemi principali. Questa indagine dovrebbe includere la misurazione delle dimensioni delle singole membrature che sono fondamentali per la valutazione strutturale preliminare. Dovrebbero inoltre essere rilevati eventuali segni di degrado o problemi strutturali più evidenti, che dovranno essere esaminati in maniera più dettagliata nella fase successiva;

- 4. analisi strutturale preliminare** per determinare gli sforzi e le tensioni complessive, la tipologia strutturale di ciascuna membratura e i livelli generali di sollecitazione e deformazione all'interno della struttura;
- 5. rapporto preliminare** che includa una descrizione generale della struttura e delle sue condizioni attuali, con una nota riguardo alle aree di interesse che richiedono uno studio più dettagliato e che potrebbero richiedere misure e azioni immediate di messa in sicurezza. Il rapporto preliminare deve includere anche una descrizione delle eventuali patologie, delle condizioni di servizio e del comportamento strutturale. Devono essere identificate le aree vulnerabili, insieme a membrature e collegamenti che sopportano elevate tensioni e/o le deformazioni maggiori. Tutti i problemi e/o le caratteristiche di riduzione dei carichi all'interno della struttura devono essere annotate insieme a una valutazione preliminare generale delle condizioni attuali della struttura e delle linee guida e delle proposte per la prosecuzione dell'indagine. Queste linee guida specificheranno qualsiasi ulteriore lavoro di indagine che potrebbe essere necessario.

Valutazioni diagnostiche di dettaglio

A partire dai risultati dell'indagine preliminare, deve includere la misurazione delle zone di degrado biotico e strutturale, la classificazione strutturale a vista delle singole membrature e i risultati delle analisi non distruttive, ove si sia ritenuto appropriato eseguirle; l'indagine dovrà inoltre essere estesa alla valutazione dello stato di conservazione dei nodi strutturali.

- Risultati che si ottengono attraverso:

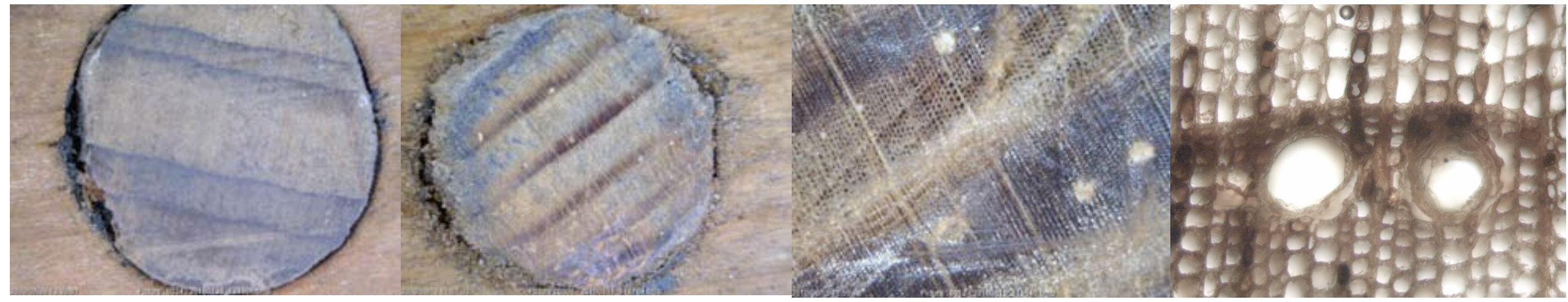
- 1. Identificazione delle specie legnose**
- 2. Misurazione dell'umidità del legno**
- 3. Classificazione strutturale a vista**
- 4. Caratterizzazione del degrado**



Identificazione del legno

L'identificazione del legno può essere fatta attraverso un'osservazione delle caratteristiche macroscopiche superficiali, ma in molti casi queste possono rivelarsi non sufficienti.

In tali situazioni si renderà necessaria la raccolta di un campione di piccole dimensioni (un cubo di circa 5 mm di lato) da inviare ad un laboratorio specializzato per l'identificazione del legno attraverso analisi anatomica



Misurazione dell'umidità del legno

La misurazione dell'umidità del legno ha l'utilità di determinare la reale classe d'uso delle varie porzioni della struttura ed in particolare di quelle più a rischio di attacco fungino; la classe d'uso secondo la normativa europea (UNI EN 335) determina infatti il rischio di attacchi biotici in funzione dell'umidità del legno in uso.

L'umidità del legno viene misurata in opera per mezzo di un igrometro elettrico portatile. Secondo la normativa attuale tramite igrometri elettrici portatili è possibile effettuare solamente delle **stime e non misure** dell'umidità del legno. In ogni caso, acquistando attrezzature di livello professionale e attenendosi alle istruzioni del costruttore, è possibile ottenere stime affidabili, sufficienti a determinare la presenza o meno di un ambiente adatto allo sviluppo di carie fungine.



Use class	General use situation ^a	Occurrence of biological agents ^{b, c}				
		Disfiguring fungi	Wood-destroying fungi	Beetles	Termites	Marine borers
1	Interior, dry	-	-	U	L	-
2	Interior, or under cover, not exposed to the weather. Possibility of water condensation	U	U	U	L	-
3	Exterior, above ground, exposed to the weather. When sub-divided: 3.1 limited wetting conditions 3.2 prolonged wetting conditions	U	U	U	L	-
4	Exterior in ground contact and/or fresh water	U	U	U	L	-
5	Permanently or regularly submerged in salt water	U ^d	U ^d	U ^d	L ^d	U
<p>U = ubiquitous in Europe and EU territories L = locally present in Europe and EU territories</p> <p>^a Border line and extreme cases of use of wood and wood-based products exist. This can cause the assignment of a use class that differs from that defined in this standard (see Annex B).</p> <p>^b It may not be necessary to protect against all biological agents listed as they may not be present or economically significant in all service conditions in all geographic regions, or may not be able to attack some wood-based products due to the specific constitution of the product.</p> <p>^c See Annex C.</p> <p>^d The above water portion of certain components can be exposed to all of the above biological agents.</p>						

Classificazione strutturale a vista



La classificazione strutturale a vista è uno snodo fondamentale dell'intera operazione, perché permette di stimare le tensioni ammissibili degli elementi strutturali, da applicare alle sezioni resistenti residue. Se tutte le operazioni descritte finora richiedono esperienza specifica, questa, ancora più delle altre, richiede personale altamente qualificato.

La norma UNI 11119 propone una tabella di classificazione, specificando quali difetti misurare e come, ed indicandone i limiti dimensionali per le diverse categorie in opera.

Il prEN 17121 non riporta tabelle di classificazione, ma dice che la classificazione deve essere fatta.

Regole di classificazione per elementi strutturali lignei in opera

CARATTERISTICA		CATEGORIA IN OPERA		
		I	II	III
Smussi		$\leq 1/8$	$\leq 1/5$	$\leq 1/3$
Lesioni varie Cretti da gelo Cipollature		assenti	assenti	ammissibili, purché in misura limitata
Nodi singoli		$\leq 1/5$ ≤ 50 mm	$\leq 1/3$ ≤ 70 mm	$\leq 1/2$
Gruppi di nodi		$\leq 2/5$	$\leq 2/3$	$\leq 3/4$
Inclinazione della fibratura (pendenza %)	in sezione radiale	$\leq 1/14$ (~7%)	$\leq 1/8$ (~12%)	$\leq 1/5$ (20%)
	in sezione tangenziale	$\leq 1/10$ (10%)	$\leq 1/5$ (20%)	$\leq 1/3$ (~33%)
Fessurazioni radiali da ritiro		ammissibili, purché non passanti		

Modalità di misurazione delle caratteristiche quantificabili sugli elementi strutturali lignei in opera

Smussi	Il minore dei due rapporti tra le dimensioni dei cateti dello smusso e la dimensione del lato corrispondente della sezione efficace.
Nodi singoli	Il rapporto fra il diametro minimo del nodo e la dimensione del lato della sezione efficace su cui compare.
Gruppi di nodi	Il rapporto fra la somma dei diametri minimi dei nodi compresi in un tratto di 150 mm e la dimensione del lato della sezione efficace su cui compare.
Inclinazione della fibratura	L'inclinazione delle fessurazioni da ritiro rispetto all'asse longitudinale dell'elemento, misurata sulle facce delle membrature, in zone distanti da nodi o da altre caratteristiche che possano comportare forti deviazioni localizzate della fibratura (per esempio a causa di nodi); la base minima di misura per la determinazione di questo parametro è pari a 150 mm, misurati parallelamente alla dimensione maggiore dell'elemento.

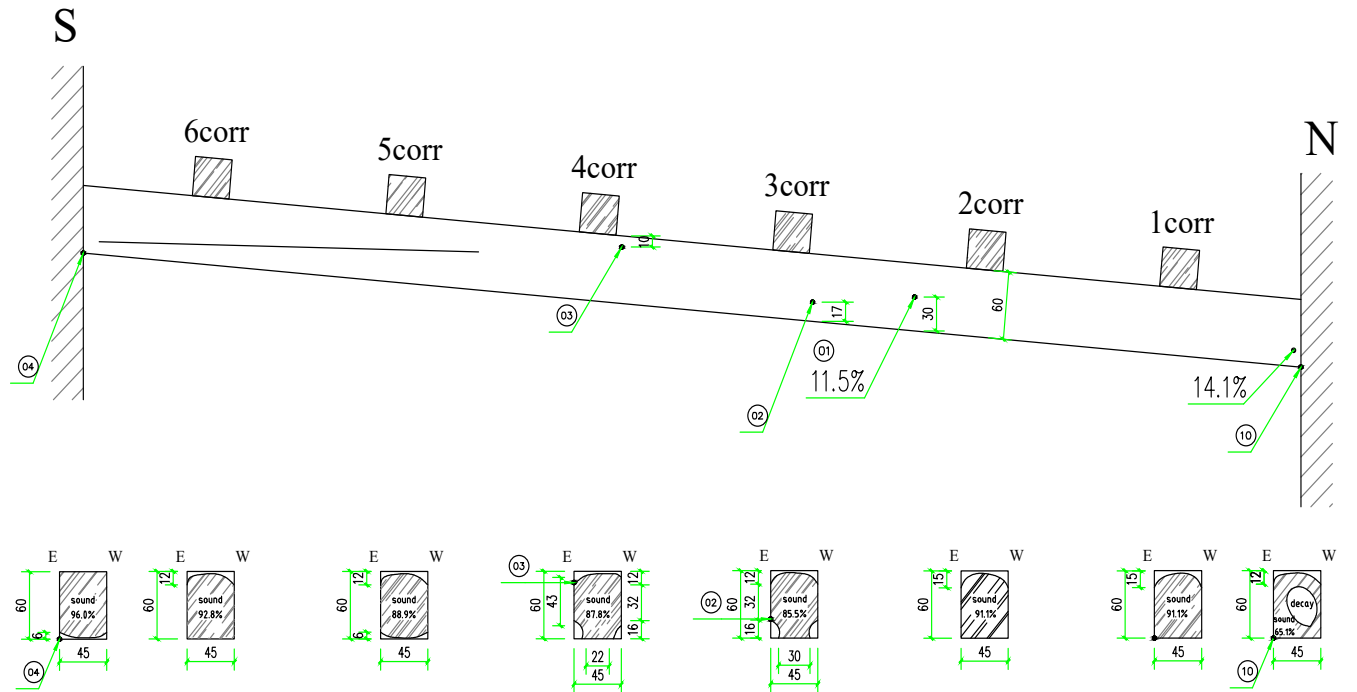
Caratterizzazione del degrado

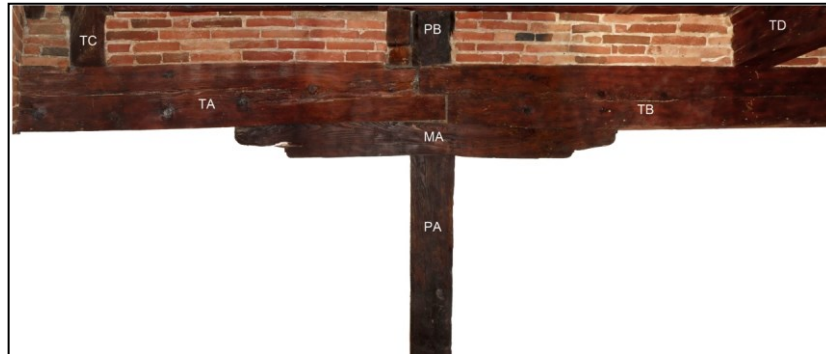
La caratterizzazione del degrado biologico prevede di identificare l'agente del degrado (in genere funghi della carie o insetti), di valutare se l'attacco sia attivo o pregresso e di stimare le dimensioni della porzione interessata, per determinare le sezioni resistenti residue.



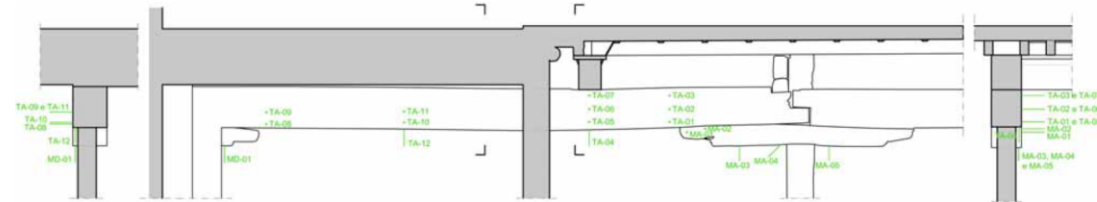


T3
East face





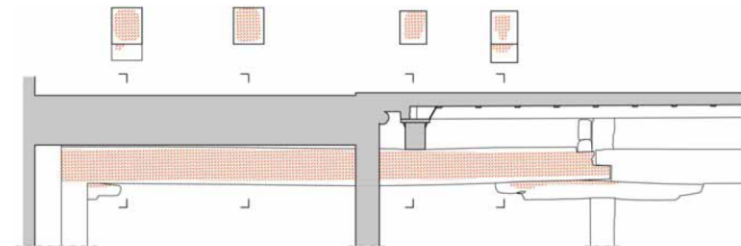
Saggi resistografici



Dimensione trave, difetti e categoria

Codice elemento	Base (cm)	Altezza (cm)	Smussi	Inclinazione fibratura	Nodo	Diametro nodo (cm)	Sezione corrisp. (cm)	Estensione nodo	Categoria
TA	30 - 34	37 - 41	No	Trascurabile					Non adatta

Estensione del degrado



caratterizzazione dei nodi strutturali

Non esistono al momento metodologie affidabili e riconosciute per determinare in situ le capacità meccaniche dei nodi strutturali di legno, ma è possibile valutarne l'efficienza attraverso la misurazione delle caratteristiche geometriche, anche avvalendosi dei trapani resistografici per il rilievo delle parti non a vista, annotando qualsiasi modificazione rispetto allo stato iniziale presunto, tenendo conto delle modalità di lavorazione e delle possibili variazioni occorse durante l'uso.





Tabella di classificazione UNI 1119:2004

Prospetto 3 - Tensioni ammissibili per i principali tipi di elementi strutturali lignei, classificati in opera, applicabili per umidità del legno = 12%.

SPECIE	CATEGORIA IN OPERA	VALORI (N/mm ²)				
		Resistenza a compressione parallela alla fibratura	Resistenza a flessione parallela alla fibratura	Resistenza a trazione parallela alla fibratura	Resistenza al taglio parallelo alla fibratura	Modulo di elasticità a flessione parallelo alla fibratura
Abete bianco (<i>Abies alba</i> Mill.)	I	11	11,5	11	0,9	13 000
	II	9	10	9	0,8	12 000
	III	7	7,5	6	0,7	11 000
Abete rosso (<i>Picea abies</i> Karst.)	I	10	11	11	1,0	12 500
	II	8	9	9	0,9	11 500
	III	6	7	6	0,8	10 500
Larice (<i>Larix</i> spp.)	I	12	13	12	1,1	15 500
	II	10	11	9,5	1,0	14 500
	III	7,5	8,5	7	0,9	13 500
Pini (<i>Pinus</i> spp.)	I	11	12	11	1,0	13 000
	II	9	10	9	0,9	12 000
	III	7	8	6	0,8	11 000
Castagno (<i>Castanea sativa</i> Mill.)	I	11	12	11	0,8	10 000
	II	9	10	9	0,7	9 000
	III	7	8	6	0,6	8 000
Pioppo (<i>Populus</i> spp.)	I	10	10,5	9	0,6	9 000
	II	8	8,5	7	0,5	8 000
	III	6	6,5	4,5	0,4	7 000
Quercia (<i>Quercus</i> spp.)	I	12	13	12	1,2	13 500
	II	10	11	10	1,0	12 500
	III	7,5	8,5	7	0,9	11 500

Strutture di pannelli ingegnerizzati

Intendo con il termine pannelli ingegnerizzati elementi strutturali fatti con elementi di legno ricomposti tramite colle strutturali.

Questi hanno le stesse peculiarità del legno che sono state elencate in precedenza, anche se la specie legnosa da noi cambia poco, con in più il fatto che la solidarizzazione tra i singoli elementi è data dalla qualità dell'incollaggio.

Un altro aspetto importante è che i difetti importanti dovrebbero essere stati eliminati, ma anche essere maggiormente sparsi, evitandone la concentrazione.

In definitiva, si tratta di pannelli nei quali la variabilità del legno viene più o meno limitata a seconda della tipologia di pannello.

I più diffusi sono sicuramente gli elementi di legno lamellare incollato e i pannelli CLT (nei quali anche l'ortotropia è limitata).

Per questo tipo di strutture, quindi, le metodologie diagnostiche devono appurare quanto descritto in precedenza per le strutture di legno massiccio.

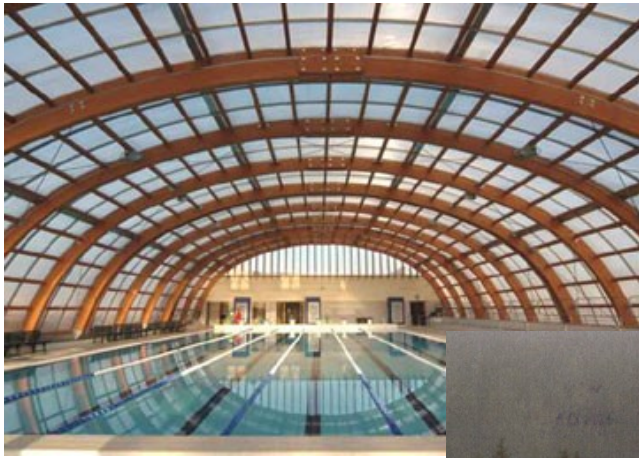
Considerazione fondamentale:

la metodologia diagnostica descritta per le strutture di legno massiccio è eminentemente visuale.

Si tratta quindi di una metodologia sempre e comunque applicabile?

Legno Lamellare Incollato

Per la maggior parte delle strutture di l.l.i. sì, tenendo conto del fatto che la struttura stessa è considerata un fondamentale elemento architettonico.



A questo tipo di analisi se ne può aggiungere una distruttiva: la valutazione della qualità dell'incollaggio



Strutture CLT

Per le strutture CLT no



La tipologia costruttiva tipica del CLT tipicamente:

- è a box-frame, quindi non gerarchica: tutto gli elementi sono portanti;
- ha gli elementi strutturali nascosti da una serie di strati protettivi/isolanti

Ciò impone una serie di riflessioni sull'operatività diagnostica:

- non è possibile focalizzare l'attenzione su elementi e nodi strutturali principali;
- per iniziare l'indagine bisognerà focalizzare l'attenzione su punti a maggior rischio di degrado.

Se gli elementi portanti di legno sono totalmente nascosti alla vista ne consegue che i punti a maggior rischio di degrado siano:

1. quelli in cui affiorano chiaramente dei problemi;
2. quelli considerati a rischio a livello progettuale o esecutivo;

Esiste anche un rischio intrinseco, causato da incidenti.

Dobbiamo probabilmente tenere in conto una futura presenza di attacchi da termiti

Casi in cui affiorano chiaramente dei problemi

Il rischio concreto è che quando il problema emerge in superficie, dopo avere attraversato vari strati, il legno sia oramai compromesso.



CONFERENCE TRACK TOUR 2021

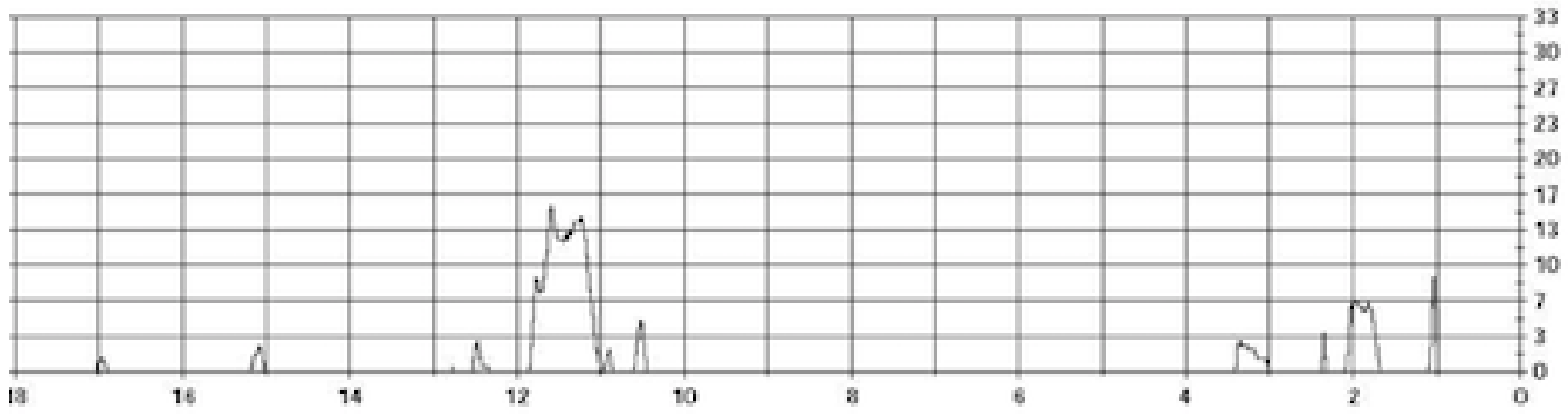
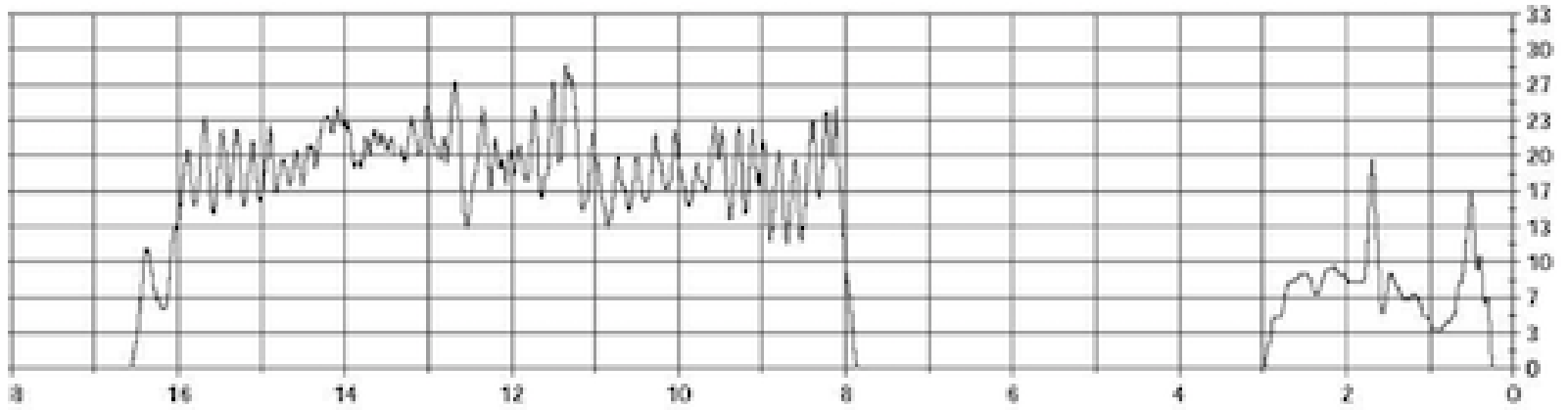


casi considerati a rischio a livello progettuale

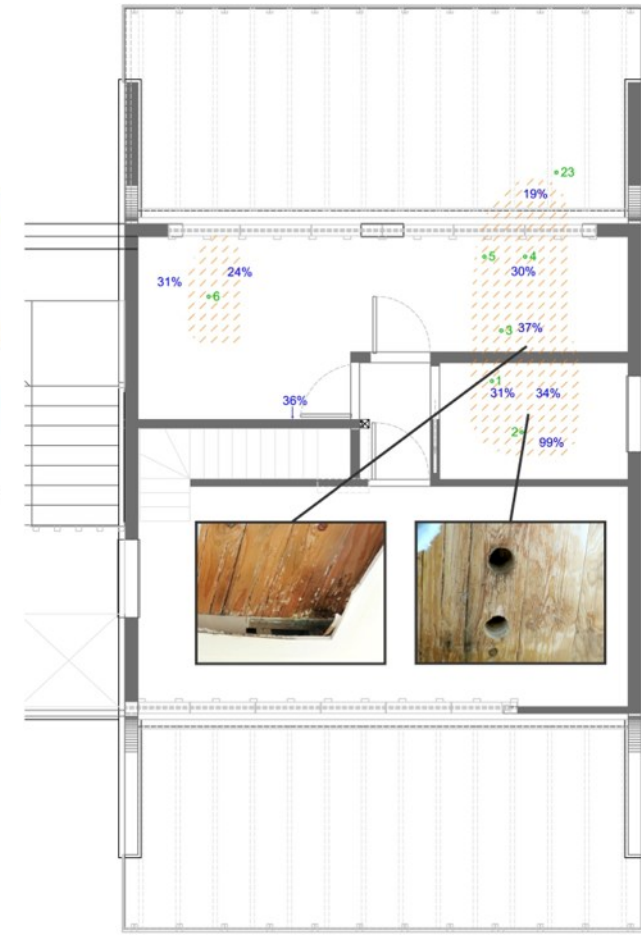
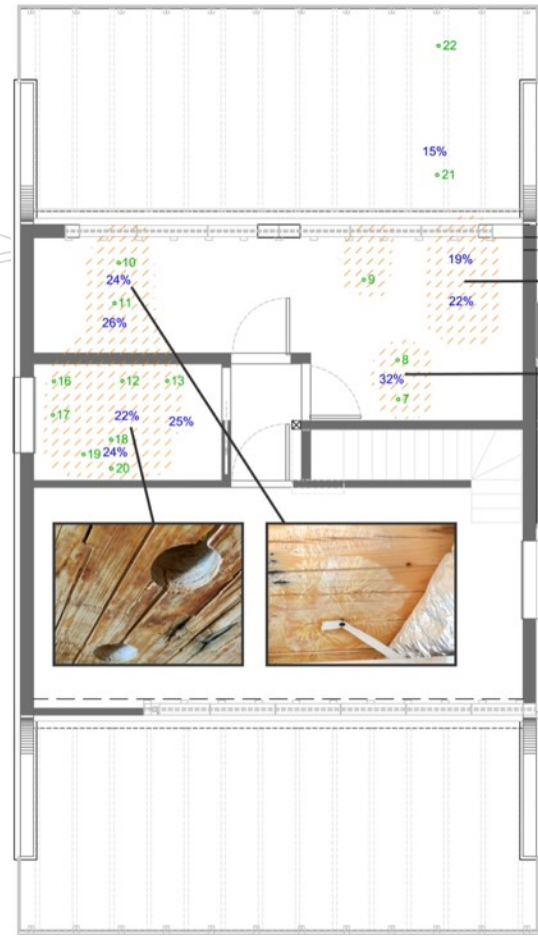
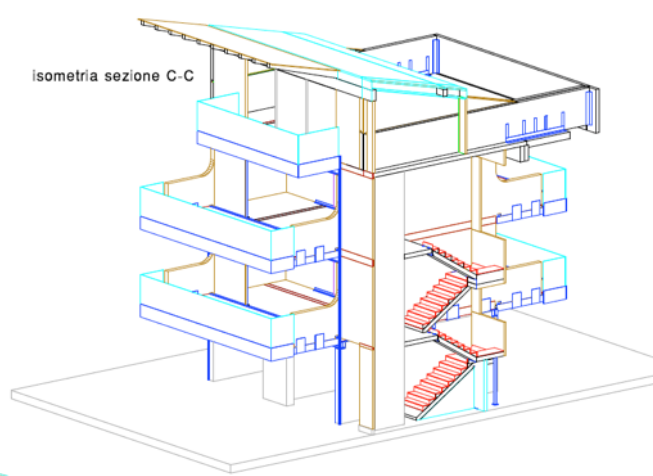


CONFERENCE TRACK TOUR 2021





CONFERENCE TRACK TOUR 2021

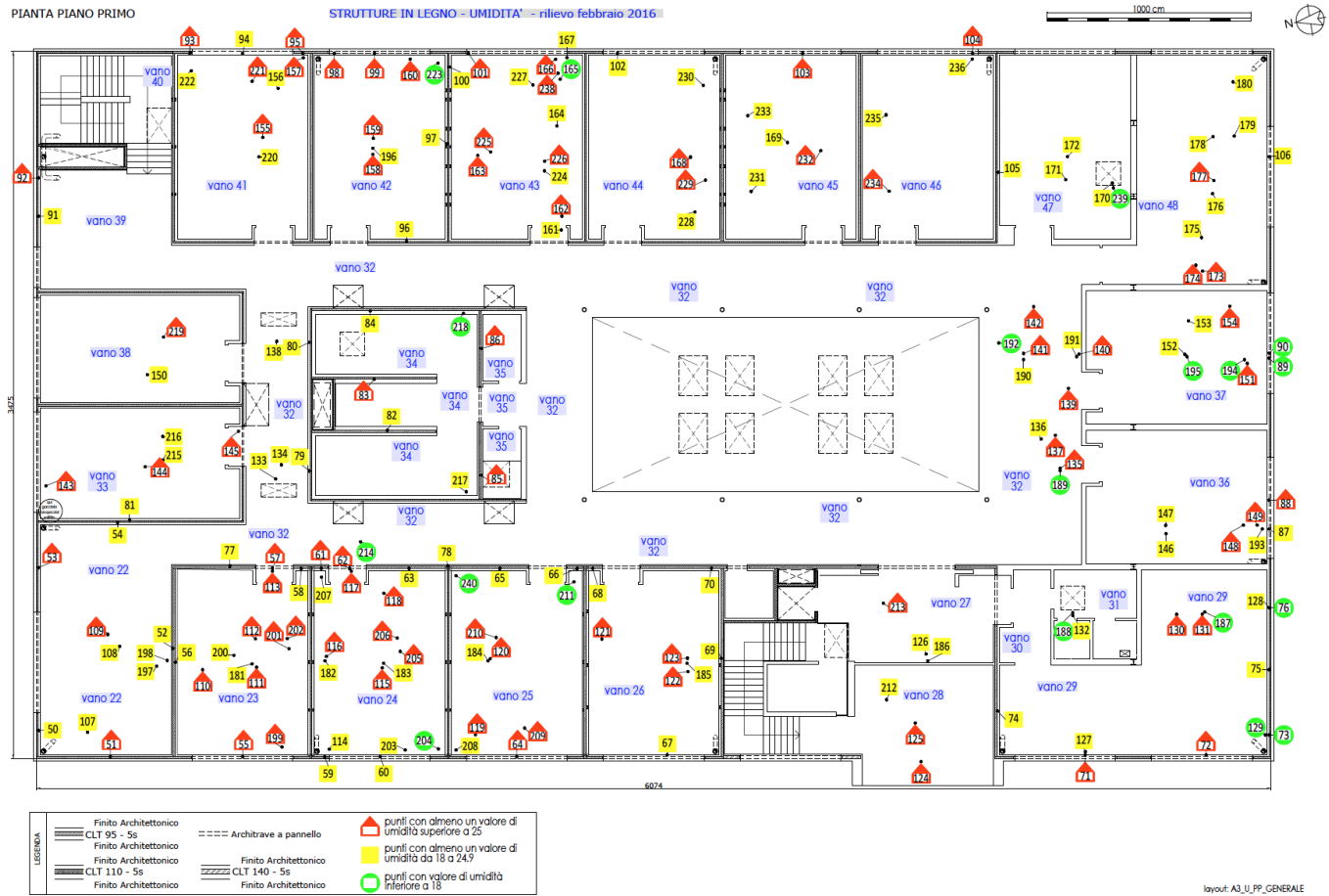




Un esempio di monitoraggio

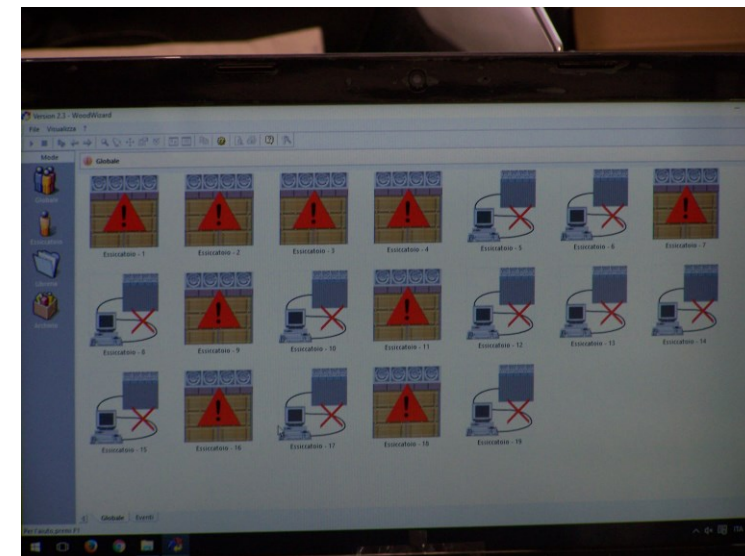
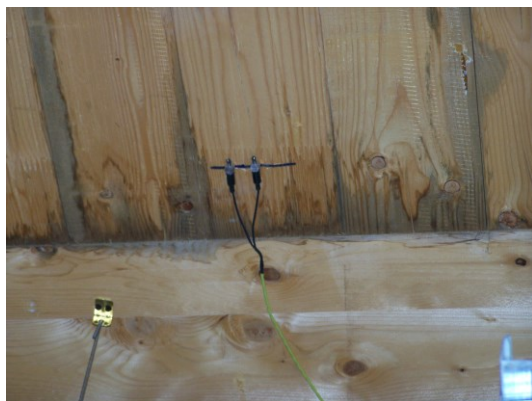


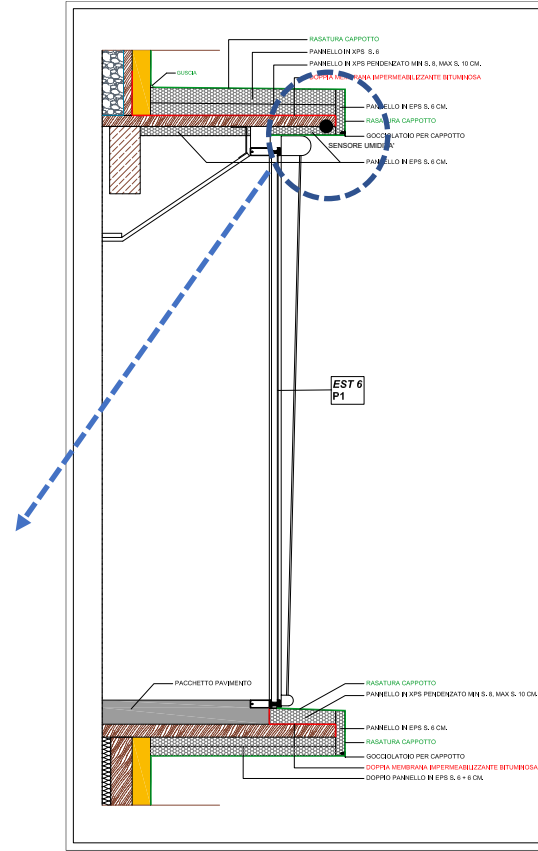
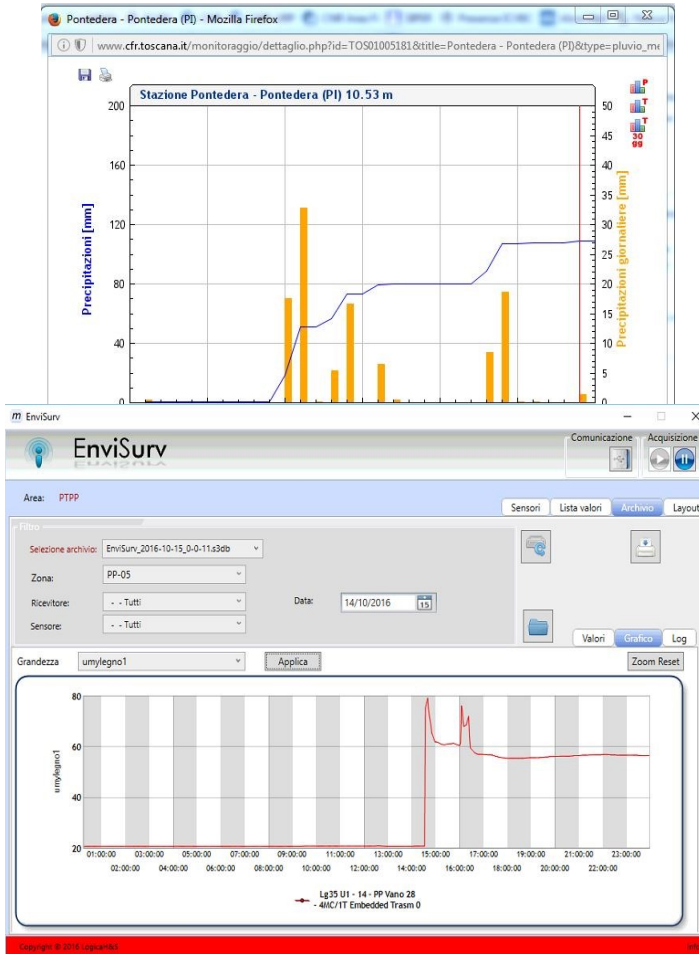
CONFERENCE TRACK TOUR 2021





CONFERENCE TRACK TOUR 2021





Conclusioni

- Malgrado il sentimento popolare il problema delle strutture di legno non è il fuoco, ma l'acqua;
- Le strutture di legno tradizionali sono state costruite avendo ben presente questo problema;
- Quelle arrivate fino a noi hanno approfittato di materiale selezionato bene (ma non sempre durabile); accorgimenti progettuali per durare; realizzazione accurata; manutenzione.
- Le strutture recenti difettano su :
 - progettazione
 - esecuzione
 - manutenzione

in particolare per quanto riguarda la protezione dall'acqua e la possibilità di asciugarsi

Ha più senso essere costretti a monitorare l'umidità (allo stato attuale in maniera puntuale) o piuttosto insistere su dettagli progettuali e costruttivi verso una naturale protezione dal degrado?

Organizzato da:



In collaborazione con:



Promosso da:



Partner tecnico:



Con il patrocinio di:



Con il supporto di:



Media partner:



Partner tecnico finanziario:



Premium partner:

