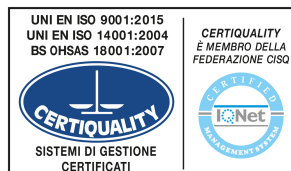


DIAGNOSI DELLE STRUTTURE

**TECNICA**MP



**R  
A  
P  
P  
O  
R  
T  
O  
  
T  
E  
C  
N  
I  
C  
O**

## Relazione A2

**Indagini e prove sperimentali su elementi lignei  
della copertura e del sottotetto di Palazzo Spada  
Piazza Capo di Ferro n.1 - Roma**



ROMA - Tel./Fax 06.4060300 - [info@tecnicamp.com](mailto:info@tecnicamp.com)

Firenze Tel. 055.685041 - Olbia Cell. 392. 1966958 - Catania Cell. 328. 6623626



OPENGENTIVO DI DOC. 1938/2061 - N. Pos. 90112  
TECNICA MP s.r.l. Sede legale: Via Rapagnano 77 - 00138 Roma - R.E.A. n°1154744 - Cap.Soc. 50.000 € - P.I./C.F.09317501006  
Copia conforme all'originale pag. 1 di 32

La copia originale e' conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio

Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:

MILITELLO STEFANO (Delegato, Progettista delle strutture), ARCORACI Eduardo (Direttore dei Lavori)

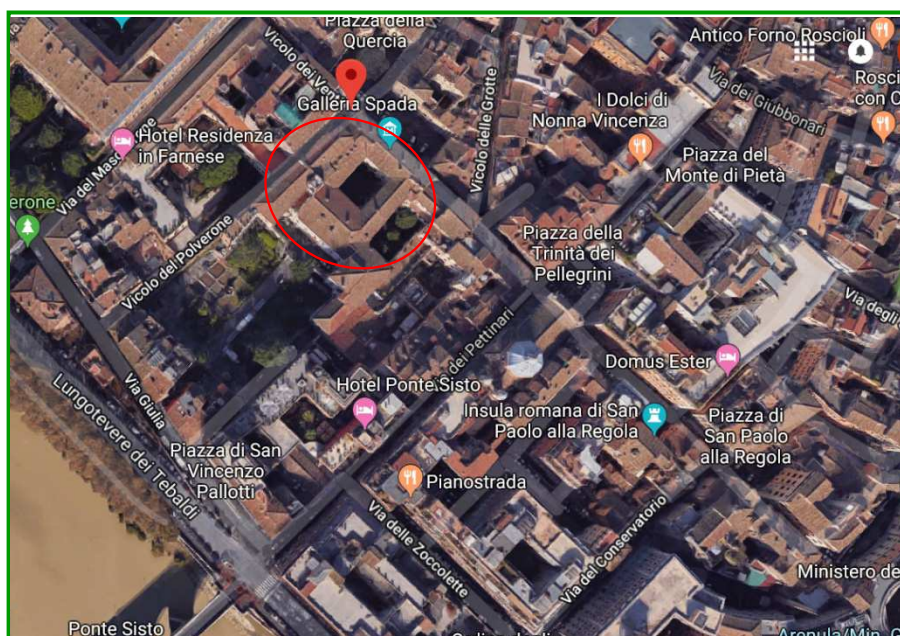
## Indice generale

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIZIONE DELL'IMMOBILE E BREVI CENNI STORICI .....</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIZIONE ATTREZZATURE UTILIZZATE.....</b>	<b>4</b>
<b>4. INDAGINI SU ELEMENTI LIGNEI DEL SOTTOTETTO .....</b>	<b>7</b>
<b>5. ANALISI DEI RISULTATI.....</b>	<b>28</b>



## 1. Premessa

Si riportano in questa relazione le indagini eseguite nell'ambiente oggetto di intervento definito nel seguito "A2"



Vista aerea con ubicazione del complesso immobiliare

## 2. Descrizione dell'immobile e brevi cenni storici

L'edificio, ubicato nel centro storico a ridosso tra Piazza Farnese e Via Giulia, fu fatto realizzare nel 1540 per volere del cardinale Girolamo Capodiferro e nel secolo successivo (1632), fu acquistato dal cardinale Bernardino Spada che incaricò Francesco Borromini al fine di inglobarlo al confinante Palazzo Spada con la finalità di apporre delle modifiche di tipo architettonico-strutturali.

Attualmente, è la Sede della Galleria Spada (piano terra, primo e secondo) e del Consiglio di Stato nei piani superiori.

Il complesso immobiliare, che si presenta alquanto articolato, è costituito da n. 5 livelli fuori terra (piano terra, piano primo, secondo, terzo e quarto); le strutture portanti verticali sono realizzate in muratura, mentre quelle poste a sostegno delle falde di copertura e del sottotetto, sono realizzate da elementi e capriate in legno.





Vista della copertura sul locale indagato

### 3. Descrizione attrezzature utilizzate

#### 3.1 Indagini e prove su strutture lignee

##### 3.1.1 Rilevatore dell'umidità

Il rilevatore PCE-WMH3 è uno strumento di precisione elettronico che viene usato per misurare l'umidità assoluta del legno; il rilevatore, dall'impugnatura a forma di martello, ha una compensazione di temperatura e curve caratteristiche per 11 tipi di legno differente.

##### Caratteristiche tecniche

- Campi di misura: 6÷50 % di umidità assoluta
- Precisione: di  $\pm 2.0$  % fino a  $\pm 10$  %
- Risoluzione: 0,1 %
- Elettrodi: 3,5x12 mm – 2,5x8 mm di diametro
- Peso: 600 g



##### 3.1.2 Penetrometro da legno DRC (Diagnostic Research Company)

Il *wood pecker*, le cui caratteristiche tecniche sono indicate appresso, è sostanzialmente un penetrometro da legno, che utilizza uno sclerometro munito di apposito ago di penetrazione.

##### Caratteristiche tecniche





- Energia d'impatto 2,3 Nm;
- Limiti di utilizzo, spessore >100 mm.

### 3.1.3 Resistograph

L'analisi resistografica misura la resistenza opposta dal legno alla penetrazione di un ago di acciaio armonico con un diametro di 3 mm ed una lunghezza di 30 o 40 cm (a seconda dei casi), fornito di punta opportunamente ottimizzata, azionata da un sofisticato trapano. La punta è dotata di un movimento combinato di rotazione e di avanzamento a velocità costante.



### 3.1.4 Endoscopie

#### Caratteristiche tecniche

- Videoendoscopio digitale con sonda flessibile e scheda di memoria per l'acquisizione delle immagini.
- Display a colori TFT da 8,9 cm ( 3,5 ") di diagonale, 320 x 240 pixel.
  - ✓ -Testa di macchina fotografica impermeabile a collo di cigno (IP 67): Ø soli 8,2 mm;
  - ✓ Risoluzioni video: fino a 1280 x 720 dpi;
  - ✓ Risoluzioni foto: fino a 2048 x 1536 dpi;
- Numerosi extra: Immagine ruotare 180° o capovolgere, orizzontale / verticale;
- Zoom digitale: 4x
- Illuminazione infinitamente dimmerabile con 6 LED super luminosi;
- Torcia LED luminoso: 1W CREE LED, 50x più luminoso di LED normali;
- Temperature di funzionamento: 0 ° C a 45 ° C.



### 3.1.5 Indagini termografiche

#### Caratteristiche tecniche Termocamera Flir B335

Sensibilità Termica:	50 mK a 30° C
Intervallo di Temperatura dell'Oggetto:	da -20° C a +120° C
Campo Visivo (FOV):	25° x 19° /0.40 m
Campo spettrale:	7,5 a 13 µm
Risoluzione spaziale (IFOV) :	1.36 mrad
Focal Plane Array (FPA):	microbolometro non raffreddato



## 4. Indagini su elementi lignei del sottotetto

### 4.1 Generalità

Come tutte le strutture, anche quelle lignee, nel corso della loro vita, sono esposte all'azione del degrado.

La durabilità delle opere in legno è sicuramente influenzata dalle caratteristiche delle diverse specie legnose ma soprattutto dalla loro esposizione agli agenti biotici.

Oltre ai dissesti strutturali veri e propri (per rotture, sconnessioni, deformazioni eccessive, ecc.) ed a quelli dovuti a parametri ambientali quali umidità, temperatura e pH, esse sono esposte anche al degrado biologico (carie, attacchi da parte di insetti xilofagi), direttamente collegato alla natura organica del materiale e, talvolta, meno appariscente e più difficilmente quantificabile, la cui gravità è in stretto rapporto con la sua estensione e posizione nella struttura.

La diagnostica applicata alle strutture lignee ha lo scopo di determinarne, lo stato di conservazione e di valutarne la funzionalità strutturale, fornendo informazioni utili ad eliminare una serie di fattori di incertezza, tra i quali:

- la qualità del legno (specie legnosa, tipo, dimensione e distribuzione dei difetti, e delle anomalie);
- la presenza eventuale di degrado biologico (tipo di degrado, sua distribuzione, sezione resistente residua);
- la presenza eventuale di danni di tipo meccanico (fessurazioni, rotture, sconnessioni, deformazioni eccessive, ecc.).

Il procedimento dell'indagine diagnostica in sito è articolato nelle seguenti quattro fasi:

- 1) ispezione visiva;
- 2) rilievo geometrico delle strutture;
- 3) analisi strumentale;
- 4) elaborazione dei risultati.



## 4.2 Indagini sulle strutture lignee

### 4.2.1 - Fase 1: ispezione visiva

E' stata effettuata negli nell'ambiente di sottotetto osservando direttamente la superficie esterna degli elementi e mettendo in evidenza tutte le particolarità che hanno importanza ai fini dell'indagine (caratteri macroscopici e morfologici, difetti e anomalie varie). I difetti presi in considerazione sono quelli che condizionano le proprietà meccaniche del legno (nodi, fessurazioni, deviazione della fibratura, cretti da gelo, gallerie d'insetti, presenza di umidità, ecc.); di questi viene valutata la localizzazione e l'estensione. Per quanto riguarda il degrado biologico si fa riferimento principalmente agli attacchi da parte degli insetti xilofagi e dei funghi della carie, responsabili, spesso, di gravi diminuzioni della resistenza del legno; infatti, le strutture attaccate da funghi sono di fatto difficilmente sanabili e per questo si collocano al primo posto tra le più preoccupanti cause di degrado.

### 4.2.2 - Fase 2: rilievo geometrico delle strutture

Il rilievo geometrico è necessario per ubicare le indagini strumentali eseguite ai vari livelli dell'edificio, le caratteristiche geometriche delle strutture indagate (sezione degli elementi ed interasse) ed il loro stato di conservazione.

### 4.2.3 - Fase 3: analisi strumentale

E' stata eseguita mediante tecniche diagnostiche non distruttive applicate in situ, con lo scopo di integrare le analisi condotte visivamente, con particolare riferimento alle parti non visibili o non accessibili della struttura (tipicamente gli appoggi sulle murature e le parti interne degli elementi).

Nel caso specifico, dopo l'ispezione visiva, si è proceduto con l'analisi strumentale che è consistita nelle operazioni riportate di seguito:

- 1) determinazione dell'umidità del legno in opera;
- 2) prove resistografiche per individuare, nelle sezioni indagate, le seguenti caratteristiche interne al legno: variazioni di densità, grado di consistenza e di omogeneità, eventuali anomalie, etc;
- 3) indagini mediante penetrometro da legno Wood Pecker, per valutare alcune caratteristiche meccaniche del legno nei punti indagati;
- 4) indagini endoscopiche nelle strutture lignee ed agli appoggi delle stesse nelle murature, per la valutazione dello stato di conservazione del legno e della dimensione degli appoggi;
- 5) indagini termografiche per il rilievo di zone umide.





Le metodologie applicate consentono una valutazione dello stato generale del materiale riguardo l'omogeneità e la presenza di eventuali difetti (marcescenze, discontinuità, lesioni, variazioni di densità, etc.), dando anche indicazioni per la valutazione di alcune caratteristiche meccaniche.

#### 4.2.3.1 – Determinazione dell'umidità del legno e classi di rischio

Il legno è un materiale poroso e igroscopico, cioè scambia continuamente molecole di acqua con l'aria che lo circonda e tende sempre ad equilibrarsi alle condizioni climatiche dell'ambiente in cui è immerso.

Il rischio di degrado di tipo biotico è direttamente proporzionale alla quantità di umidità contenuta nel legno, risulta pertanto importante dove questo è posizionato. In un manufatto ligneo vi possono essere differenze tra i singoli elementi a seconda se questi sono più o meno protetti, a contatto con l'acqua, con il terreno, con l'acqua marina.

Per questo la norma UNI-EN 355 prevede cinque classi di rischio biotico (vedi tabella sottostante).

Classe di rischio	Descrizione	Umidità prevedibile	Esempi	Rischio biotico	
				primario	secondario
1	Legno coperto (interni)	12% o comunque minore del 20%	Legno tetti e solai	Insetti	
2	Con rischi di umidificazione	Occasionalmente sopra 20%	Legno nei tetti	Carie	Insetti muffe
3	Non a contatto con il terreno ma non coperto	Frequentemente sopra 20% ma protetto dal dilavamento	Finestre porte esterne	Carie	Insetti muffe
		Non protetto dal dilavamento	Staccionate	Carie	Insetti muffe
4	Nel terreno o in acqua dolce	Permanentemente sopra 20%	Paleria	Carie	Insetti muffe
5	In mare	Permanentemente sopra 20%	Paleria	Organis. marini carie	



#### *4.2.3.2 - Analisi 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, capace di misurare la resistenza opposta dal legno alla penetrazione di un ago di acciaio armonico con un diametro di 3 mm ed una lunghezza di 30 o 40 cm (a seconda dei casi), fornito di punta opportunamente ottimizzata, azionata da un sofisticato trapano. La punta è dotata di un movimento combinato di rotazione e di avanzamento a velocità costante.

Dato che il foro lasciato dallo strumento ha un diametro relativamente piccolo rispetto alle normali sezioni degli elementi strutturali, esso non lascia tracce visibili, inoltre la sua influenza sulla resistenza strutturale dell'elemento indagato, è considerata trascurabile.

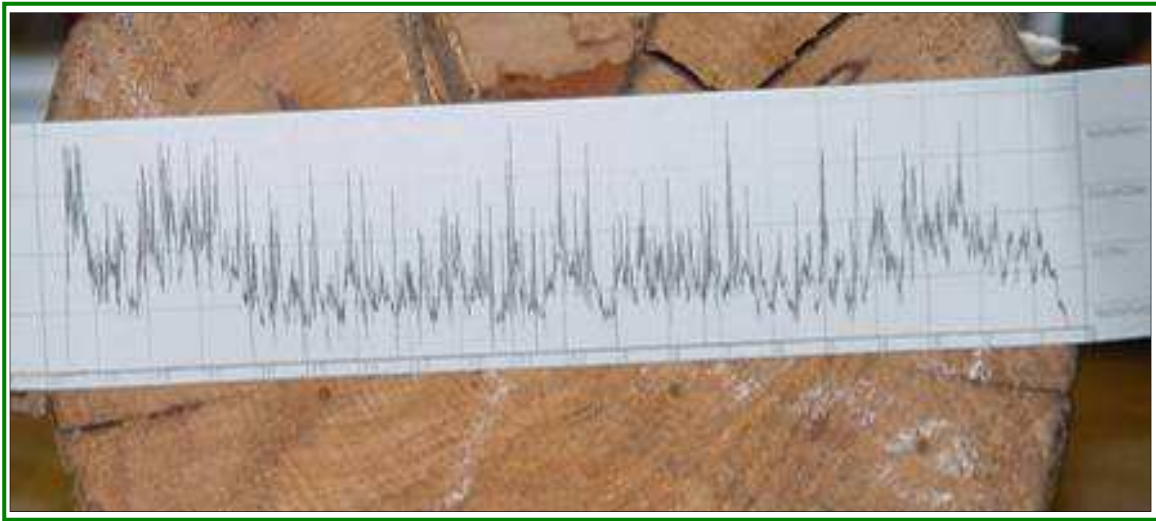
La resistenza opposta alla penetrazione dipende principalmente dalla densità del legno. Quest'ultima rappresenta uno dei valori caratteristici più importanti del materiale, soprattutto in relazione alla sua resistenza e permette di trarre conclusioni sulla qualità del legno in una particolare sezione ed in ultima analisi sul grado di tenuta che il legno può avere in quella stessa sezione.

Lo strumento individua le variazioni di densità interne al legno, lungo un percorso preso in esame e restituisce dei grafici (diagrammi) denominati “profili di densità”, nei quali sull'asse delle ordinate è riportata la resistenza opposta alla penetrazione (espressa mediante una unità di misura arbitraria) e sull'asse delle ascisse, la profondità di penetrazione (espressa in millimetri o multipli).

I profili di densità vengono stampati su carta millimetrata in tempo reale, durante l'effettuazione della prova, permettendo di individuare immediatamente la struttura ed il grado di consistenza del legno, indicando l'ampiezza di eventuali anomalie in scala reale e dando la possibilità di identificare caratteristiche quali il grado di omogeneità e la presenza di eventuali anomalie e/o alterazioni/difetti, più o meno interpretabili, a seconda dei casi, come marcescenze, discontinuità, lesioni, danni da insetti e/o funghi della carie, semplici variazioni di densità, etc.

I profili di densità del legno sano hanno un andamento caratteristico che dipende dalla specie legnosa e dalla diversa densità del legno nelle parti primaticce e tardive degli anelli di accrescimento.

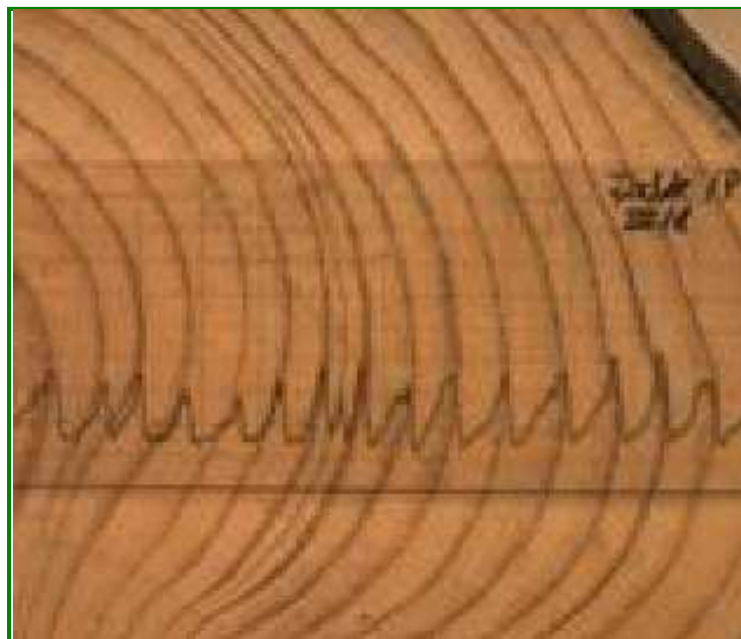




Profilo di densità stampato su carta millimetrata in tempo reale

Lo strumento, è dotato di una memoria interna capace di memorizzare i dati di ciascuna prova, con i quali è possibile ottenere, in fase di elaborazione, gli stessi profili di densità in formato digitale, completi di indicazioni aggiuntive e di note esplicative.

Lo strumento, inoltre, è particolarmente utile in tutti i casi in cui siano presenti danni da insetti e/o funghi della carie, specialmente nelle zone non visibili e accessibili (vedi ad esempio la porzione interna delle travi, o l'estremità delle travi nelle murature). 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.



Profilo di densità di un legno “sano”



#### 4.2.3.3 - Indagini mediante penetrometro da legno Wood Pecker

Il *wood pecker*, le cui caratteristiche tecniche sono indicate appresso, è sostanzialmente un penetrometro da legno, che utilizza uno sclerometro munito di apposito ago in acciaio temprato rettificato (durezza 60 Rockwell) a sezione circolare del diametro di 2,5 mm, di lunghezza totale pari a 50 mm (fuoriuscente dall'asta per 40 mm), con punta terminale tronco-conica ad angolo di inclinazione di 35°. Questo viene infisso nel tessuto ligneo imprimendo, con lo sclerometro, un prefissato numero di colpi.

Nota la natura del materiale ligneo, la profondità di penetrazione (P) dell'ago all'interno dell'elemento saggiato, fornisce indicazioni, attraverso correlazioni empiriche, sulle sue caratteristiche meccaniche e sul suo stato di conservazione.

Il metodo è particolarmente indicato per la valutazione dell'uniformità del tessuto ligneo in situ.

Lo sclerometro viene tarato e certificato periodicamente presso laboratori esterni all'organizzazione aziendale.

Da un punto di vista strettamente operativo, in corrispondenza di ciascuna zona esaminata sono stati infissi n.5-6 aghi, disposti sui vertici di un'area di prova quadrata, avente dimensioni pari a 50 mm x 50 mm e sui punti individuati dalle mediane perpendicolari ai suoi lati.

Una volta infissi gli aghi, è stata misurata, mediante un comparatore centesimale, la lunghezza  $L_c$  della parte di inserto rimasta fuori, al netto di una speciale cuffia di protezione in materiale plastico di 6 mm di spessore e calcolata la penetrazione media  $P$  dell'ago nella zona testata, per differenze, attraverso la seguente equazione:

$$P = L_a - (L_c + S),$$

dove:

$P$  = profondità di penetrazione dell'ago all'interno dell'elemento saggiato (mm);

$L_a$  = Lunghezza totale dell'ago (50 mm);

$L_c$  = Lettura al comparatore della porzione dell'ago rimasta fuori (mm);

$S$  = Spessore cuffia di protezione (6 mm).

A puro titolo informativo, nella pagina seguente si riportano di seguito i risultati di una campagna sperimentale\* condotta in laboratorio su quattro essenze: abete, castagno, pioppo e rovere dai quali, nota la profondità di penetrazione ( $P$ ) dell'ago, è possibile ricavare indicazioni sulle caratteristiche elasto-meccaniche dell'elemento saggiato.

*\*Risultati di una campagna sperimentale per il tracciamento delle curve di correlazione per lo sclerometro per legno – Michele Massaccesi Eurosit s.r.l, collaborazione di Giovanni Menditto Univ. Politecnica delle Marche.*

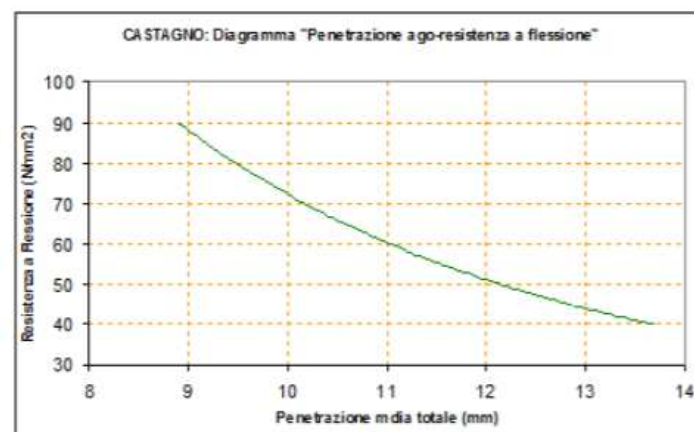
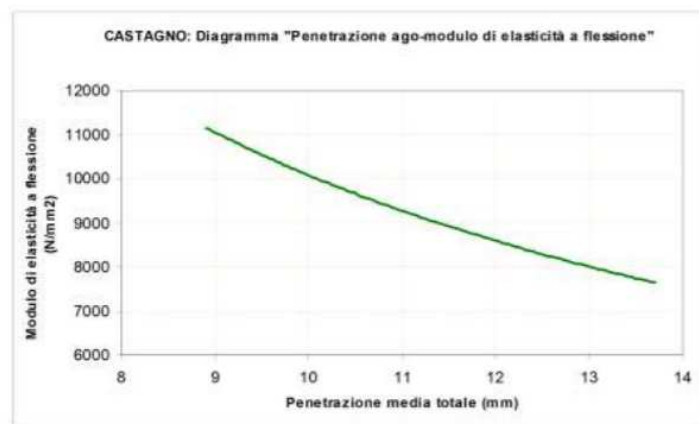
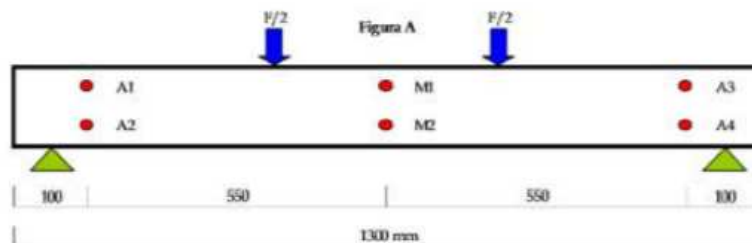


TABELLA RIASSUNTIVA GENERALE

Specie legnosa		Provine contrattate contro parete			Provine caricate da 700 daN totali (rif. figura A)			E <sub>m</sub>	f <sub>m</sub>	G	f <sub>c,0</sub>	E <sub>t,0</sub>	f <sub>t,0</sub>
		Penetrazione (mm)			Penetrazione (mm)								
		Media appoggio	Media mezzaria	Media totale	Media appoggio	Media mezzaria	Media totale	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
Abete	Media prove	14,27	14,92	14,49	15,40	14,72	15,17	16576	73	450	44,8	9633	43
Castagno	Media prove	11,32	11,20	11,28	11,37	10,93	11,22	9186	59	1022	50,0	8164	32
Foppo	Media prove	9,12	9,23	9,16	9,53	8,69	9,25	13736	88	913	45,0	11438	45
Rovere	Media prove	9,69	9,47	9,71	9,72	8,89	9,44	12319	79	728	57,7	11533	63

**Legende:**

- E<sub>m</sub> = Modulo di elasticità a flessione  
 f<sub>m</sub> = Resistenza a flessione  
 G = Modulo di taglio  
 f<sub>c,0</sub> = Resistenza alla compressione parallela alla fibratura  
 E<sub>t,0</sub> = Modulo di elasticità a trazione parallela alla fibratura  
 f<sub>t,0</sub> = Resistenza alla trazione parallela alla fibratura





#### 4.2.3.4 - Indagini endoscopiche

Le indagini endoscopiche, permettono di determinare diverse caratteristiche dell'elemento strutturale indagato, consentendone la visione diretta ed ingrandita, in zone altrimenti inaccessibili, tanto in termini quantitativi (dimensioni e disposizione spaziale degli elementi che compongono la porzione indagata), quanto in termini qualitativi, quali la compattezza (presenza di vuoti, fessurazioni e zone di fratturazione, stato di conservazione), la composizione, ecc.

Nel caso in esame, le indagini endoscopiche, hanno avuto il fine rispettivamente, di valutare e di determinare, lo stato di conservazione del legno e la profondità degli appoggi delle travi nelle murature.

L'attrezzatura utilizzata per le indagini è costituita da un videoendoscopio digitale con sonda semirigida.

Per l'esecuzione delle indagini si è proceduto come segue:

- realizzazione di un foro di opportuno diametro differente per le sezioni murarie e per le travi lignee ( $\varnothing = 10$  mm per il legno,  $\varnothing = 25$  mm per le murature), realizzato con trapano rotativo;
- pulizia del foro, necessaria per eliminare polvere e detriti;
- analisi con endoscopio a fibre ottiche con fotocamera montata in testa per l'acquisizione di immagini.



Esecuzione di indagine endoscopica



#### *4.2.3.5 - Indagini termografiche delle travi*

La termografia, è una tecnica in grado di fornire una mappa termica della superficie di un materiale, rilevando la radiazione infrarossa emessa dal materiale stesso.

Si basa sul principio che qualsiasi corpo a temperatura superiore a  $-273\text{ C}^\circ$  emette energia sottoforma di onde elettromagnetiche.

L'intensità e la lunghezza d'onda di tali radiazioni sono funzione della temperatura del corpo e delle condizioni superficiali.

L'energia radiante di un corpo dipende sostanzialmente dalla sua temperatura superficiale, condizionata a sua volta dai valori di conduttività termica e di calore specifico.

Il fenomeno di trasporto d'energia termica avviene sotto forma di radiazione elettromagnetica, che normalmente si colloca nella banda tipica dell'infrarosso.

Quando la superficie di un corpo viene investita da una radiazione, parte di questa viene riflessa verso il mezzo di provenienza, un'altra parte viene assorbita dal corpo e la restante parte attraversa il corpo stesso.

La distribuzione tra componente riflessa, assorbita e trasmessa dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione, dalla temperatura e dalla natura della superficie del corpo radiante.

Il fenomeno naturale viene descritto dalle leggi sull'irraggiamento di Kirchhoff e di Stefan – Boltzmann.

Per quanto riguarda l'interpretazione dei risultati sarebbe preferibile conoscere le caratteristiche di emissione, riflessione ed assorbimento dei diversi materiali in esame. Il parametro di riferimento più utilizzato, solitamente, è il fattore di emissività. Per questo motivo l'attrezzatura deve garantire una risoluzione molto spinta nella composizione della mappa termica.

Tenendo conto che l'energia di irraggiamento emessa dalle superfici omogenee asciutte è superiore a quella emessa dalle superfici dello stesso tipo impregnate di acqua e sottoposte alle stesse condizioni di irraggiamento solare od artificiale, ne deriva che, in linea generale, le zone asciutte sono più calde e le zone bagnate sono più fredde a pari energia solare e natura del materiale.

L'analisi permette di valutare, qualitativamente, la presenza di :

- possibili infiltrazioni d'acqua dall'esterno e/o distribuzione dell'umidità;
- ponti termici;
- eventuale presenza di canalizzazioni, inserti lignei, aggrappi metallici o più in generale di materiali aventi diverse caratteristiche di emissività.



Le informazioni si riferiscono ad una profondità di qualche centimetro e vengono desunte dalle mappe termiche in regioni da più fredde a più calde, a seconda dei casi, rispetto al fondo termico della porzione di oggetto investigata.

Discontinuità termiche superficiali, anche di piccola entità (dell'ordine del decimo di grado), possono fornire informazioni utili ai fini della comprensione del comportamento tecnologico di diversi materiali, inclusi quelli lapidei.

Le indagini termiche, o termogrammi, si ottengono mediante la conversione, operata dall'elemento sensibile, dell'energia termica infrarossa in segnale elettrico che, opportunamente utilizzato dal sistema, restituisce immagini video in tonalità di grigio o in colori che differenziano quantitativamente i vari livelli di energia rilevata.

Le superfici dello stesso livello termico sono rese riconoscibili dall'avere il medesimo colore.

Le indagini, sono state eseguite con termocamera ad infrarossi, modello **FLIR B335**, non sollecitata da fonti di calore artificiale.

Scopo dell'indagine è stato quello di individuare le zone di umidità, primo fattore di degrado delle strutture lignee.

Nelle condizioni al contorno in cui sono state effettuate le rilevazioni, tali zone presentano un gradiente termico, rispetto alle parti asciutte, più che sufficiente per poterle individuare senza l'ausilio di fonti di calore specifiche.



### 4.3 Elaborazione e presentazione dei dati rilevati

#### 4.3.1 - Generalità

Le indagini eseguite in sito, nelle tre fasi descritte precedentemente (1 - Ispezione visiva; 2 - Rilievo geometrico delle strutture; 3 - Analisi strumentale), hanno avuto lo scopo di valutare la funzionalità strutturale al fine di eseguire eventuali interventi di recupero e/o consolidamento per un eventuale consolidamento statico degli elementi portanti.

Nei paragrafi che seguono vengono presentati in forma tabellare e grafica i dati delle indagini opportunamente elaborati, mentre nel paragrafo successivo viene eseguita una sintesi dei suddetti dati secondo metodi standardizzati.

Attraverso tale procedimento si giunge, infine, alla valutazione secondo la quale, il singolo elemento strutturale, viene valutato come idoneo o non idoneo in relazione alla sua funzione.

#### 4.3.2 - Ispezione visiva e rilievo geometrico delle strutture

L'ispezione visiva è stata fondamentale per l'individuazione della tipologia e della distribuzione dei vari ammaloramenti visibili in superficie.

Essa ha consentito, inoltre di stabilire i criteri con cui ubicare le diverse tipologie di indagini strumentali.

Il rilievo geometrico documenta la geometria degli elementi portanti lignei esaminati, mentre sulle planimetrie in allegato è riportata la loro ubicazione.

Di seguito una descrizione generale dello stato di conservazione delle zone indagate. In allegato si riporta una rappresentazione dettagliata degli elementi segnalati con l'evidenziazione delle anomalie riscontrate su cui intervenire.

Riferimento zona	Piano	Descrizione delle anomalie emerse
A2	4°	L'intera area presenta travi principali, travetti secondari e la capriata, alquanto degradati, con riduzione della sezione di qualche elemento, causati dall'attacco di funghi del legno; sono presenti, inoltre, zone con infiltrazioni di acqua pregresse.





#### 4.3.2.1 - Documentazione fotografica



*Riduzione dei sezione, umidità e funghi - Zona A2*



*Presenza di umidità – Zona A2*



*Trave di colmo con tarli e funghi - Zona A2*



*Ammaloramento travi e cedimento solaio - Zona A2*





### 4.3.3 – Rilievo dell'umidità del legno

I rilievi per la determinazione dell'umidità assoluta del legno sono stati eseguiti nelle zone individuate attraverso l'ispezione visiva che mostravano gli ammaloramenti più significativi.

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva delle indagini svolte e la documentazione fotografica relativa alle indagini svolte ed in allegato è riportata la loro ubicazione.

#### 4.3.3.1 – Risultati delle indagini

Palazzo spada								
Rilievo dell'umidità assoluta di elementi lignei ubicati nella copertura e sottotetto dell'edificio sito in P.zza Capo di Ferro, 1 - Roma								
Rilievo dell'umidità assoluta del legno								
Identificativo prova	Identificativo prova	Riferimento in pianta	Elemento strutturale	Specie	Umidità [%]			Media [%]
U2	Sez. 2	Zona A2	Catena Capriata	Castagno	11,3	10,9	11,1	11,1
U3	Sez. 3		Trave Principale	Castagno	10,8	11,7	11,1	11,2
U4	Sez. 4		Trave Principale di colmo	Castagno	13,0	11,6	13,1	12,6
U5	Sez. 5		Saettone Capriata	Castagno	11,9	14,9	11,9	12,9





OPENGENIO-ID-DOC:19383061 - N.Pos.:90112  
**agini e prove sperimentali su elementi lignei della copertura e sottotetto di Palazzo Spada – Piazza Capo di Ferro, 1 - Roma – Pag. 20**  
Copia conforme all'originale pag.20 di 32

La copia originale e' conservata presso l'archivio digitale della Regione Lazio  
Documento firmato digitalmente ai sensi artt. 20, 21 e 24 del D.lgs 82/05 e s.m. e i. da:  
MILITELLO STEFANO (Delegato, Progettista delle strutture), ARCORACI Eduardo (Direttore dei Lavori)

#### 4.3.3.2 - Documentazione fotografica



*Indagine su catena capriata (U2) – Sez.2 – Zona A2*



*Indagine su trave di colmo (U4) – Sez.4 – Zona A2*

#### 4.3.4 - Indagini resistografiche

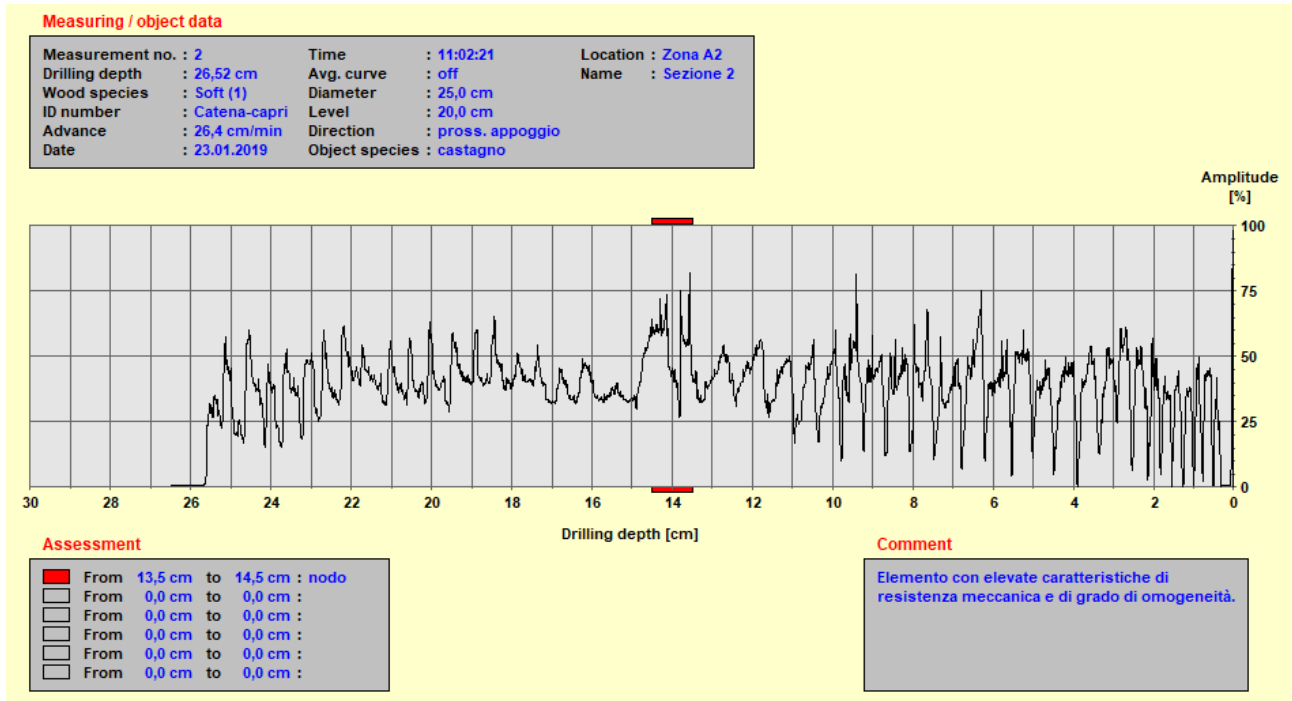
Le prove mediante RESISTOGRAPH, sono state eseguite nelle zone individuate attraverso l'ispezione visiva che mostravano gli ammaloramenti più significativi (fessurazioni, gallerie d'insetti, presenza di umidità, infiltrazioni, etc), perseguendo l'obiettivo di individuare le sezioni con la minore sezione resistente residua, in sezione trasversale.

Di seguito sono riportate le resistografie relative a ciascuna sezione indagata complete di tutte le informazioni rilevate in fase di indagine e la documentazione fotografica di alcune delle indagini eseguite.

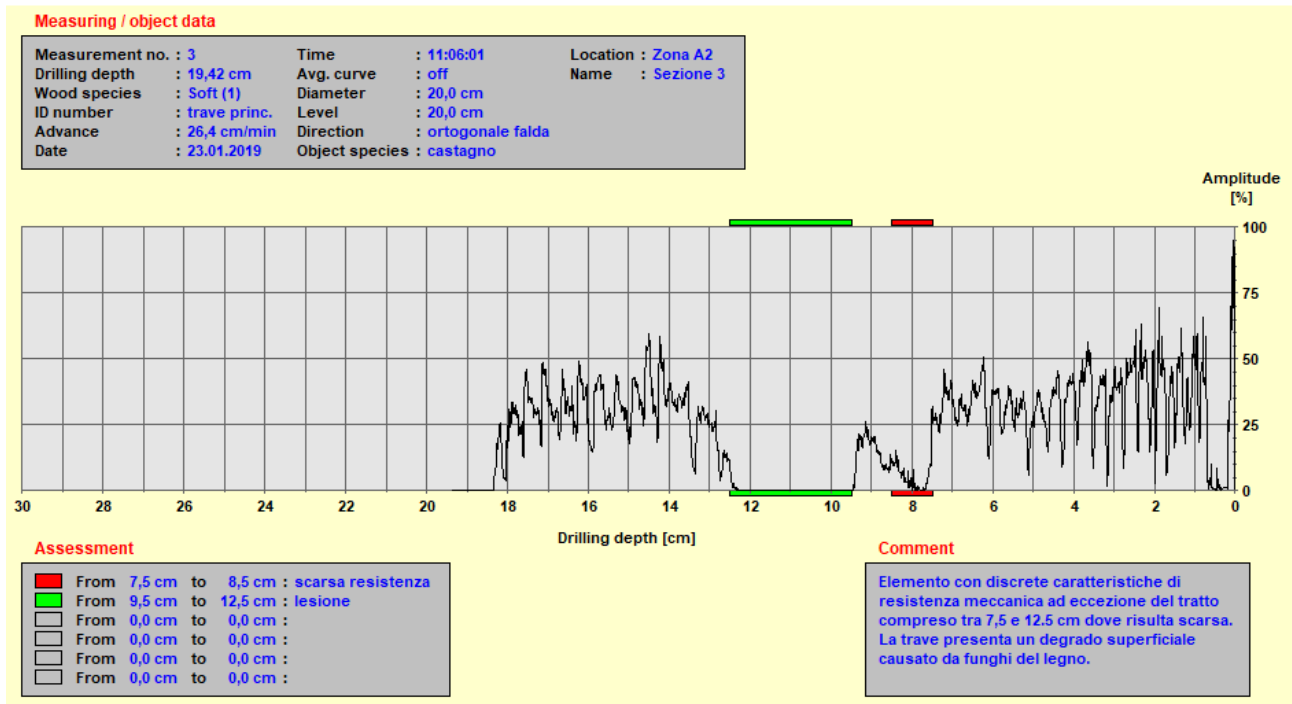


#### 4.3.4.1 – Risultati delle prove resistografiche

##### Zona A2 - Sezione 2



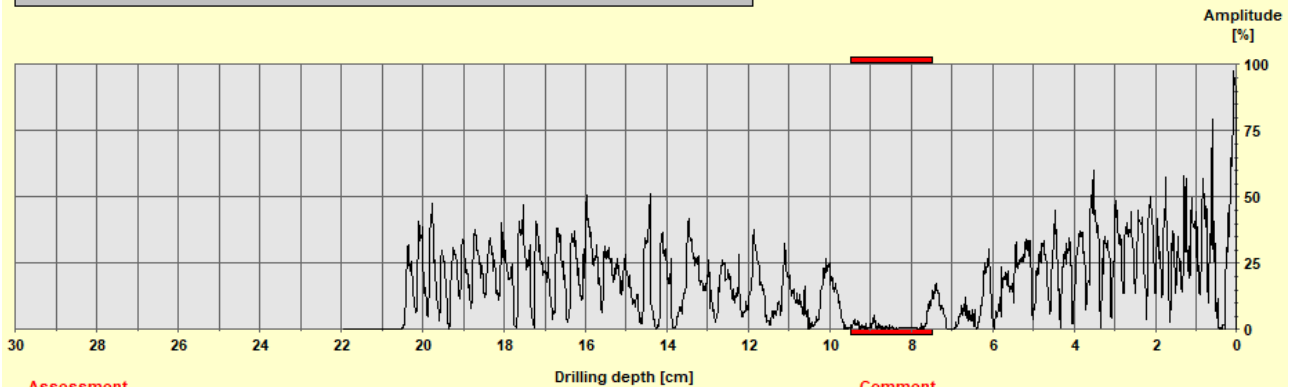
##### Zona A2 - Sezione 3



### Zona A2 - Sezione 4

#### Measuring / object data

Measurement no. : 4	Time : 11:11:35	Location : Zona A2
Drilling depth : 22,00 cm	Avg. curve : off	Name : Sezione 4
Wood species : Soft (1)	Diameter : 19,0 cm	
ID number : Trave colmo	Level : 18,0 cm	
Advance : 25,2 cm/min	Direction : Parallela alla falda	
Date : 23.01.2019	Object species : Castagno	



#### Assessment

From 7,5 cm to 9,5 cm : scarsa resistenza
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :

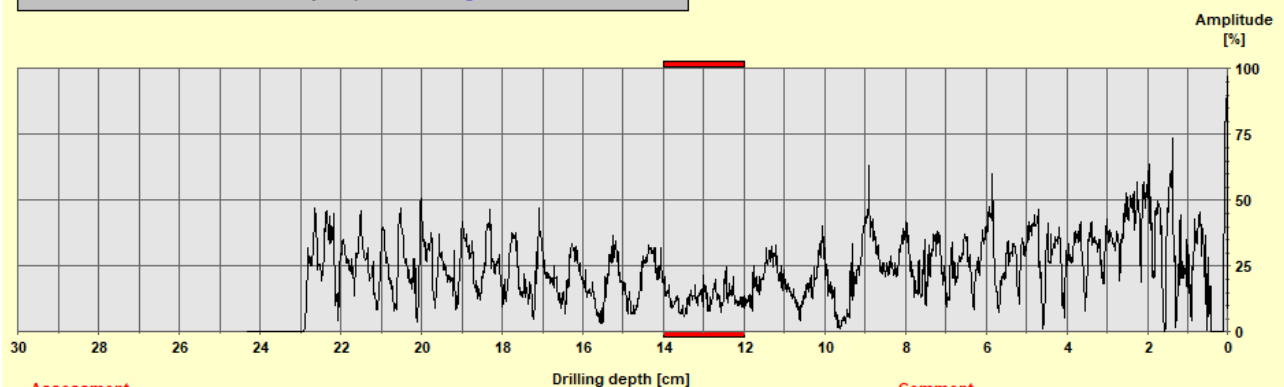
#### Comment

Elemento con medie caratteristiche di resistenza meccanica ad eccezione del tratto compreso tra 7,5 e 9,5 cm. La trave presenta un degrado superficiale causato da carie del legno. I picchi ravvicinati all'inizio della sezione possono rappresentare un indice di sfaldamento.

### Zona A2 - Sezione 5

#### Measuring / object data

Measurement no. : 5	Time : 11:18:47	Location : Zona A2
Drilling depth : 24,35 cm	Avg. curve : off	Name : Sezione 5
Wood species : Soft (1)	Diameter : 22,0 cm	
ID number : Capriata	Level : 20,0 cm	
Advance : 24,0 cm/min	Direction : Obliqua	
Date : 23.01.2019	Object species : Castagno	



#### Assessment

From 12,0 cm to 14,0 cm : scarsa resistenza
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :
From 0,0 cm to 0,0 cm :

#### Comment

Elemento nel complesso, con elevate caratteristiche di resistenza meccanica e di grado di omogeneità.





#### 4.3.4.2 - Documentazione fotografica



*Indagine su trave (R3) – Sez.3 – Zona A2*



*Indagine su trave di colmo (R4) – Sez.4 – Zona A2*

#### 4.3.5 - Indagini mediante penetrometro da legno Wood Pecker

Le prove mediante penetrometro da legno Wood Pecker, sono state eseguite nelle zone individuate attraverso l'ispezione visiva che mostravano gli ammaloramenti più gravi (gallerie d'insetti, presenza di umidità, ecc.), perseguendo l'obiettivo di trarre indicazioni, con criterio conservativo, sulle caratteristiche meccaniche di dette zone.

Sono state eseguite complessivamente n. 49 prove su elementi portanti lignei ubicati sul piano sottotetto dell'edificio.



Le schede ed i grafici riportati di seguito, illustrano i risultati delle prove penetrometriche, mentre le foto che seguono, illustrano l'esecuzione di alcune delle indagini.

Palazzo Spada									
PROVE PENETROMETRICHE SU TRAVI LIGNEE della COPERTURA E del SOTTOTETTO MEDIANTE WOOD PECKER									
<b>P = La-(Lc+S)</b>		<b>P</b> = Profondità di penetrazione dell'ago (mm);		<b>La</b> = Lunghezza totale dell'ago (50 mm)		<b>Lc</b> = Lettura fatta al comparatore (mm);		<b>S</b> = Spessore cuffia di protezione (6 mm)	
N° Prova	Identificativo Prova	Riferimento in pianta	Elemento strutturale	Specie	Lc (mm)	Lc media (mm)	La (mm)	S (mm)	P (mm)

2	Sez.2	Zona A2	Catena Capriata	Castagno	25,35 25,10	22,85 26,45	28,25 28,50	25,60	50	6	18,40
3	Sez.3		Trave Principale	Castagno	21,50 26,10	21,94 24,65	28,50	24,54	50	6	19,46
4	Sez.4		Trave Principale di colmo	Castagno	26,10 22,65	23,60 24,05	26,50	24,62	50	6	19,38
5	Sez.5		Saettone Capriata	Castagno	26,40 25,85	27,85 27,10	26,60	26,80	50	6	17,20



#### 4.3.5.1 - Documentazione fotografica



*Indagine su saettone capriata (WP5)– Sez.5 –Zona A2*

#### 4.3.6 - Indagini endoscopiche

Le indagini endoscopiche eseguite in corrispondenza degli appoggi delle travi nelle murature portanti, hanno avuto lo scopo di determinare la profondità degli appoggi delle travi nelle murature oltre che lo stato di conservazione del legno e l'efficienza degli appoggi in muratura.

Preventivamente all'indagine, è stata eseguita una perforazione utilizzando una punta di piccolo diametro (12 mm), non spingendo eccessivamente la stessa, per evitare un inutile ed eccessivo disturbo alle travi.

In allegato sono riportate le schede tecniche delle endoscopie eseguite, complete di commento e delle fotografie più significative.



#### 4.3.6.1 – Schede tecniche

##### ENDOSCOPIA E1

**ZONA A2 – ELEMENTO:** capriata - **UBICAZIONE:** 4° piano - appoggio della catena su muro perimetrale del sottotetto

**PROFONDITÀ FORO** = 32 cm - **DIAMETRO FORO** = 12 mm - **FORO NON PASSANTE**

**DESCRIZIONE** Dimensioni medie della catena sub-circolare: 23 cm. In corrispondenza dell'attacco con il muro perimetrale, è visibile un'ampia zona con infiltrazioni pregresse. Sulla catena della capriata, sono presenti diverse lesioni longitudinali da ritiro, non passanti. Anche all'interno del foro, è visibile un ammaloramento dell'elemento dovuto ad infiltrazioni di acqua pregresse e la presenza di diverse gallerie di insetti xilofagi. La profondità dell'appoggio della trave è pari a circa 25 cm. L'efficienza dell'appoggio alla muratura è sufficiente.



*Foto 1*



*Foto 2*



*Foto 3*





#### 4.3.7 – Indagini termografiche

Le indagini termografiche eseguite hanno avuto lo scopo di individuare le zone di umidità, attualmente presenti nelle strutture lignee, consentendo di distinguere le zone ove le macchie di umidità sono dovute ad infiltrazioni pregresse e che, attualmente, risultano asciutte.

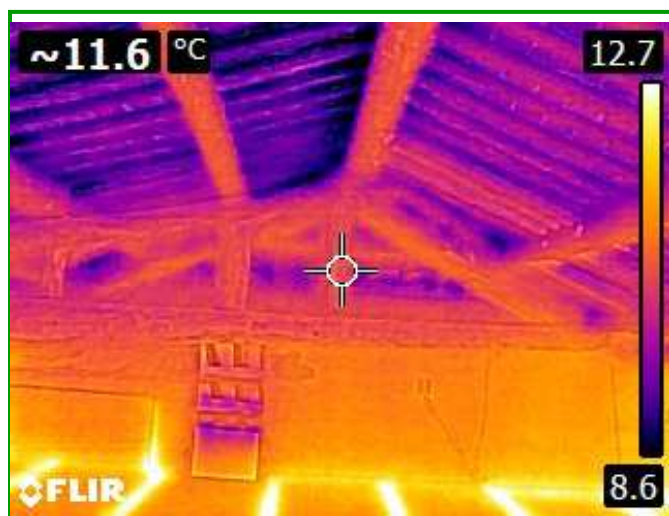
Tali zone, infatti non presentano gradiente termico, rispetto alle zone adiacenti.

Le foto che seguono, illustrano l'esecuzione di alcune delle indagini termografiche effettuate negli ambienti esaminati.

##### 4.3.7.1 Documentazione fotografica



*Zona A2*



*Zona A2 - Foto ad infrarossi*

## 5. Analisi dei risultati

Per ciascuno degli elementi esaminati mediante l'ispezione visiva, è stato valutato lo stato generale di conservazione degli elementi primari e secondari e l'efficienza dei collegamenti.

Dall'analisi di quanto eseguito è emerso che:

- ✓ l'umidità rilevata sugli elementi strutturali è compresa in una media di circa il 12%
- ✓ dalle indagini endoscopiche eseguite emergono alcuni problemi agli appoggi





- ✓ le indagini mediante penetrometro da legno “wood pecker” hanno concorso a fornire ulteriori elementi di valutazione complessiva di resistenza meccanica degli elementi indagati.

E’ consigliabile, infine di eseguire un’accurata, periodica manutenzione degli elementi lignei in generale. Infatti, il legno, se ben preservato nel tempo, attraverso semplici e poco costose operazioni di manutenzione periodica, conserva praticamente intatte le sue caratteristiche di ottimo materiale da costruzione (resistenza, elasticità, durabilità, ecc.), che, al contrario, può perdere in maniera significativa, se non adeguatamente trattato.

Nelle pagine seguenti è riportata la tabella con l’indicazione dello stato di conservazione e dell’idoneità dell’elemento esaminato.

Nelle planimetrie in allegato è riportata l’ubicazione degli elementi indagati e delle zone dove sono presenti anomalie (elementi da sostituire, umidità e/o infiltrazioni, carie e funghi xilofagi, etc.).

Gli elementi non indicati rientrano in categoria 2

Zona	Sezione	Riferimento elemento sulla tavola grafica	Elemento strutturale	Specie legnosa	Dimensioni (cm)	Stato di conservazione	Categoria	Idoneità elemento	Indicazioni
A2	2	A2.1	Catena capriata	Famiglia Fagaceae Castagno	20 x 25	E’ presente un degrado causato da carie del legno e da infiltrazioni pregresse orami asciutte. L’efficienza agli appoggi della muratura è sufficiente sul lato del muro perimetrale e buona sull’altro lato.	3	I	C
	3	A2.T2	Trave principale	Famiglia Fagaceae Castagno	20 x 20	E’ stato rilevato un degrado superficiale ed all’interno della sezione esaminata, causato da carie del legno, con una minima riduzione della sezione dell’elemento. Inoltre, è stata rilevata la presenza di lesioni longitudinali da ritiro aperte ma non passanti.	4	NI	R
	4	A2.T4	Trave di colmo	Famiglia Fagaceae Castagno	18 x 19	E’ presente un degrado superficiale ed all’interno della sezione esaminata, causato da carie del legno e da infiltrazioni pregresse orami asciutte, con una minima riduzione della sezione dell’elemento.	4	NI	R
	5	A2.2	Puntone capriata	Famiglia Fagaceae Castagno	20 x 22	E’ presente un degrado causato da carie del legno e da infiltrazioni pregresse orami asciutte. E’ stata rilevata una minima riduzione di sezione.	3	I	C



## LEGENDA

### ➤ NOTE

- Tutte le travi esaminate sono ascrivibili a castagno (*"Famiglia Fagaceae"*);
- H (cm) = altezza delle travi a sezione sub-quadrangolare, tra intradosso ed estradosso; L (cm) = larghezza delle travi a sezione sub-quadrangolare, all'intradosso.

### ➤ CATEGORIA

- **3** = vedi rif. tab.1 a pag. 95;
- **4** = materiale non idoneo per strutture a carattere permanente;

### ➤ CERTIFICAZIONE DI IDONEITÀ O MENO

- **I** = elemento idoneo;
- **NI** = elemento non idoneo.

### ➤ INDICAZIONI

- **C** = consolidare: elemento affetto da degrado e/o difetti particolari, recuperabile con un modesto intervento di consolidamento;
- **R** = recupero: elemento che, per qualità del materiale, difetti particolari e/o gravità del degrado, dovrà essere recuperato.



A titolo conoscitivo vengono di seguito riportate le tabelle di riferimento 1 e 2, con i criteri di classificazione di elementi lignei (classificazione secondo GIORDANO).

Tale sistema di classificazione (TABELLA 1), prevede la attribuzione della sezione resistente residua di ciascun elemento strutturale indagato, ad una particolare “classe di qualità resistente”, denominata “categoria”, alla quale corrispondono le caratteristiche di resistenza ed elasticità riportate in TABELLA 2.

## TABELLE DI RIFERIMENTO

**TABELLA 1 - Criteri per classificare una trave in opera ed assegnarla ad una categoria, allo scopo di attribuirle le caratteristiche di resistenza ed elasticità indicate nella Tabella 2 <sup>(1)</sup>**

CARATTERISTICA	CATEGORIA <sup>(2)</sup>		
	1a	2a	3a
Azzurramento	SI	SI	SI
Lesioni da fulmine			
Cretti da gelo	NO	NO	LIM
Gallerie di insetti			
Cipollature			
Marciumi			
Nodi singoli <sup>(3)</sup>	max. 1/5 max. 50 mm	max. 1/3 max. 70 mm	max. 1/2
Nodi raggruppati <sup>(4)</sup>	max. 2/5	max. 2/3	max. 3/4
Inclinazione in sez. rad.	max. 7%	max. 12%	max. 20%
fibratura: in sez. tang.	max. 10%	max. 20%	max. 33%
Fessurazioni radiali da ritiro	SI (purché non passanti)	SI (purché non passanti)	SI
Spessore anelli	conifere	max. 2 mm	max. 3,3 mm
	quercia	min. 7 mm	min. 4 mm
	castagno	min. 8 mm	min. 3,3 mm

### LEGENDA

SI: ammissibili

NO: non ammissibili

LIM: ammissibili, purché presenti in misura limitata

### NOTE

<sup>(1)</sup> Queste regole si applicano alle parti di trave la cui sezione sia stata valutata come resistente

<sup>(2)</sup> Travi non classificabili neppure come 3a categoria non sono idonee per strutture a carattere permanente

<sup>(3)</sup> Massimo rapporto fra diametro del nodo e larghezza della faccia su cui compare

<sup>(4)</sup> Massimo rapporto fra la somma dei diametri dei nodi compresi in un tratto di 15 cm e larghezza della faccia su cui compaiono

[Tabella ripresa e modificata dal Manuale di Ingegneria Civile Vol.2 ESAC-ZANICHELLI-CREMONESE 2a ed. 1991 Cap. XI “Strutture di legno” a cura del Prof. Ario CECCOTTI]



**TABELLA 2 - Tensioni ammissibili e modulo elastico in direzione parallela alla fibratura delle principali specie legnose tradizionalmente usate per travature in Italia <sup>(1)</sup>**

SPECIE LEGNOSA	CATEGORIA ( <sup>2</sup> )	valori in MPa (N/mm <sup>2</sup> )				MODULO ELASTICO
		TENSIONI AMMISSIBILI				
		compr.	fless.	traz.	taglio	
Abete bianco	1a	11	11,5	11	0,9	13 000
	2a	9	10	9	0,8	12 000
	3a	7	7,5	6	0,7	11 000
Abete rosso	1a	10	11	11	1,0	12 500
	2a	8	9	9	0,9	11 500
	3a	6	7	6	0,8	10 500
Larice	1a	12	13	12	1,1	15 500
	2a	10	11	9,5	1,0	14 500
	3a	7,5	8,5	7	0,9	13 500
Pino silvestre e altri Pini	1a	11	12	11	1,0	13 000
	2a	9	10	9	0,9	12 000
	3a	7	8	6	0,8	11 000
Castagno, Olmo, Frassino	1a	11	12	11	0,8	10 000
	2a	9	10	9	0,7	9 000
	3a	7	8	6	0,6	8 000
Pioppo (non ibrido euram.)	1a	10	10,5	9	0,6	9 000
	2a	8	8,5	7	0,5	8 000
	3a	6	6,5	4,5	0,4	7 000
Quercia	1a	12	13	12	1,2	13 500
	2a	10	11	10	1,0	12 500
	3a	7,5	8,5	7	0,9	11 500
Robinia	1a	12	13,5	13	1,2	14 000
	2a	10	11,5	11	1,0	13 000
	3a	7,5	9	7	0,9	12 000

**NOTE**

(<sup>1</sup>) Per carichi di lunga e media durata e strutture protette dalle intemperie; negli altri casi si applicano appositi coefficienti correttivi.

(<sup>2</sup>) La classificazione delle travi in categorie può essere effettuata in base ai criteri visuali riportati nella Tabella 1

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

