



PROVINCIA DI BRESCIA

SETTORE DELLE STRADE, EDILIZIA SCOLASTICA  
E DIREZIONALE

LICEO "VERONICA GAMBARA"  
COMUNE DI BRESCIA

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA COPERTURA

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

OGGETTO:

RELAZIONE MATERIALI  
PROVE DIAGNOSTICHE

S3  
ESE

SCALA:

PRF N.

DATA: febbraio 2018

REV 01:

PROGETTO REDATTO DA :

Ing. Marco Rossi

N. iscrizione all'Albo: 2057  
cod. fisc. RSS MRC 62R18 G149G  
studio: VIA MARTINENGO, 18  
25060 COLLEBEATO (BS)  
marco@studiotecnicorossi.it

Collaborazione

ING. LEONARDO ZANETTI  
cod. fisc. ZNT LRD 81B07 D940I  
ARCH. ELENA MAGHINI  
cod. fisc. MGH LNE 71D41 B157Y

VISTO: IL DIRETTORE DEL SETTORE  
EDILIZIA SCOLASTICA  
Dott. Arch. Giovan Maria Mazzoli

## INDICE

1.	CAMPAGNA DIAGNOSTICA E CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI .....	1
2.	INDAGINI INTEGRATIVE E PROVE DI CARICO IN CORSO D'OPERA .....	1
3.	LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA .....	2
4.	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI.....	3
5.	PARAMETRI DEL TERRENO .....	5

## **1. CAMPAGNA DIAGNOSTICA E CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI**

---

Una prima campagna diagnostica dell'edificio era stata eseguita nell'anno 2013 a seguito dell'approfondimento della vulnerabilità sismica del fabbricato.

Erano state analizzate le geometrie principali, le caratteristiche delle murature e del terreno, ma non erano state eseguite indagini specifiche per le coperture lignee.

Al fine di approfondire ulteriormente il quadro conoscitivo con riferimento alla zona di intervento è stata programmata una nuova campagna di indagine suddivisa in una prima fase di rilievo geometrico e valutazione della situazione a vista delle zone accessibili e considerate meno pericolose e una seconda fase di valutazione strumentale delle caratteristiche meccaniche e di degrado degli elementi strutturali lignei principali, come descritto nel "RAPPORTO TECNICO DI PROVA" del laboratorio prove Laberg (vedasi in calce al presente documento).

## **2. INDAGINI INTEGRATIVE E PROVE DI CARICO IN CORSO D'OPERA**

---

Durante il corso dei lavori, verranno realizzate le seguenti ulteriori indagini integrative:

- prove resistografiche nelle travi lignee e nelle capriate, al fine di mappare l'estensione dell'eventuale marcescenza delle zone dove non si è potuto accedere,
- prove penetrometriche effettuate dopo la pulizia della corteccia esterna delle travi di colmo al fine di verificare che abbiano almeno la classe di resistenza C24 come previsto nel calcolo strutturale.

Si rendono inoltre necessarie le seguenti prove di carico dei componenti più importanti dal punto di vista sismico:

- prove sui giunti chiodati dei pannelli lignei,
- prove di taglio sugli spinotti (circa 8 prove),
- prove di estrazione degli tirafondi/ancoraggi iniettati (4 prove).

### 3. LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

Le normative principali che trattano l'argomento sono le seguenti:

- DM 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (di seguito NTC)
- Circolare 617/2009 Min. LL.PP. (Regolamento di applicazione delle NTC, di seguito Circolare)
- Ministero BB.CC. 2011 "Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti del 14 gennaio 2008" (di seguito Linee Guida)

Si sottolinea come le NTC di cui al DM 14 gennaio 2008 lascino un ampio grado di discrezionalità in merito alla definizione della campagna diagnostica.

Trattandosi di fabbricato soggetto a vincolo di tutela il riferimento imprescindibile è costituito dalle Linee Guida sopra citate. Esse prevedono un valore del fattore di confidenza globale  $F_c$  dipendente da fattori di conoscenza parziali secondo la formula seguente:  $F_c = 1 + F_{c1} + F_{c2} + F_{c3} + F_{c4}$  e in base ai valori parziali desumibili dalla seguente tabella:

Rilievo geometrico	Identificazione delle specificità storiche e costruttive	Proprietà meccaniche dei materiali	Terreno e fondazioni
rilievo geometrico completo  $F_{c1} = 0.05$	ricostruzione ipotetica delle fasi costruttive basata su un limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi, associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{c2} = 0.12$	parametri meccanici desunti da dati già disponibili  $F_{c3} = 0.12$	limitate indagini sul terreno e le fondazioni, in assenza di dati geologici e disponibilità d'informazioni sulle fondazioni  $F_{c4} = 0.06$
rilievo geometrico completo, con restituzione grafica dei quadri fessurativi e deformativi	restituzione parziale delle fasi costruttive fondate su: A) limitato rilievo materico e degli elementi costruttivi, associato alla comprensione e verifica delle vicende di trasformazione, (indagini documentarie e tematiche, la verifica diagnostica delle ipotesi storiografiche); B) esteso rilievo materico e degli elementi costruttivi, associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche) $F_{c2} = 0.06$	limitate indagini sui parametri meccanici dei materiali  $F_{c3} = 0.06$	disponibilità di dati geologici e sulle strutture fondazionali; limitate indagini sul terreno e le fondazioni  $F_{c4} = 0.03$
$F_{c1} = 0$	restituzione completa delle fasi costruttive fondata su esaustivo rilievo materico e degli elementi costruttivi associato alla comprensione delle vicende di trasformazione (indagini documentarie e tematiche, eventuali indagini diagnostiche) $F_{c2} = 0$	estese indagini sui parametri meccanici dei materiali  $F_{c3} = 0$	estese o esaustive indagini sul terreno e le fondazioni  $F_{c4} = 0$

Per la finalità del presente intervento, in considerazione delle campagne diagnostiche condotte e in linea con quanto riportato in sede di approfondimento della vulnerabilità dell'edificio, è possibile considerare un fattore di confidenza  $F_c = 1 + 0.05 + 0.06 + 0.06 + 0.03 = 1.20$ , ovvero quello previsto per il livello di conoscenza LC2 di edifici non vincolati.

---

#### 4. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI

---

In base a quanto riportato nella normativa e a quanto desumibile dalle campagne diagnostiche effettuate è possibile assumere le seguenti caratteristiche dei materiali.

##### Acciaio da carpenteria:

Resistenza ultima di progetto allo snervamento:  $f_{yd} = 2750 / 1.05 = 2619 \text{ daN} / \text{cm}^2$

##### Murature esistenti:

Per la resistenza delle murature esistenti si è fatto riferimento alle prove effettuate nell'anno 2013 dalle quali era emersa una resistenza a taglio di base  $f_{v0}$  della muratura pari a 0,10 MPa e un fattore di confidenza  $FC=1,2$ .

##### Elementi strutturali in legno nuovi:

LEGNO PER ELEMENTI STRUTTURALI  
CLASSIFICATO (secondo CNR DT 206/2007, NTC 2008)

specie CONIFERA classe di resistenza C24 ( $f_{mk} = 24 \text{ MPa}$ ,  $E_{0.05} = 7400 \text{ MPa}$ )

Classe di servizio 1: Umidità del legno in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C, e umidità dell'aria circostante <65%  
(vani interni riscaldati)

##### CARATTERISTICHE DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE

Classe di durata del carico MEDIA: carico massimo da 1 settimana a 6 mesi

$K_{mod} = 0.8$  (v. Tab.16-2 CNR)  
(v. Tab.4.4-IV D.M. 2008)

Coefficiente di sicurezza (legno massiccio)  $\gamma_m = 1.3$  (secondo CNR)  
 $\gamma_m = 1.5$  (secondo D.M.2008)

$K_{def} = 0.6$  (v. Tab.17-1 CNR)  
(v. Tab.4.4-V D.M. 2008)

Sforzo massimo di progetto SLU:  $f_{md} = \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{24 \times 0.8}{1.5} = 12.08 \text{ MPa}$

Modulo elastico:  $E_d = E_{0.05} \cdot \frac{1}{1 + K_{def}} = \frac{7400}{1 + 0.6} = 4625 \text{ MPa}$

Sforzo flessionale resistente in esercizio dovuto ai soli carichi permanenti:

$$\sigma_{Rd-es-g} = 6 \text{ MPa} = 60 \text{ daN} / \text{cm}^2$$

Sforzo flessionale resistente in esercizio dovuto ai carichi permanenti + accidentali:

$$\sigma_{Rd-es-q} = 10 \text{ MPa} = 100 \text{ daN} / \text{cm}^2$$

### Elementi strutturali in legno esistenti:

Le prove penetrometriche hanno evidenziato caratteristiche di resistenza mediocri, se non scarse, tranne per i travetti di conifera di recente realizzazione.

Tenendo conto che, in accordo alla letteratura scientifica sull'argomento, il rapporto tra tensione media e tensione caratteristica è circa 2-2.5 si ottengono valori caratteristici compresi tra 10 MPa e 4 MPa per le travi e 20-25 MPa per i travetti di recente sostituzione.

I valori relativi alle travi sono pertanto molto bassi, tuttavia, in considerazione delle incertezze insite nelle prove penetrometriche e in considerazione che tali prove risentono dell'eventuale degrado della corteccia esterna del legname, può capitare che nel caso di strutture esistenti, degradate superficialmente come nel caso in esame, si ottengano valori particolarmente penalizzanti e non rappresentativi dell'effettiva resistenza delle zone interne non degradate.

Nel caso di travi di dimensioni ragguardevoli si potrebbe pertanto non considerare la parte esterna degradata e fare riferimento alla sola zona interna non degradata, avente caratteristiche meccaniche nettamente superiori rispetto a quelle ottenibili dalle prove penetrometriche effettuate sulla superficie esterna.

Nel caso in esame, in considerazione del vincolo di tutela e della ridotta dimensione di molte travi di colmo, si è optato per un intervento che comportasse il minor numero di sostituzione delle travi esistenti, ma al contempo si sono scaricate terzere e capriate.

Proprio per la scarsa resistenza meccanica degli elementi esistenti, l'intervento prevede infatti di "scaricare" capriate e terzere esistenti affidando il carico statico a nuove capriate, in grado anche di "appendere" le travi di colmo, realizzate mediante l'affiancamento di nuovi travetti di copertura e l'inserimento di idonee catene in acciaio con funzione di tirante.

In sostanza, rimandando ad una più accurata valutazione della reale situazione a cantiere aperto (vedasi quanto detto al capitolo 2-INDAGINI INTEGRATIVE E PROVE DI CARICO IN CORSO D'OPERA) si è deciso di considerare per le travi di colmo una resistenza meccanica minima pari a quella del legname di classe C24, ovvero la stessa resistenza prevista per gli elementi di nuova realizzazione.

Solo qualora tale resistenza non fosse confermata dalle ulteriori indagini previste a cantiere aperto, si provvederà alla sostituzione delle travi di colmo con materiale aventi la resistenza meccanica minima prevista.

### Pannello multistrato fenolico spessore 27 mm:

$$\begin{array}{lll} \text{EN 636-2S - EN 13986:} & \sigma_{//} \geq 25\text{MPa} & \sigma_{\perp} \geq 15\text{MPa} \\ & E_{//} \geq 5000\text{MPa} & E_{\perp} \geq 2500\text{MPa} \end{array}$$

## 5. PARAMETRI DEL TERRENO

---

Il presente progetto non prevede interventi sulle fondazioni e la caratterizzazione del terreno viene utilizzata al solo scopo di determinare l'azione sismica di progetto.

In occasione della verifica di vulnerabilità effettuata nel 2013 sono state effettuate in situ prove geofisiche (agli atti presso l'Ente) per la caratterizzazione del sottosuolo e la classificazione sismica del terreno di fondazione con esecuzione di due tipologie di indagine: MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves); HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). La prima permette il calcolo della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo da cui è possibile ricavare la categoria sismica, la seconda permette di individuare le frequenze caratteristiche di risonanza del sito.

Le prove geofisiche hanno portato alla definizione di una **categoria di sottosuolo B** (secondo le indicazioni del DM 14/01/2008), ovvero *"corrispondente a rocce e depositi di terreni grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 m caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V<sub>30</sub> compresi tra 360 m/s 800 m/s (ovvero NSPT > 50 nei terreni a grana grossa e CU > 250 kPa nei terreni a grana fine)"*.

L'analisi sismica passiva secondo la metodologia HVSr ha invece escluso la presenza di frequenze fondamentali del sito.

**Indagini sulla copertura lignea  
del Liceo "Veronica Gambara" di Brescia**

**Comune di Brescia, via Veronica Gambara, 3**



**RAPPORTO TECNICO DI PROVA**

Committente	Provincia di Brescia
p.c.	Ing. Rossi

Data	Redatto	Verificato	Validato
Dicembre 2017	Ing. Marco Bellini	Ing. Francesco Rota	Ing. Cristiano Algeri
Rif. Interno			
17121			



## SOMMARIO

1	PREMESSE E SCOPI .....	3
2	PROVE PENETROMETRICHE SU LEGNO (RESISTOGRAPH) .....	4
2.1	Metodo di indagine con Resistograph .....	4
2.2	Strumentazione utilizzata.....	5
2.3	Risultati delle prove .....	5
3	PROVE PENETROMETRICHE SU LEGNO (SCLEROMETRO) .....	18
3.1	Metodo di indagine con Sclerometro .....	18
3.2	Strumentazione utilizzata.....	18
3.3	Risultati delle prove .....	19
4	CONCLUSIONI.....	23

### Allegati:

Allegato 1 – Tavole grafiche

Tavola 1.1 – Ubicazione delle indagini

Tavola 1.2 – Coni ottici

Tavola 2 – Risultati delle indagini

Allegato 2 – Repertorio fotografico

## 1 PREMESSE E SCOPI

La presente relazione riferisce sulle indagini diagnostiche condotte sulla copertura lignea dell'ala nord dell'edificio del Liceo Veronica Gambara sito nel Comune di Brescia (BS).

Le indagini sono state eseguite nei giorni 6-7 dicembre 2017 dalla Laberg su richiesta della Provincia di Brescia srl come prove preliminari alla successiva fase di adeguamento dell'edificio.

Le attività eseguite sono consistite nella valutazione:

- in n° 10 punti (di altrettanti elementi strutturali) della densità degli elementi lignei mediante indagine resistografica;
- in n° 50 punti (di altrettanti elementi strutturali) della resistenza degli elementi lignei mediante indagine penetrometrica con sclerometro modificato;

Nella successiva tabella vengono sintetizzate le tipologie di attività effettuate, con indicazione del numero di prove eseguite.

Tipologia di indagini eseguite	Sigla ID	Totale
Indagini su legno con Resistograph	F	10
Indagini su legno con penetrometro	P	50

La copertura in legno prevede nella zona nord-ovest dell'edificio la presenza:

- sulla luce corta, a livello di falda del tetto, di travi appoggiate al muro perimetrale ed al muro di spina, con terza ad esse ortogonale e travetti; a livello di solaio di copertura del primo livello di travetti del controsoffitto;
- sulla luce lunga, di capriate appoggiate al muro perimetrale ed al muro centrale, con trave di colmo e terza ad esse ortogonale e travetti; a livello di solaio di copertura del primo livello, oltre alle catene delle capriate, di travi intermedie e di travetti del controsoffitto;

La copertura in legno prevede nella zona nord-est dell'edificio la presenza:

- sulla luce corta, a livello di solaio di copertura del primo livello, di travetti del controsoffitto;
- sulla luce lunga, di capriate appoggiate al muro perimetrale ed al muro centrale, con trave di colmo e due terzere ad esse ortogonale e travetti; a livello di solaio di copertura del primo livello, oltre alle catene delle capriate, di travetti del controsoffitto;

La tavola grafica Tav. 1.1 dell'Allegato 1 alla quale si farà frequentemente riferimento definisce l'ubicazione delle indagini eseguite.

Nel repertorio fotografico dell'Allegato 2 i cui punti di presa fotografica sono riportati nella Tavola grafica Tav 1.2 dell'Allegato 1 sono riportate alcune immagini relative alle indagini eseguite.

Nei successivi paragrafi del presente rapporto tecnico vengono esposte le tecniche di prova, le modalità di analisi e di interpretazione dei dati, e si riportano i risultati delle indagini.

## 2 PROVE PENETROMETRICHE SU LEGNO (RESISTOGRAPH)

### 2.1 Metodo di indagine con Resistograph

Il metodo di indagine resistografica è un metodo non invasivo che consente di valutare la variazione di densità degli elementi lignei senza creare danni agli elementi analizzati.

Il metodo resistografico permette di individuare le variazioni di densità tra legno sano e legno decomposto ed effettuare una diagnosi sul posto di aree di decadimento interno del materiale ligneo in esame. La resistenza opposta dal legno alla penetrazione di una punta azionata da un sofisticato trapano alla perforazione dipende principalmente dalla densità del legno stesso. Quest'ultima rappresenta uno dei valori caratteristici più importanti del materiale e permette di trarre conclusioni sulla qualità del legno in una particolare sezione ed in ultima analisi il grado di tenuta che il legno può avere in quella stessa sezione. La punta che ha un diametro di 3mm, 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, il danno prodotto può essere considerato trascurabile.

Lo strumento restituisce dei grafici, denominati "profili", nei quali sull'asse delle ordinate è riportata la resistenza adimensionalizzata all'avanzamento e sull'asse delle ascisse la profondità di penetrazione (espressa in millimetri). A mano a mano che si fora il legno, i dati misurati vengono meccanicamente registrati su una striscia di carta chimica (scala 1:1).

Di seguito viene mostrato, a titolo esemplificativo, un grafico tipo di indagine penetrometrica condotta con resistograph, nel quale sono evidenziati i principali difetti generalmente riscontrabili.

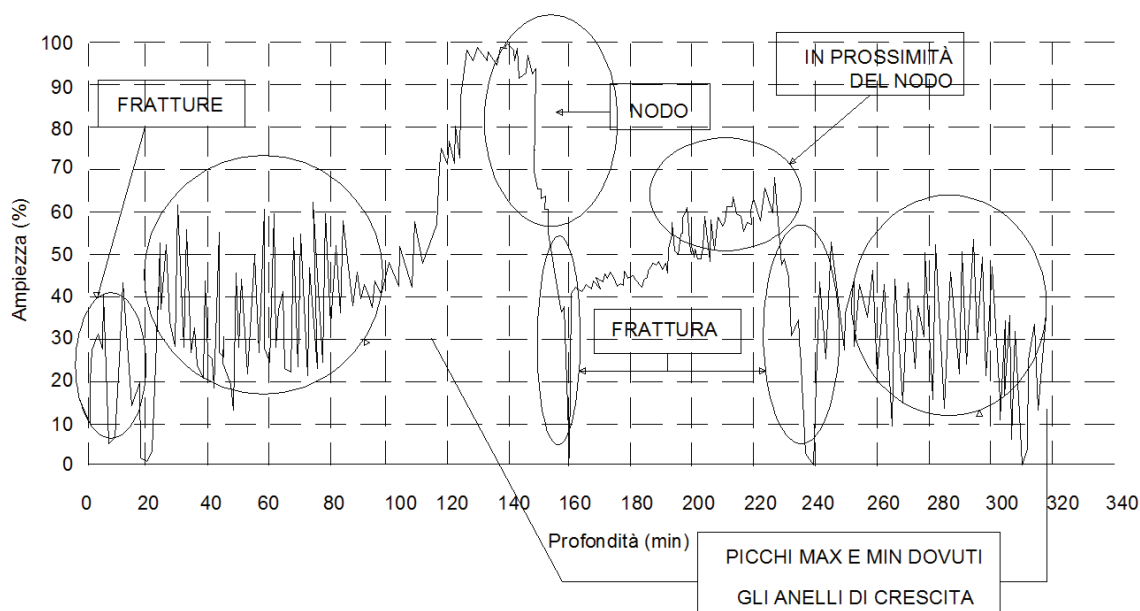
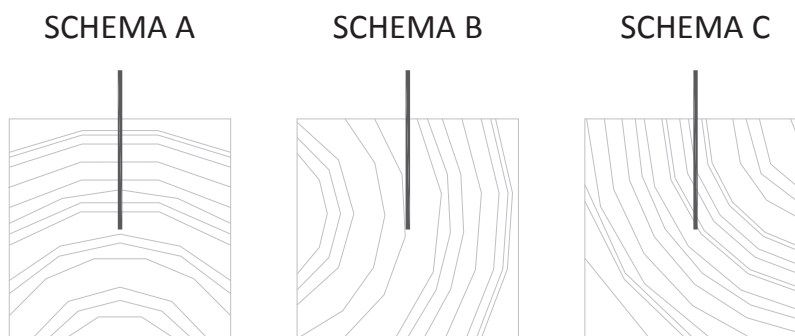


Figura 1- Esempio grafico tipo di indagine penetrometrica

I risultati risultano poi influenzati dallo schema di prova utilizzato in relazione alla disposizione della punta rispetto alle fibre.

Sono in generale possibili tre schemi di penetrazione, illustrati nella figura seguente:

- A) Pseudo perpendicolare alle fibre
- B) Pseudo parallelo alle fibre
- C) Intermedio tra i due



*Figura 2- Schema penetrazione*

## 2.2 Strumentazione utilizzata

Il Resistograph utilizzato è il RESI F400 della IML dotato delle seguenti principali caratteristiche tecniche:

Risoluzione: 0.1 punto per mm di perforazione  
Velocità di avanzamento 0-55 cm al minuto  
Peso dello strumento: 3 kg  
Profondità di perforazione: 400 mm



*Figura 3 – Resistograph*

## 2.3 Risultati delle prove

Con riferimento alla tavola grafica Tav. 1.1 dell'Allegato 1 sono state condotte 10 indagini in elementi strutturali lignei dei solai di copertura.

Nel dettaglio sono stati analizzati i seguenti punti

Prova	Ubicazione	Tipologia legno	Elemento (BxH)
F01	Capriata 1	latifoglie	Catena 24x31
F02	Capriata 2	latifoglie	Catena 29x27
F03	Capriata 3	latifoglie	Catena 34x39
F04	Capriata 4	latifoglie	Catena 28,5x37
F05	Capriata 5	latifoglie	Catena 31x36,5
F06	Capriata 7	latifoglie	Puntone 16,5x20,5
F07	Capriata 8	latifoglie	Puntone 17x19
F08	Trave di Colmo	latifoglie	Trave 21x22
F09	Capriata 9	latifoglie	Puntone $\phi 21,5$
F10	Capriata 10	latifoglie	Puntone $\phi 16,5$

Di seguito si riportano le schede di dettaglio con le osservazioni relative a ciascuna prova

Si osservi che nei tracciati resistografici:


- il valore 0,5 in ascissa è da intendersi come punto 0 della trave in relazione all'aver utilizzato l'adattatore per fori a 90°;
- il valore 2,5 in ascissa è da intendersi come punto 0 della trave in relazione all'aver utilizzato l'adattatore per fori a 45°.

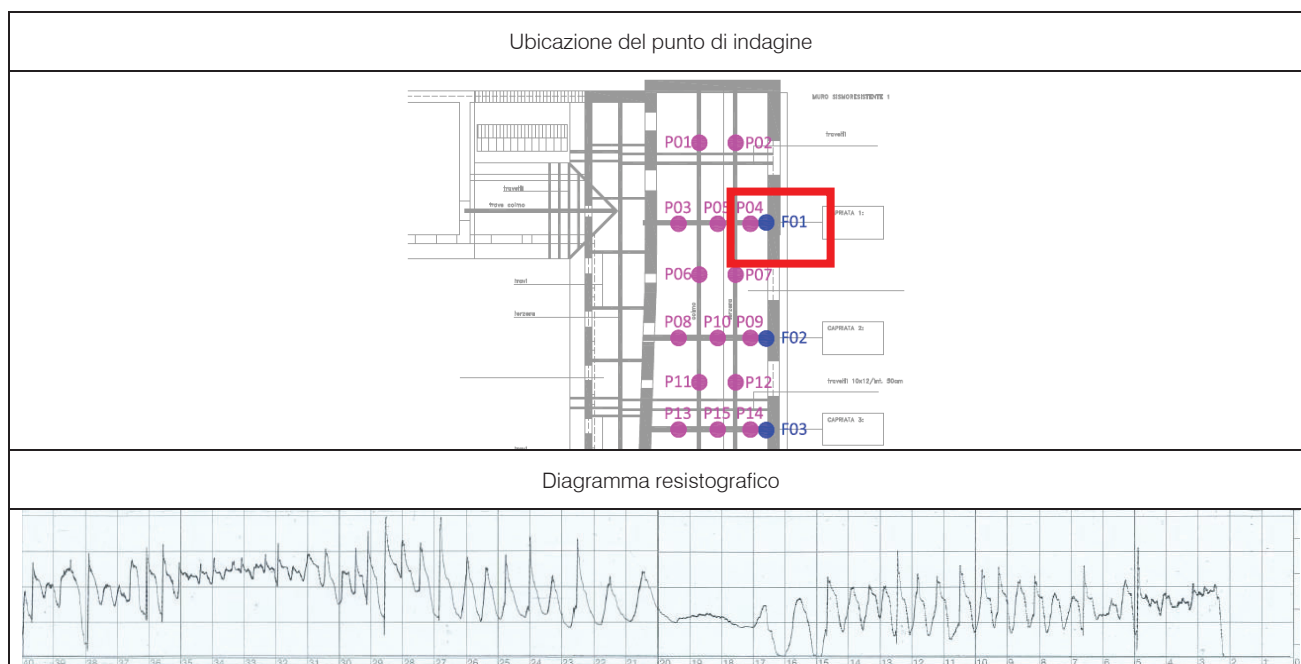
Si osservi altresì che avendo condotto le prove penetrometriche utilizzando un'inclinazione suborizzontale pari a 45° ed essendosi posizionati in prossimità dell'appoggio (a circa 20 cm dallo stesso) al fine di indagare prevalentemente la qualità degli elementi lignei nella zona ammorsata nella muratura, la profondità di indagine non sempre ha potuto attraversare completamente per tutta la sua altezza l'elemento ligneo laddove sia stata raggiunta prima la fine dello stesso.

In tal senso le indagini condotte a 45° forniscono anche indirettamente la profondità di ammorsamento dei travetti stessi.

Si evidenzia altresì che lo strumento presenta un fondo scala pari a 40 cm.

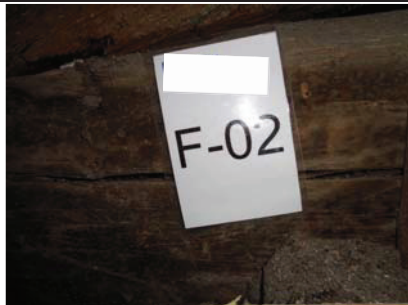
Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Catena Capriata 1 24 x 31 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Ovest</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F01</b>
---	--	---	---

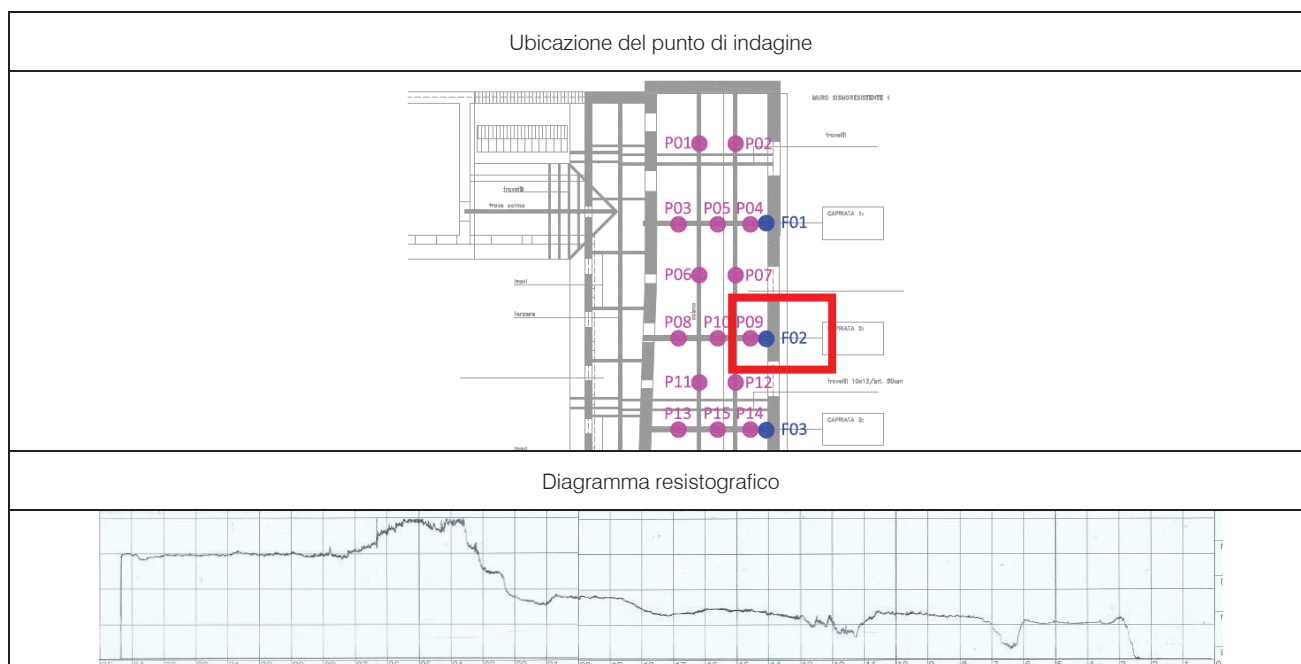
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Appoggio</b>	
Direzione: <b>Orizzontale – Schema A</b>	
Inclinazione: <b>45°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
2,5 ÷ 14,5 cm	0 ÷ 8 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio-bassi
14,5 ÷ 16,5 cm	1,5 cm	Presenza fratture
16,5 ÷ 38 cm	10 ÷ 25 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medi


Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Catena Capriata 2 29 x 27 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Ovest</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F02</b>
---	--	---	---

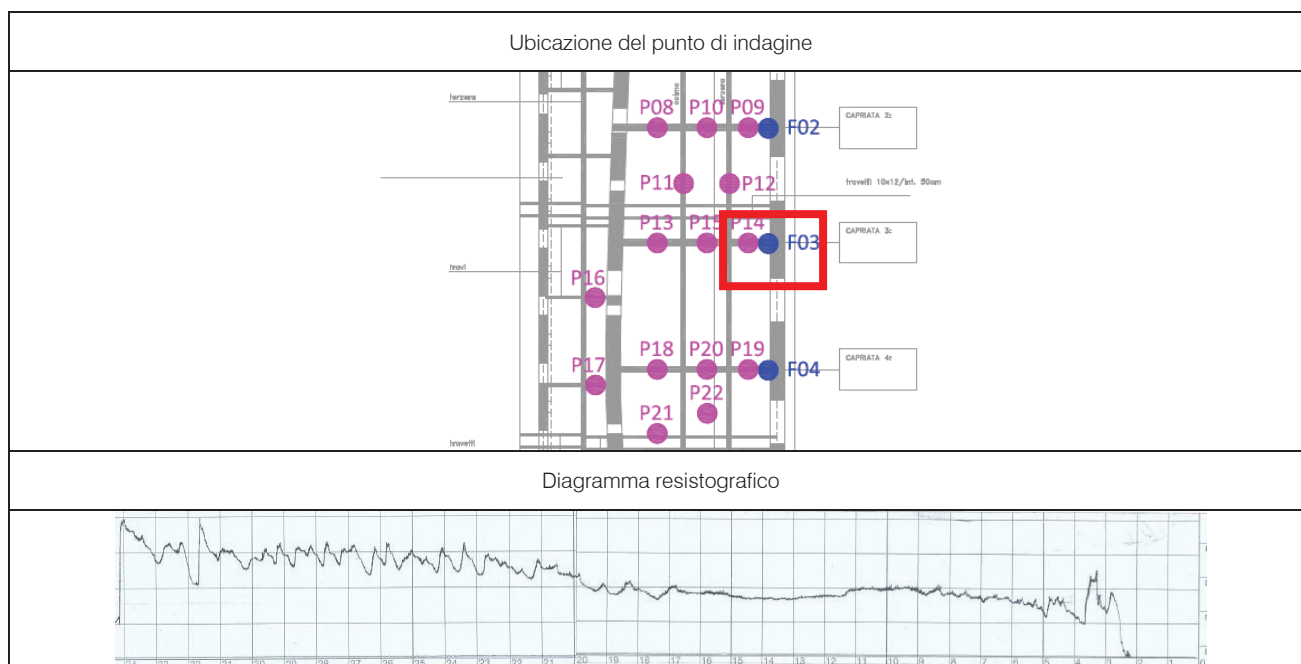
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Appoggio</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema B</b>	
Inclinazione: <b>45°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
2,5 ÷ 22,5 cm	0 ÷ 14 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio-bassi
22,5 ÷ 27,0 cm	14 ÷ 17 cm	Presenza di nodo
27,0 ÷ 34,5 cm	14 ÷ 23 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio-alti


Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Catena Capriata 3 34 x 39 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Ovest</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F03</b>
---	--	---	---

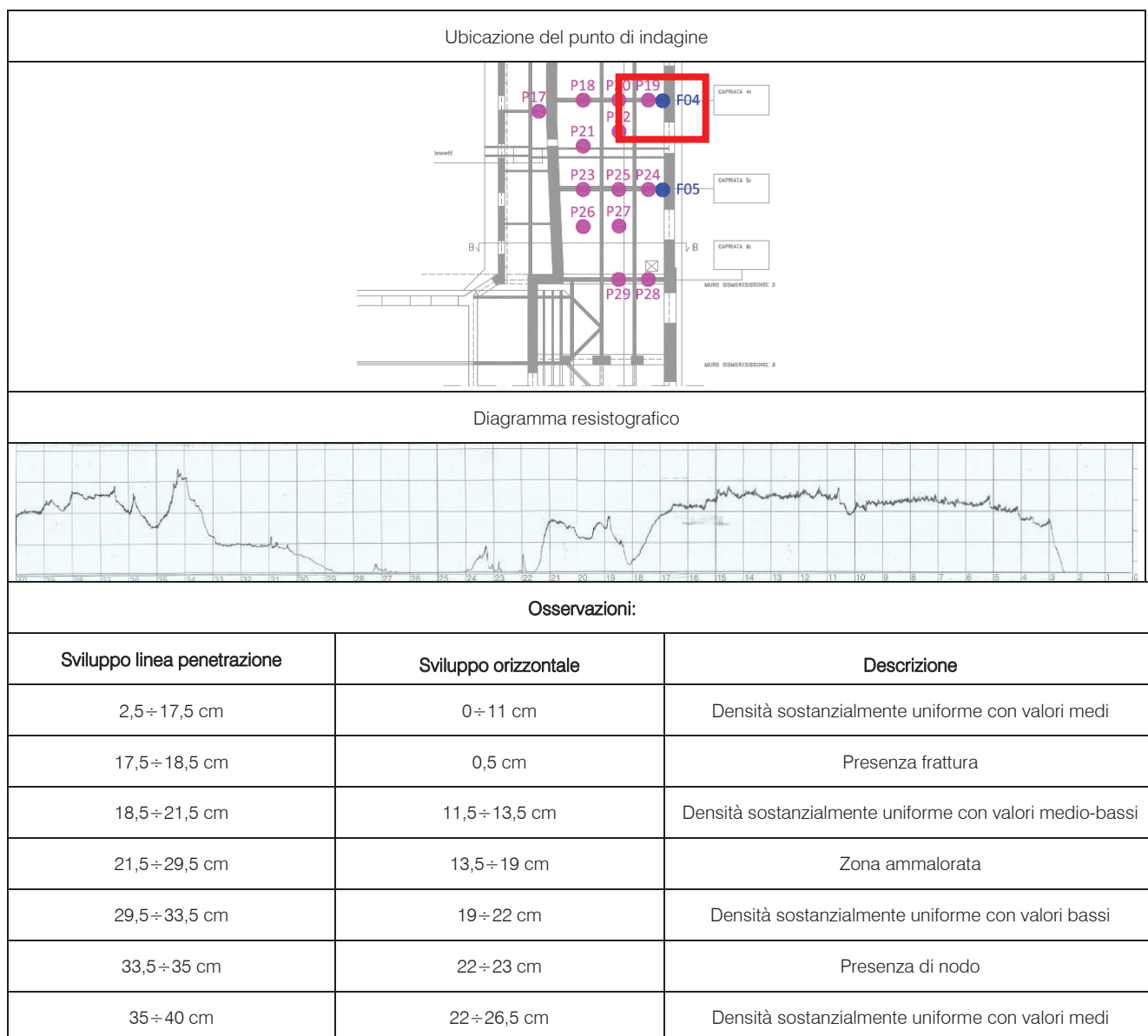
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Appoggio</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema C</b>	
Inclinazione: <b>45°</b>	




Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
2,5÷20,5 cm	0÷13 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medi
20,5÷34,5 cm	13÷23 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio-alti

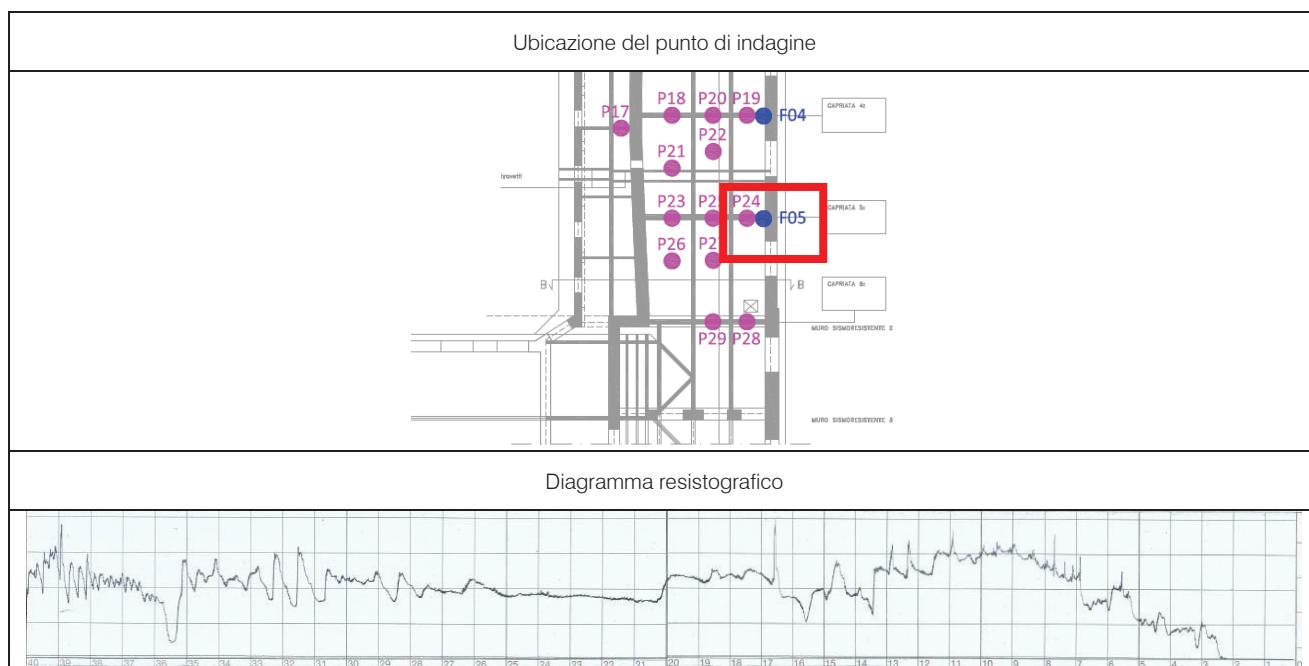
Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Catena Capriata 4 28,5 x 37 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Ovest</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F04</b>
---	--	---	---

Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Appoggio</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema A</b>	
Inclinazione: <b>45°</b>	



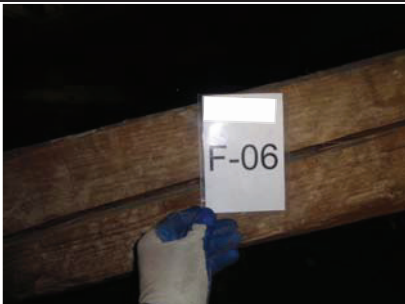
Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Catena Capriata 5 31 x 36,5 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Ovest</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F05</b>
---	--	---	---

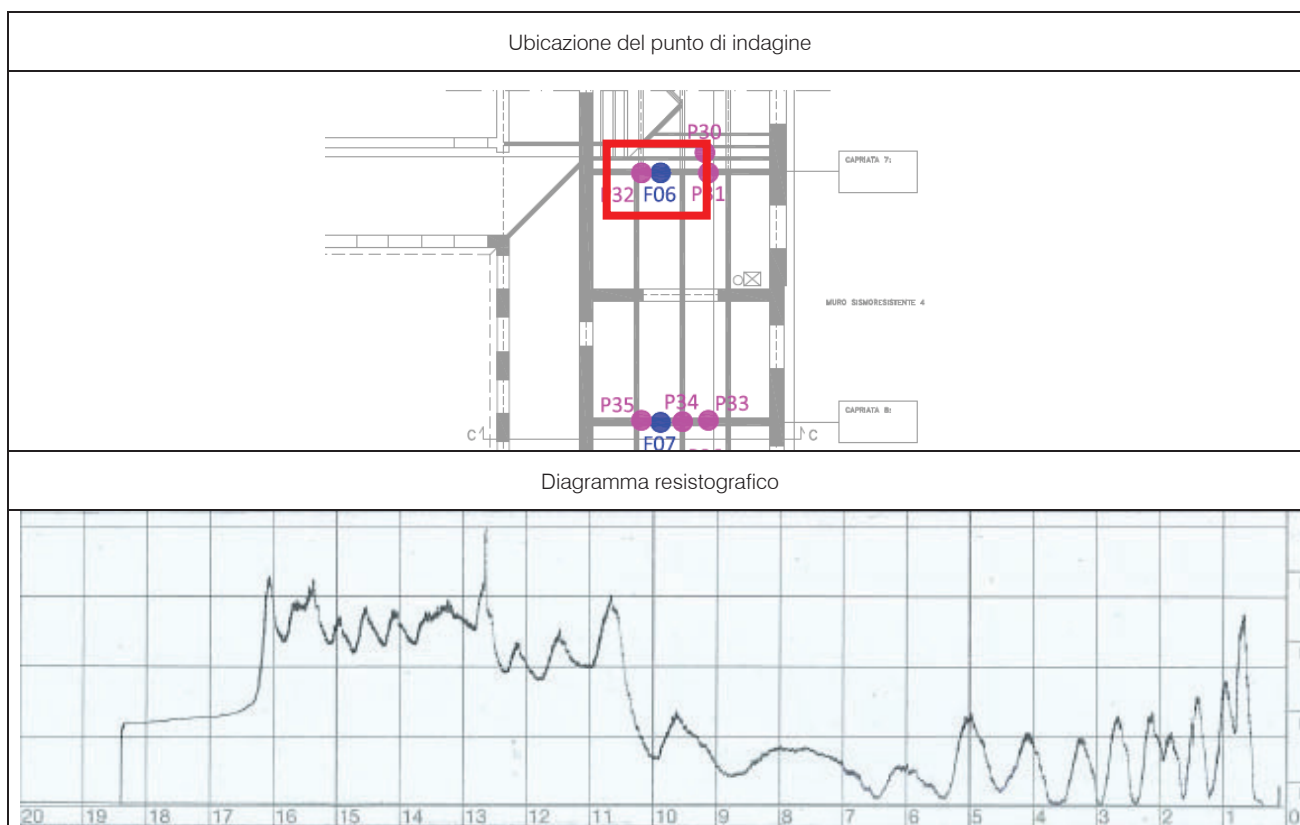
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Appoggio</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema A</b>	
Inclinazione: <b>45°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
2,5 ÷ 35,5 cm	0 ÷ 23 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medi
35,5 ÷ 36 cm	0,5 cm	Presenza frattura
36 ÷ 40 cm	23,5 ÷ 26,5 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medi

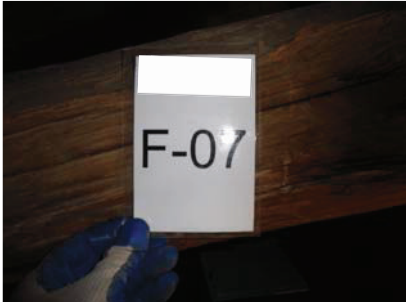
Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Puntone Capriata 7 16,5 x 20,5 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Est</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F06</b>
---	---	---	---

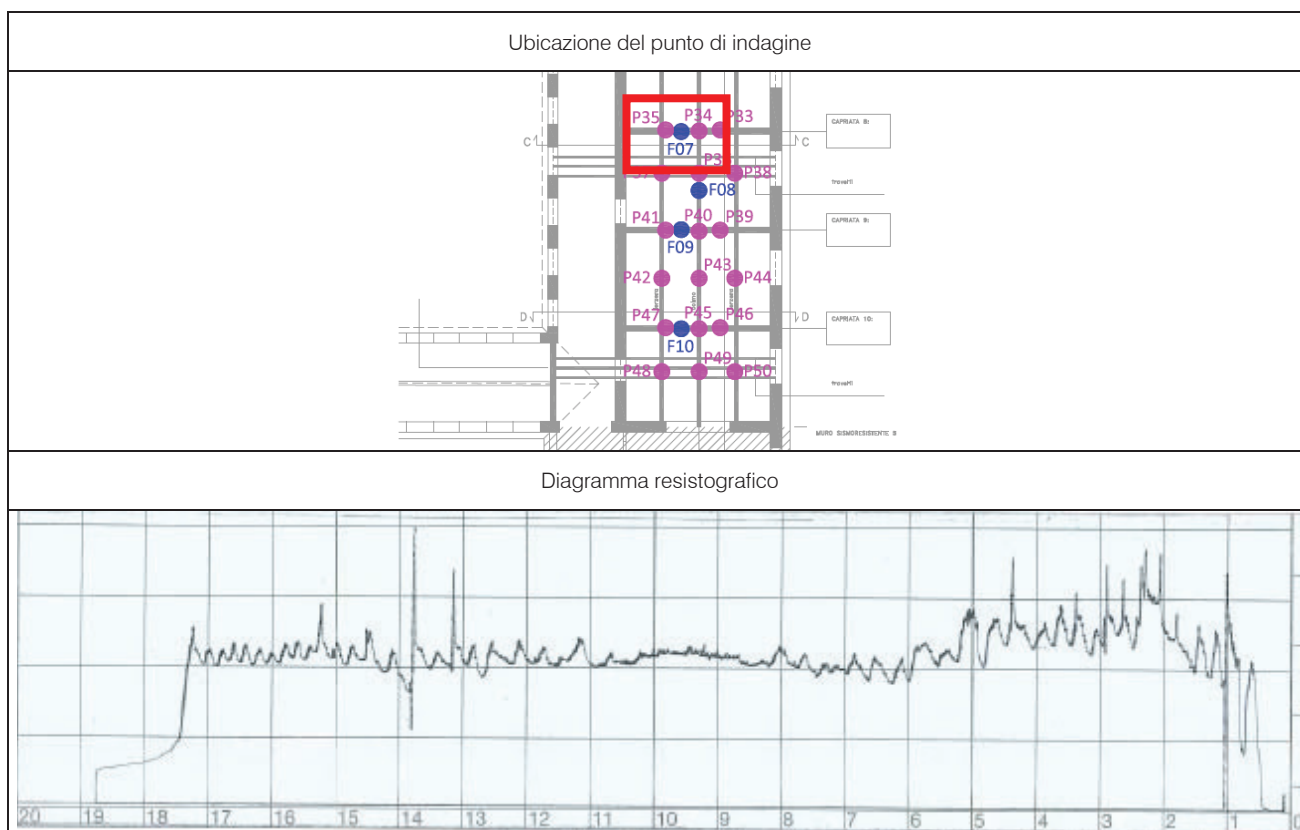
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Mezzeria</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema A</b>	
Inclinazione: <b>90°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
0,5 ÷ 10,5 cm	0 ÷ 10 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori bassi
10,5 ÷ 16,5 cm	0 ÷ 16 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medi

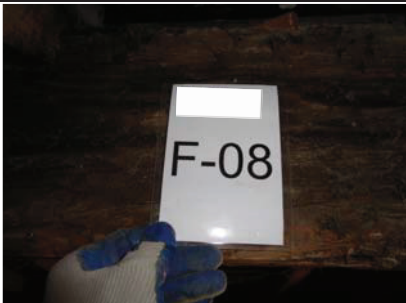
Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Puntone Capriata 8 17 x 19 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Est</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F07</b>
---	---	---	---

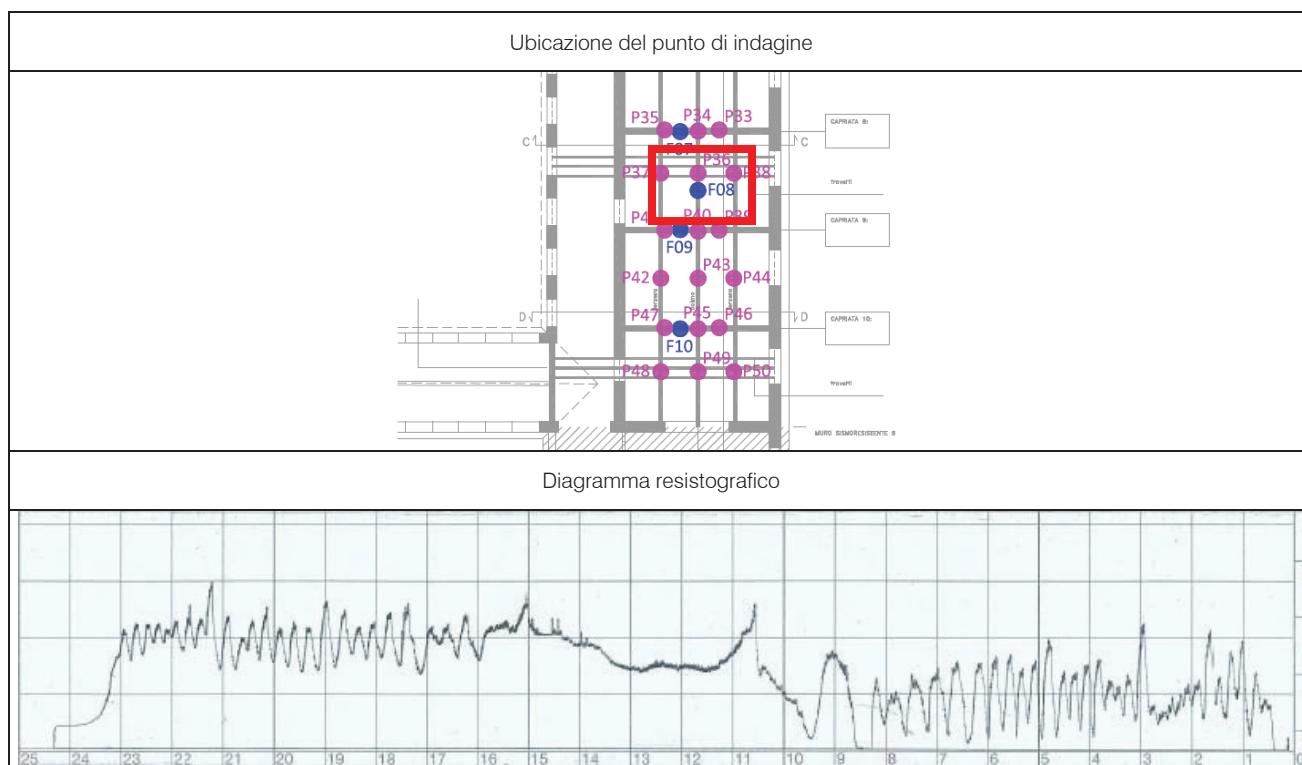
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Mezzeria</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema B</b>	
Inclinazione: <b>90°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
0,5 ÷ 17,5 cm	0 ÷ 17 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medi


Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Trave di Colmo 21 x 22 cm (B x H)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Est</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F08</b>
---	---	---	---

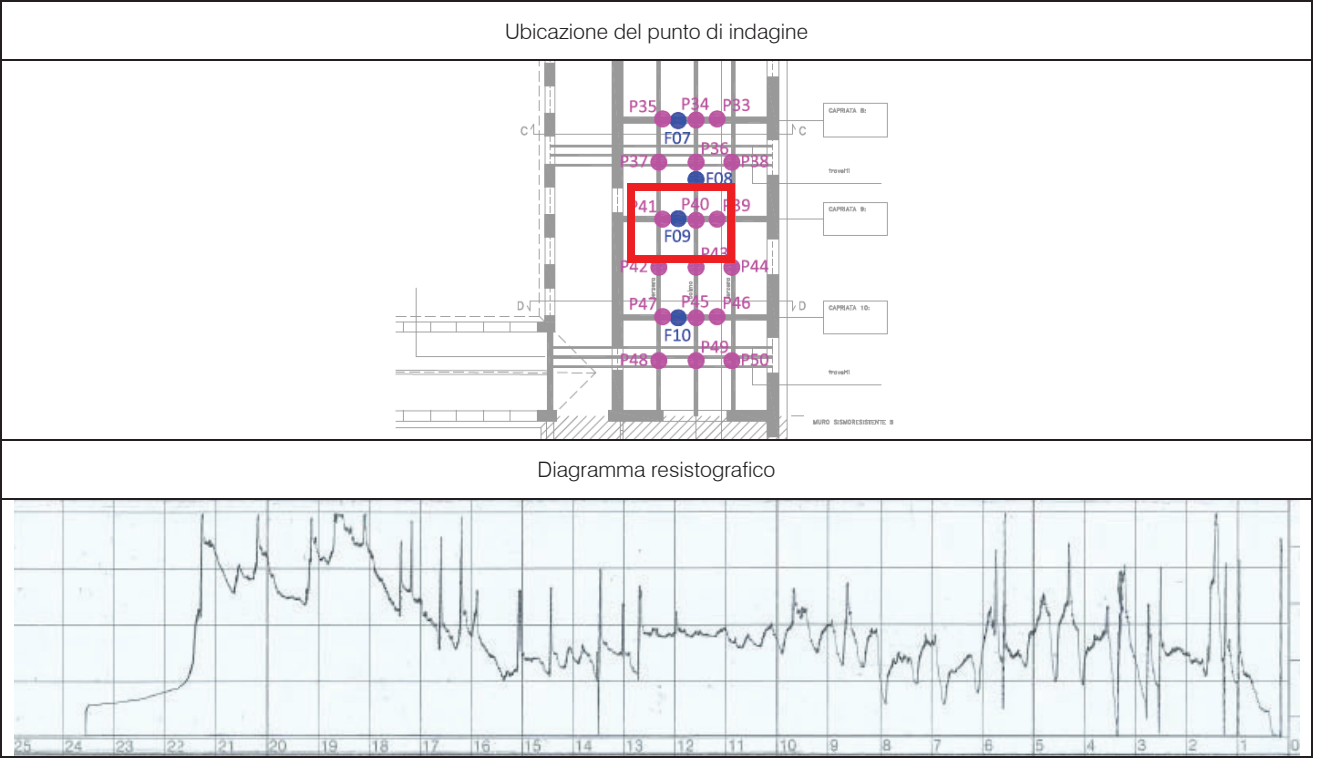
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Mezzeria</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema A</b>	
Inclinazione: <b>90°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Ubicazione sviluppo verticale	Descrizione
0,5 ÷ 23 cm	0,5 ÷ 8,5 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio-bassi
8,5 cm e 9,5 cm	0,5	Presenza frattura
10 ÷ 23 cm	9,5 ÷ 22,5 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio


Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Puntone Capriata 9 21,5 cm (φ)</b>	Ubicazione <b>Copertura Ala Nord Est</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F09</b>
---	--	---	---

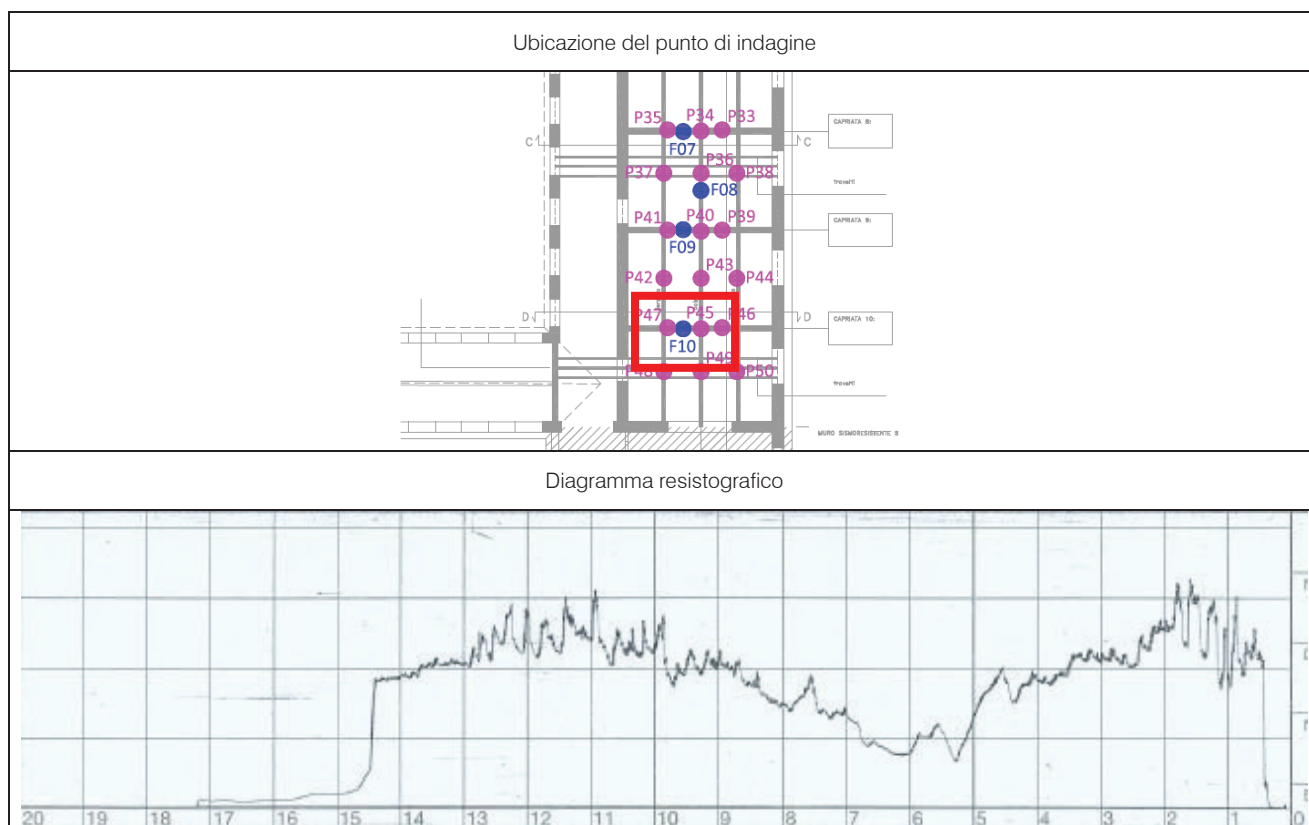
Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Mezzeria</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema A</b>	
Inclinazione: <b>90°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
0,5÷15,5 cm	0÷15 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio
2,5-3,5 cm e 9,5 cm	0,5	Presenza frattura
15,5÷21,5 cm	15÷21 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio-alti

Oggetto: <b>Liceo Veronica Gambara</b>	Elemento: <b>Puntone Capriata 10 16,5 cm (φ)</b>	Ubicazione <b>C Copertura Ala Nord Est</b>	Prova: <b>RESISTOGRAFICA F10</b>
---	---	---	---

Materiale: <b>Legno ordinario (latifoglie)</b>	
Posizione: <b>Mezzeria</b>	
Direzione: <b>Orizzontale– Schema A</b>	
Inclinazione: <b>90°</b>	



Osservazioni:		
Sviluppo linea penetrazione	Sviluppo orizzontale	Descrizione
0,5 ÷ 4,5 cm	0 ÷ 4 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio
4,5 ÷ 8,5 cm	4 ÷ 8 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio-bassi
8,5 ÷ 14,5 cm	8 ÷ 14 cm	Densità sostanzialmente uniforme con valori medio

In sintesi, dall'analisi delle curve ottenute mediante indagine penetrometrica con RESISTOGRAPH®, è possibile osservare quanto segue:

- il quadro risulta essere abbastanza eterogeneo con valori di densità tendenzialmente variabili in relazione all'elemento indagato;
- l'elemento ligneo delle catene (F01÷F05) mantiene, nella sua porzione ammorsata, un livello qualitativo costante;
- fa eccezione la catena F04 che presenta un grado di ammaloramento significativo nella porzione indagata.

### **3 PROVE PENETROMETRICHE SU LEGNO (SCLEROMETRO)**

#### **3.1 Metodo di indagine con Sclerometro**

Il metodo di indagine sclerometrica su legno è un metodo non invasivo che consente di valutare resistenza e modulo elastico del legno a partire dalla misura di penetrazione di un ago metallico all'interno dell'elemento ligneo oggetto di indagine.

Lo strumento utilizzato è sostanzialmente un penetrometro che utilizza l'energia di uno sclerometro corredato da un ago che viene infisso nel tessuto ligneo con un prefissato numero di colpi (5 colpi). È possibile correlare l'affondamento dell'ago alle caratteristiche meccaniche, alla natura del materiale ligneo ed alla sua conservazione all'interno dell'elemento saggiato.

Il metodo di prova è quindi particolarmente indicato per la valutazione dell'uniformità del tessuto ligneo in sito.

La tecnica di indagine prevede l'individuazione sull'elemento ligneo oggetto di prova di una superficie piana di dimensioni generalmente non inferiori ai 10 x 10 cm di lato. Viene dunque tracciata una griglia sulla superficie con interesse tra le linee di almeno 25 - 30 mm. I vertici del quadrato e le linee di intersezione rappresentano i punti dove eseguire la misura (in genere si eseguono le misure in 3 o 9 punti della griglia).

In ciascun punto viene valutata la penetrazione dell'ago metallico di lunghezza pari a 50 mm a fronte di 5 colpi sequenziali dello sclerometro mediante l'utilizzo di comparatore centesimale.

Viene quindi calcolato il valor medio di penetrazione e da esso ricavata, attraverso le curve di correlazione derivanti da ricerche sperimentali in ambito universitario fornite a corredo dello strumento o desumibili da dati di letteratura, la stima le caratteristiche meccaniche dell'elemento ligneo oggetto di indagine.

#### **3.2 Strumentazione utilizzata**

Lo penetrometro utilizzato è il Wood Pecker 16 della DRC dotato delle principali caratteristiche tecniche descritte di seguito.

Il Wood Pecker è un completamento di uno sclerometro tipo N (energia d'impatto 2.207 Nm) a cui viene aggiunto sull'asta di percussione un puntale costituito da un 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°.

L' ago in acciaio è facilmente removibile dall'asta di percussione in modo da consentire la verifica del martello all'incudine di taratura.

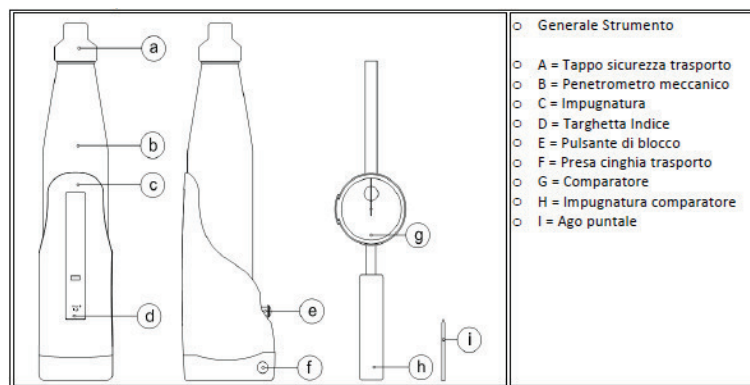


Figura 4 – Schema Wood Pecker



Figura 5 – Wood Pecker e Comparatore

### 3.3 Risultati delle prove

Con riferimento alla tavola grafica Tav. 1.1 dell'Allegato 1 sono state condotte 50 indagini in elementi strutturali lignei dei solai di copertura.

Nel dettaglio sono stati analizzati i seguenti punti

Prova	Ala	Livello	Elemento	Tipologia legno	Elemento (BxH o $\phi$ )-[cm]
P01	N-W	Copertura	Colmo	latifoglie	$\phi$ 19,5
P02	N-W	Copertura	Terzera N	latifoglie	$\phi$ 22,5
P03	N-W	Copertura	Puntone S	latifoglie	20x20
P04	N-W	Copertura	Puntone N	latifoglie	20x18
P05	N-W	Copertura	Catena	latifoglie	24x31
P06	N-W	Copertura	Colmo	latifoglie	$\phi$ 18,5
P07	N-W	Copertura	Terzera N	latifoglie	$\phi$ 28,5
P08	N-W	Copertura	Puntone S	latifoglie	22x16
P09	N-W	Copertura	Puntone N	latifoglie	18,5x17,5

Prova	Ala	Livello	Elemento	Tipologia legno	Elemento (BxH o $\phi$ )-[cm]
P10	N-W	Copertura	Catena	latifoglie	29x27
P11	N-W	Copertura	Colmo	latifoglie	$\phi$ 21,5
P12	N-W	Copertura	Terzera N	latifoglie	$\phi$ 26,5
P13	N-W	Copertura	Puntone S	latifoglie	15x15
P14	N-W	Copertura	Puntone N	latifoglie	20x20
P15	N-W	Copertura	Catena	latifoglie	34x39
P16	N-W	Copertura	Trave incl	latifoglie	
P17	N-W	Copertura	Trave incl	latifoglie	
P18	N-W	Copertura	Puntone S	latifoglie	17x19
P19	N-W	Copertura	Puntone N	latifoglie	20x20
P20	N-W	Copertura	Catena	latifoglie	28,5x37
P21	N-W	Copertura	Travetto	conifera	9,5x11,5
P22	N-W	Solaio	Trave	latifoglie	15x28,5
P23	N-W	Copertura	Puntone S	latifoglie	15x17
P24	N-W	Copertura	Puntone N	latifoglie	18x20
P25	N-W	Copertura	Catena	latifoglie	31x36,5
P26	N-W	Copertura	Travetto	conifera	9,5x11,5
P27	N-W	Solaio	Travetto	conifera	10x15
P28	N-W	Copertura	Puntone N	latifoglie	17x15,5
P29	N-W	Copertura	Catena	latifoglie	27x25
P30	N-E	Copertura	Travetto	conifera	11x18
P31	N-E	Copertura	Puntone N	latifoglie	17x20
P32	N-E	Copertura	Puntone S	latifoglie	16,5x20,5
P33	N-E	Copertura	Puntone N	latifoglie	$\phi$ 17,5
P34	N-E	Copertura	Monaco	latifoglie	31x24
P35	N-E	Copertura	Puntone S	latifoglie	17x19
P36	N-E	Copertura	Colmo	latifoglie	21x22
P37	N-E	Copertura	Terzera S	latifoglie	$\phi$ 23
P38	N-E	Copertura	Terzera N	latifoglie	14x19
P39	N-E	Copertura	Puntone N	latifoglie	$\phi$ 18
P40	N-E	Copertura	Monaco	latifoglie	20x23
P41	N-E	Copertura	Puntone S	latifoglie	$\phi$ 21,5
P42	N-E	Copertura	Terzera S	latifoglie	$\phi$ 24
P43	N-E	Copertura	Colmo	latifoglie	$\phi$ 24
P44	N-E	Copertura	Terzera N	latifoglie	$\phi$ 25
P45	N-E	Copertura	Monaco	latifoglie	22x27
P46	N-E	Copertura	Puntone N	latifoglie	$\phi$ 18,5

Prova	Ala	Livello	Elemento	Tipologia legno	Elemento (BxH o $\phi$ )-[cm]
P47	N-E	Copertura	Puntone S	latifoglie	$\phi$ 16,5
P48	N-E	Copertura	Terzera S	latifoglie	$\phi$ 26
P49	N-E	Copertura	Colmo	latifoglie	$\phi$ 33
P50	N-E	Copertura	Terzera N	latifoglie	20x25

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in termini di penetrazione, modulo elastico medio  $E_m$  e resistenza a flessione media  $f_m$ . Viene anche formulata una valutazione qualitativa correlata all'entità della penetrazione osservata. Nella tavola Tav. 2 dell'Allegato 1 sono riportati in forma grafica tali valutazioni qualitative sulle caratteristiche degli elementi lignei per un'immediata comprensione dei risultati ottenuti.

Si osservi che, soprattutto nell'ala Nord Est ma anche in quella Nord Ovest sono stati riscontrati fenomeni di umidità del legno con la presenza, soprattutto sulle travi di colmo, anche di possibili zone di attacco da muffe.

I dati di letteratura disponibili evidenziano in tal senso come le prove penetrometriche su legno in condizioni di umidità elevata possano condurre ad un incremento della penetrazione dell'ago dello sclerometro fino a valori superiori del 20÷25 % rispetto alle prove condotte in condizioni di umidità ideale.

Prova	Elemento	Tipologia legno	Penetrazione [mm]	Caratteristiche penetrazione	$E_m$ [MPa]	$f_m$ [MPa]
P01	Colmo	latifoglie	19.8	discreto	5526	19.8
P02	Terzera N	latifoglie	16.3	discreto	6568	28.7
P03	Puntone S	latifoglie	23.0	mediocre	4861	15.0
P04	Puntone N	latifoglie	23.1	mediocre	4843	14.9
P05	Catena	latifoglie	19.6	discreto	5592	20.3
P06	Colmo	latifoglie	23.1	mediocre	4840	14.9
P07	Terzera N	latifoglie	24.0	mediocre	4679	13.8
P08	Puntone S	latifoglie	19.1	discreto	5723	21.3
P09	Puntone N	latifoglie	22.7	mediocre	4915	15.4
P10	Catena	latifoglie	19.2	discreto	5695	21.1
P11	Colmo	latifoglie	21.6	mediocre	5121	16.8
P12	Terzera N	latifoglie	22.9	mediocre	4869	15.1
P13	Puntone S	latifoglie	20.6	mediocre	5355	18.5
P14	Puntone N	latifoglie	20.5	mediocre	5371	18.6
P15	Catena	latifoglie	19.3	discreto	5668	20.9
P16	Trave incl	latifoglie	23.9	mediocre	4692	13.9
P17	Trave incl	latifoglie	23.5	mediocre	4764	14.4
P18	Puntone S	latifoglie	24.3	mediocre	4630	13.5
P19	Puntone N	latifoglie	20.8	mediocre	5305	18.1
P20	Catena	latifoglie	21.9	mediocre	5063	16.4

Prova	Elemento	Tipologia legno	Penetrazione [mm]	Caratteristiche penetrazione	E <sub>m</sub> [MPa]	f <sub>m</sub> [MPa]
P21	Travetto	conifera	21.9	discreto	11661	50.4
P22	Trave	latifoglie	20.1	mediocre	5453	19.2
P23	Puntone S	latifoglie	23.3	mediocre	4800	14.6
P24	Puntone N	latifoglie	17.9	discreto	6047	24.0
P25	Catena	latifoglie	22.4	mediocre	4971	15.7
P26	Travetto	conifera	21.7	discreto	11753	50.8
P27	Travetto	conifera	23.7	discreto	10889	47.0
P28	Puntone N	latifoglie	21.4	mediocre	5174	17.2
P29	Catena	latifoglie	20.4	mediocre	5399	18.8
P30	Travetto	conifera	26.6	mediocre	9840	42.3
P31	Puntone N	latifoglie	23.2	mediocre	4817	14.7
P32	Puntone S	latifoglie	27.4	scarso	4159	10.7
P33	Puntone N	latifoglie	23.4	mediocre	4777	14.5
P34	Monaco	latifoglie	20.2	mediocre	5449	19.2
P35	Puntone S	latifoglie	23.8	mediocre	4720	14.1
P36	Colmo	latifoglie	30.7	scarso	3767	8.7
P37	Terzera S	latifoglie	18.9	discreto	5771	21.7
P38	Terzera N	latifoglie	22.7	mediocre	4918	15.4
P39	Puntone N	latifoglie	21.8	mediocre	5099	16.6
P40	Monaco	latifoglie	18.6	discreto	5841	22.3
P41	Puntone S	latifoglie	20.8	mediocre	5297	18.0
P42	Terzera S	latifoglie	17.7	discreto	6123	24.7
P43	Colmo	latifoglie	28.1	scarso	4067	10.2
P44	Terzera N	latifoglie	21.9	mediocre	5073	16.4
P45	Monaco	latifoglie	22.5	mediocre	4959	15.7
P46	Puntone N	latifoglie	23.4	mediocre	4778	14.5
P47	Puntone S	latifoglie	19.5	discreto	5602	20.4
P48	Terzera S	latifoglie	17.3	discreto	6220	25.5
P49	Colmo	latifoglie	29.6	scarso	3886	9.3
P50	Terzera N	latifoglie	25.3	scarso	4466	12.5

In sintesi, fatto salvo valutazioni più approfondite demandate all' valutazione è demandata all'Ing. Strutturista, è possibile osservare quanto segue:

- Il quadro relativo allo stato di conservazione mostra mediamente valori mediocri nei confronti della resistenza alla penetrazione;
- Gli elementi ubicati nell'ala Nord Ovest presentano caratteristiche generalmente migliori rispetto a quelli ubicati nell'ala Nord Est:

- Gli elementi in legno di latifoglie presentano un valore di resistenza medio a flessione pari a  $f_m = 17.1$  MPa (con valore minimo pari a 8.7 MPa e massimo pari a 28.7 MPa) ed un modulo elastico medio  $E_m = 5124$  MPa (con valore minimo pari a 3767 MPa e massimo pari a 6568 MPa);
- Gli elementi in legno di conifera presentano un valore di resistenza medio a flessione pari a  $f_m = 47.6$  MPa (con valore minimo pari a 42.3 MPa e massimo pari a 50.8 MPa) ed un modulo elastico medio  $E_m = 11036$  MPa (con valore minimo pari a 9840 MPa e massimo pari a 11753 MPa)

## 4 CONCLUSIONI

Dall'analisi delle curve ottenute mediante indagine penetrometrica con RESISTOGRAPH®, il quadro risulta essere abbastanza eterogeneo con valori di densità tendenzialmente variabili in relazione all'elemento indagato.

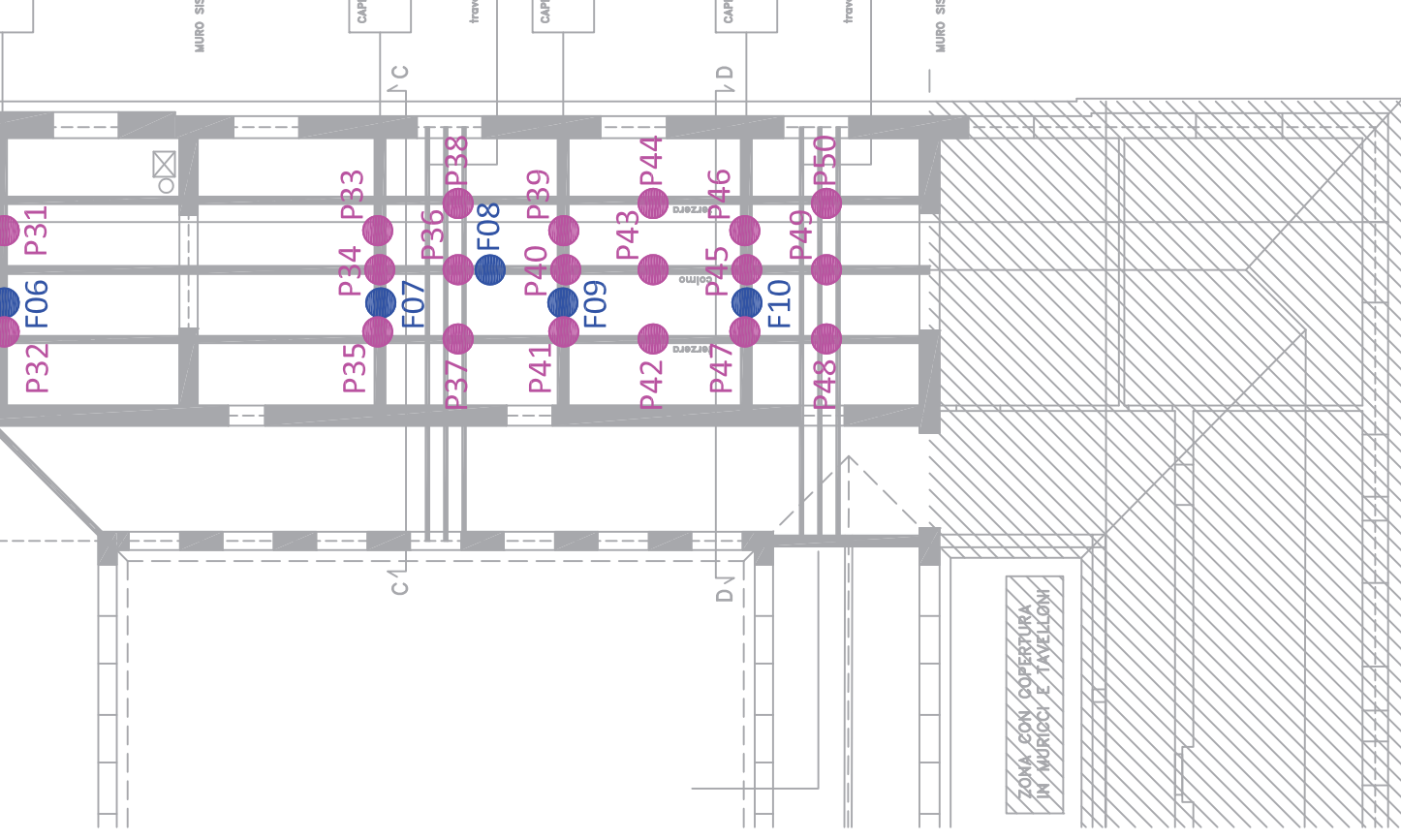
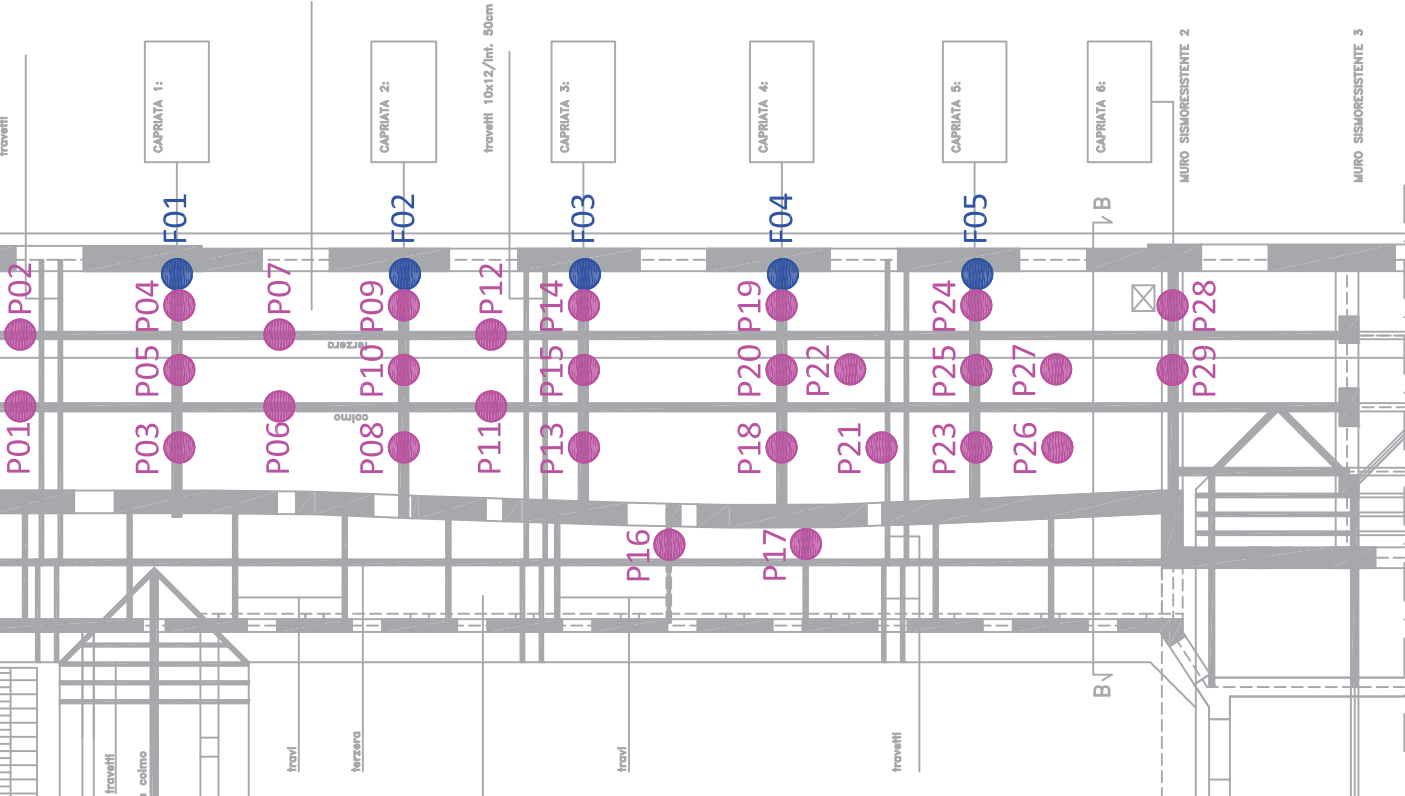
In generale l'elemento ligneo delle catene mantiene, nella sua porzione ammorsata, un livello qualitativo costante; fa eccezione una catena che presenta un grado di ammaloramento significativo nella porzione indagata.

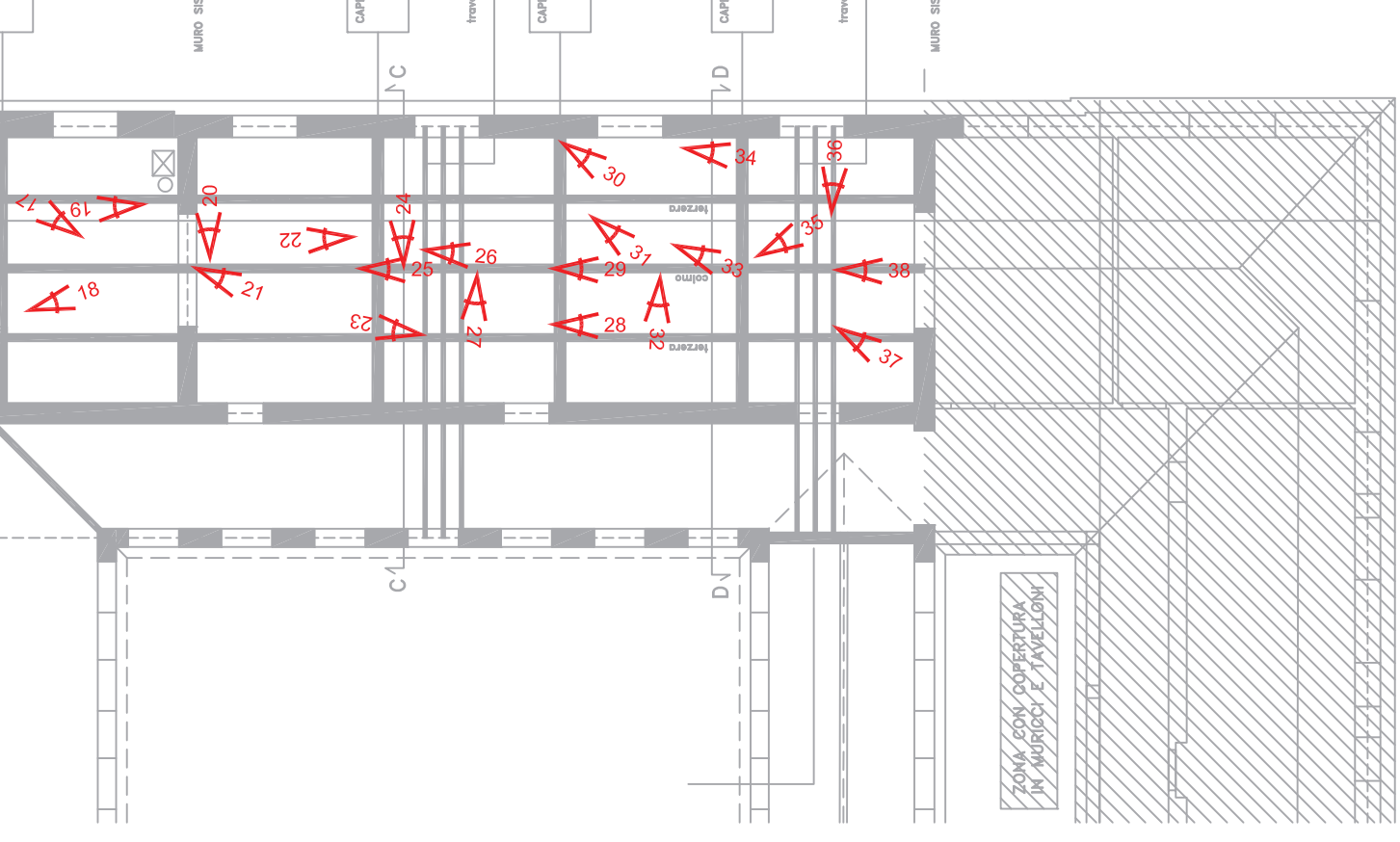
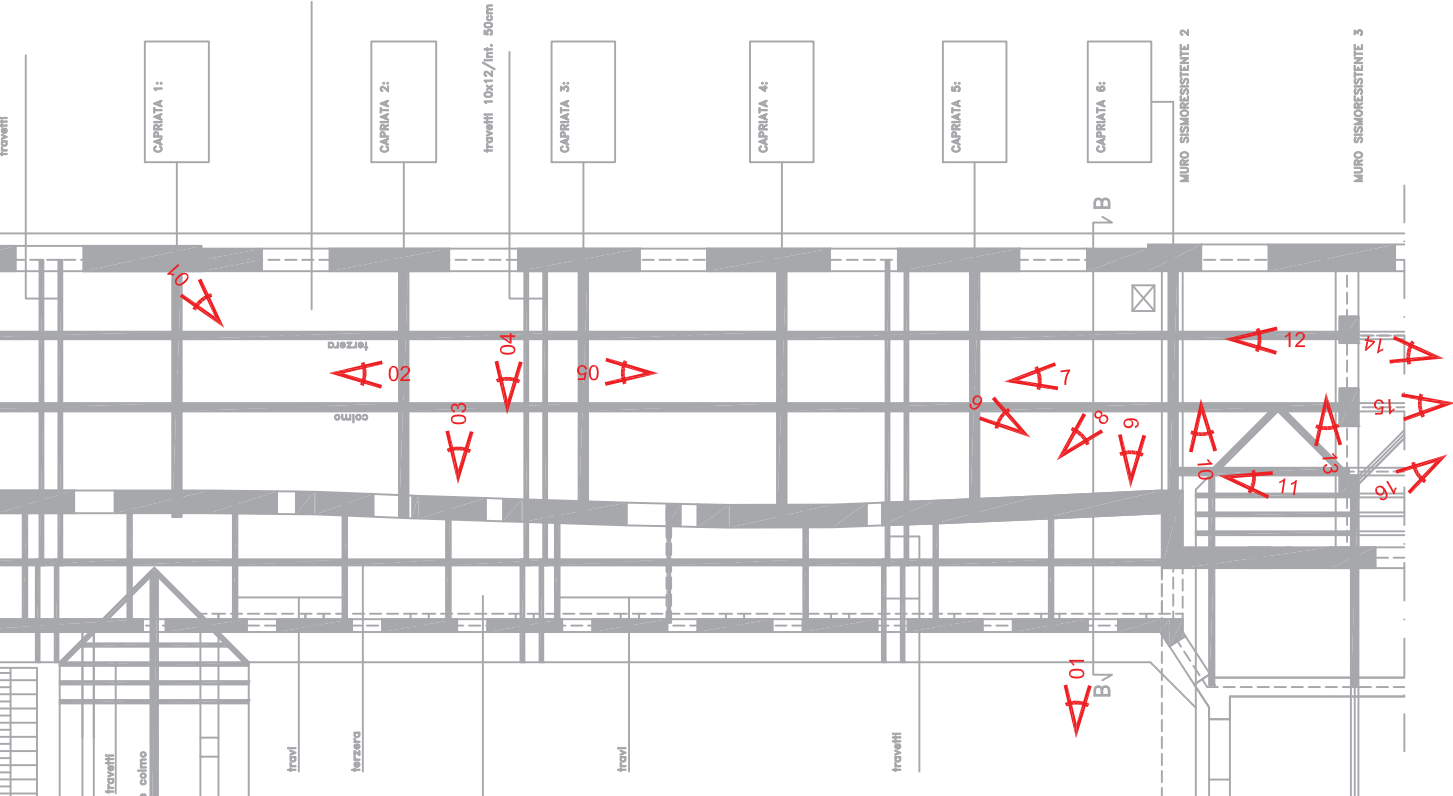
Dall'analisi delle prove penetrometriche con sclerometro Wood Pecker ®, il quadro relativo allo stato di conservazione mostra mediamente valori mediocri.

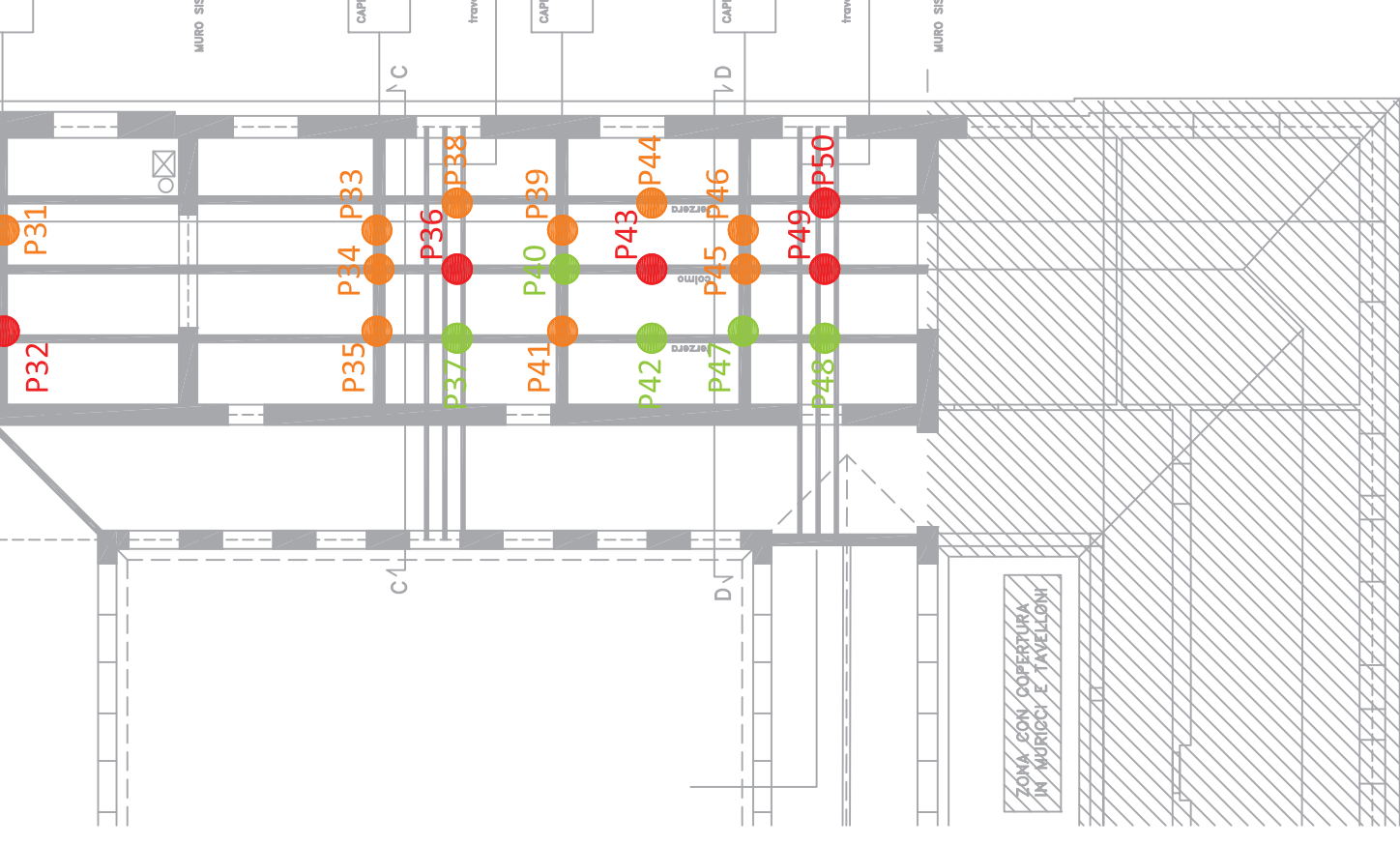
In particolare gli elementi in legno di latifoglie presentano un valore di resistenza medio a flessione pari a  $f_m = 17.1$  MPa ed un modulo elastico medio  $E_m = 5124$  MPa; gli elementi in legno di conifera presentano un valore di resistenza medio a flessione pari a  $f_m = 47.6$  MPa ed un modulo elastico medio  $E_m = 11036$  MPa.

## ALLEGATO 1

Ubicazione delle indagini







## ALLEGATO 2

Repertorio fotografico



Foto 01



Foto 02



Foto 03



Foto 04



Foto 05



Foto 06



Foto 07



Foto 08



Foto 09



Foto 10



Foto 11



Foto 12



Foto 13



Foto 14



Foto 15



Foto 16



Foto 17



Foto 18



Foto 19



Foto 20



Foto 21



Foto 22



Foto 23



Foto 24



Foto 25



Foto 26



Foto 27



Foto 28



Foto 29



Foto 30



Foto 31



Foto 32



Foto 33



Foto 34



Foto 35



Foto 36



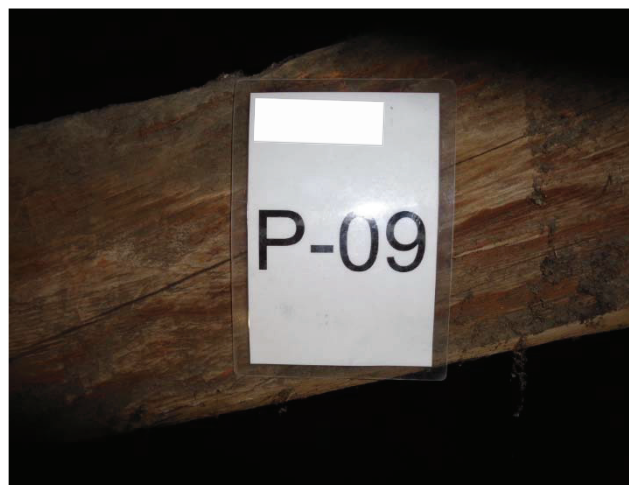
*Foto 37*



*Foto 38*



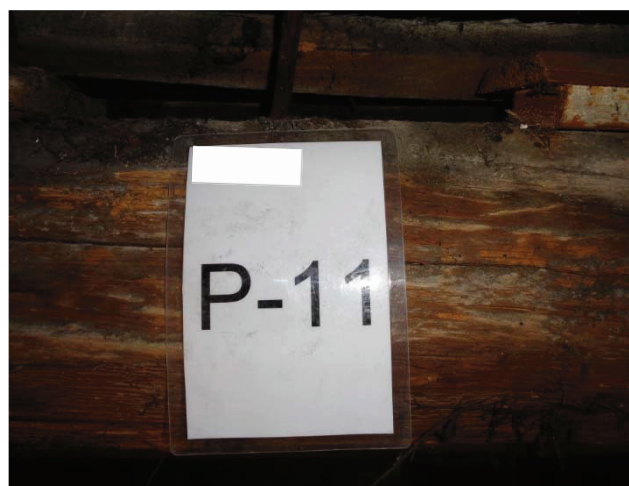
*Prova penetrometrica P08*



*Prova penetrometrica P09*



*Prova penetrometrica P10*



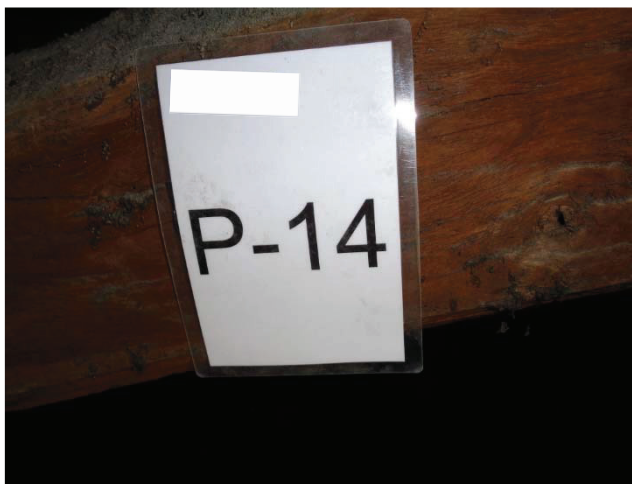
*Prova penetrometrica P11*



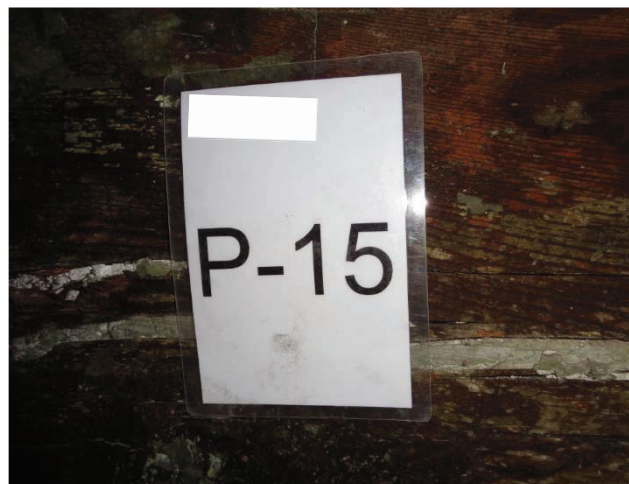
*Prova penetrometrica P12*



*Prova penetrometrica P13*



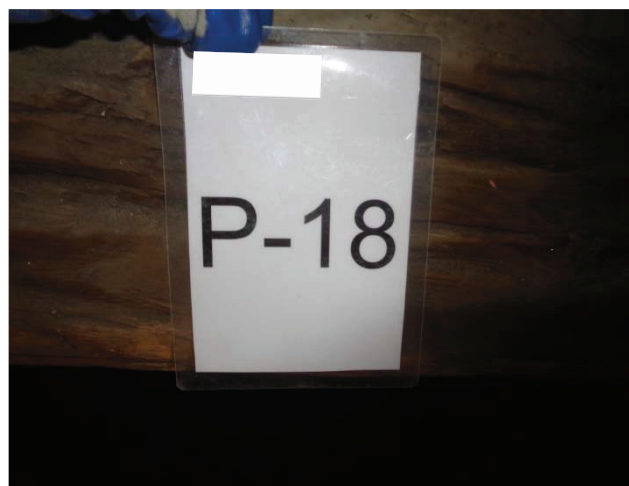
*Prova penetrometrica P14*



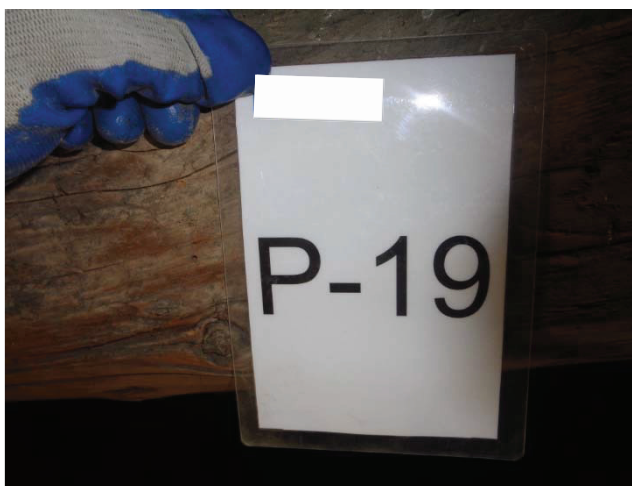
*Prova penetrometrica P15*



*Prova penetrometrica P17*



*Prova penetrometrica P18*



*Prova penetrometrica P19*



*Prova penetrometrica P20*



*Prova penetrometrica P21*



*Prova penetrometrica P22*



*Prova penetrometrica P23*



*Prova penetrometrica P24*



*Prova penetrometrica P25*



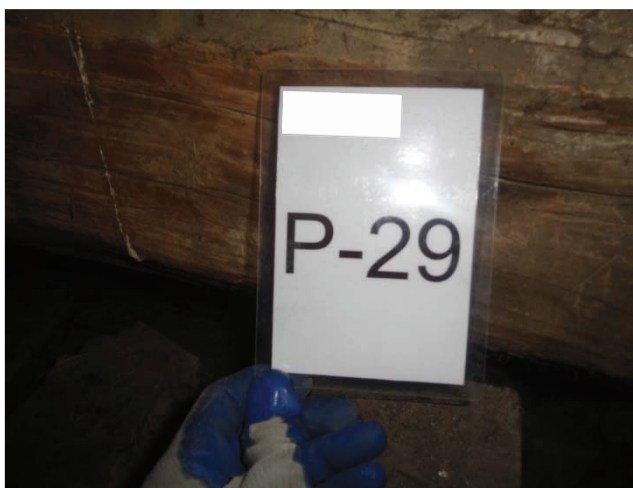
*Prova penetrometrica P26*



*Prova penetrometrica P27*



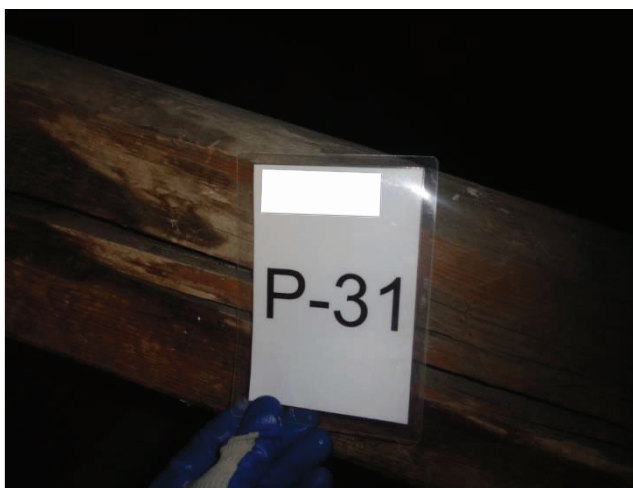
*Prova penetrometrica P28*



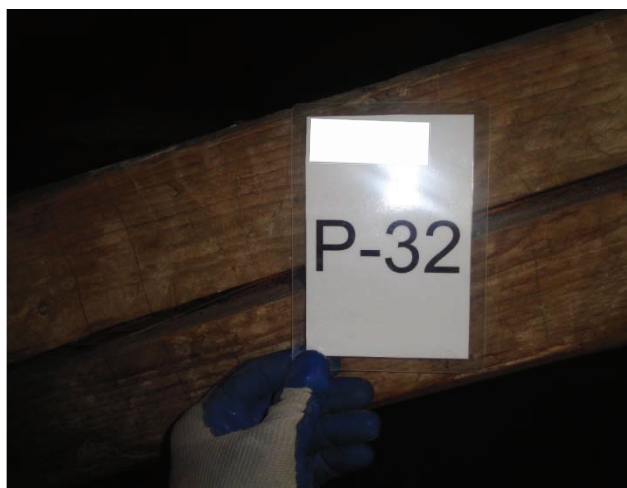
*Prova penetrometrica P29*



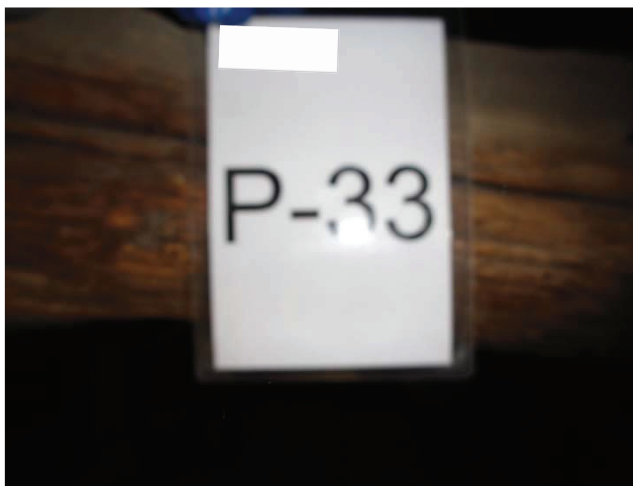
*Prova penetrometrica P30*



*Prova penetrometrica P31*



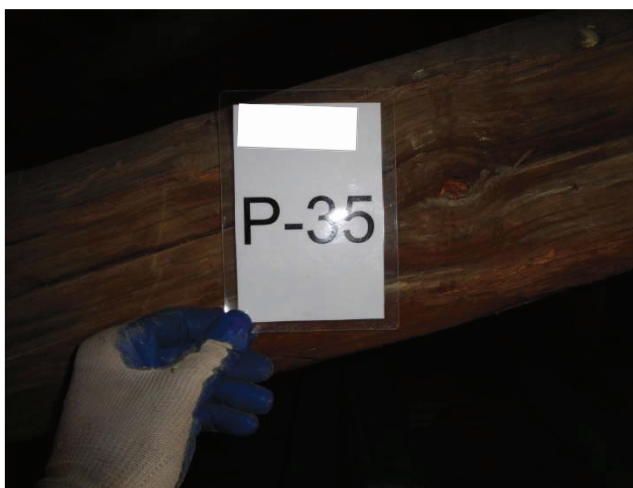
*Prova penetrometrica P32*



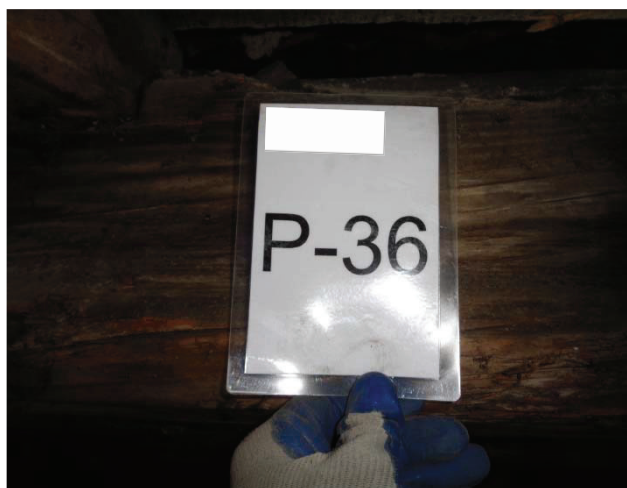
*Prova penetrometrica P33*



*Prova penetrometrica P34*



*Prova penetrometrica P35*



*Prova penetrometrica P36*



*Prova penetrometrica P37*



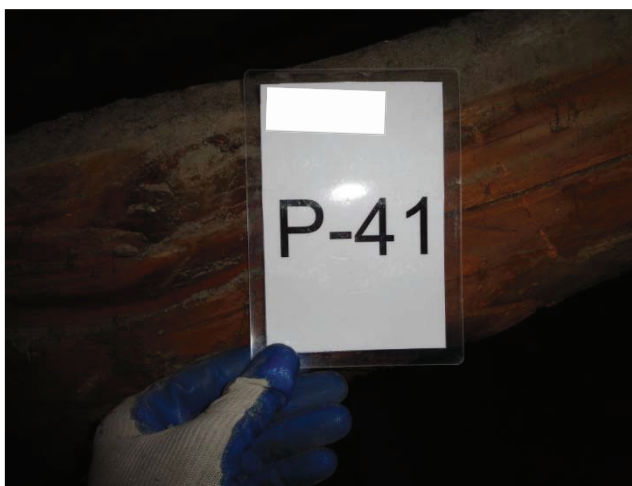
*Prova penetrometrica P38*



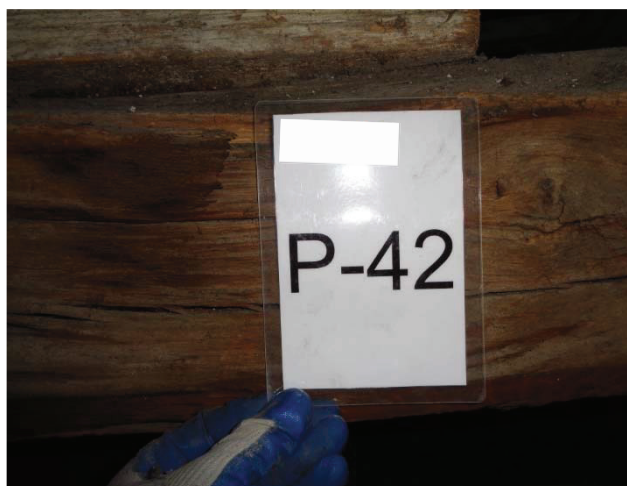
*Prova penetrometrica P39*



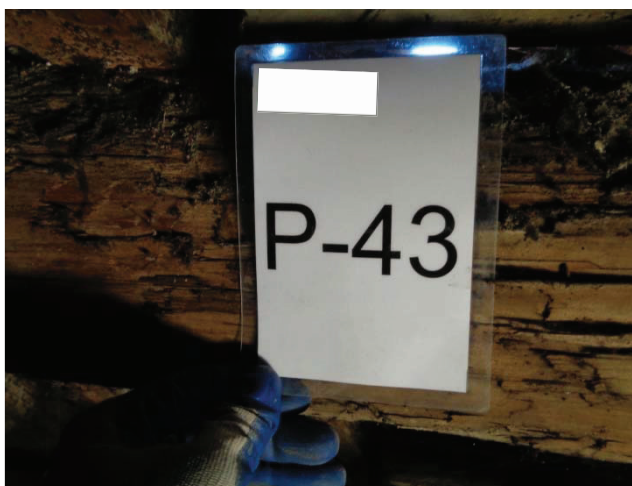
*Prova penetrometrica P40*



*Prova penetrometrica P41*



*Prova penetrometrica P42*



*Prova penetrometrica P43*



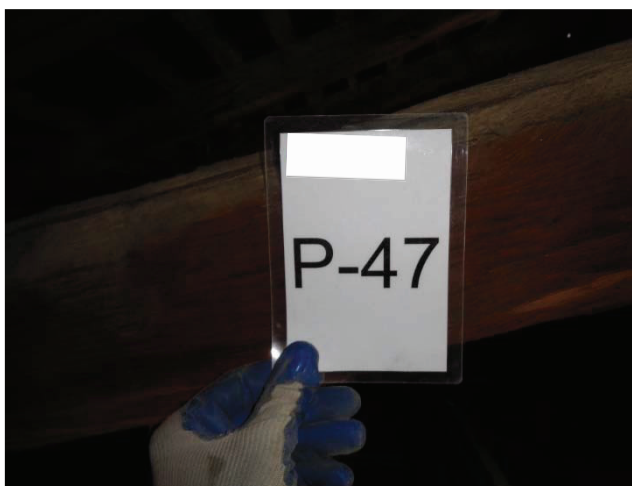
*Prova penetrometrica P44*



*Prova penetrometrica P45*



*Prova penetrometrica P46*



*Prova penetrometrica P47*



*Prova penetrometrica P48*



*Prova penetrometrica P49*



*Prova penetrometrica P50*