



Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Pistoia

Corso di aggiornamento professionale
**“Progettazione di strutture in legno
massiccio e lamellare secondo NTC 2008”**

Ordine degli Ingegneri di Pistoia
Venerdì 5 novembre 2010

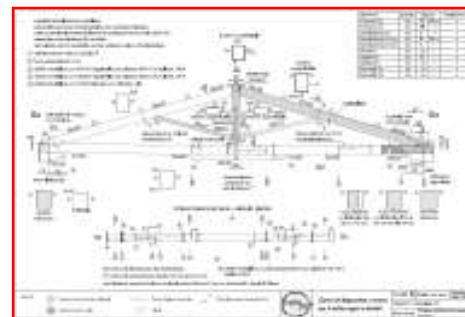


La diagnosi delle strutture lignee in opera: criteri, mezzi, operatività

Massimo MANNUCCI - LegnoDOC S.r.l. Prato

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



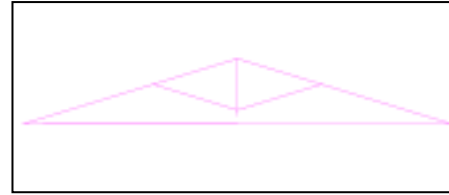
Indice

- **tipologie strutturali**
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture

Strutture a capriate semplici



Coprono in genere luci da 5 a 15m circa

Le capriate di luce modesta (5-10m) sono realizzate con legname di conifera (abete, larice) o di latifoglia (quercia, castagno, pioppo)

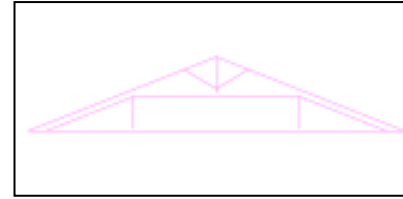
Le capriate di luce più grande (10-15m) sono realizzate esclusivamente con legname di conifera.

Le catene sono realizzate generalmente con elementi unici, talvolta con elementi giuntati di testa con giunto a “dardo di giove”

Strutture a capriate semplici

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture

Strutture a capriate composte



Coprono in genere luci da 10 a oltre 20m

Le capriate di luce minore (10-15m) sono realizzate con legname di conifera (abete, larice) o di latifoglia (quercia, castagno, pioppo)

Le capriate di luce più grande (>15m) sono realizzate esclusivamente con legname di conifera.

Le catene sono raramente formate da elementi unici, quasi sempre formate da elementi giuntati di testa con giunto a “dardo di giove”.

Strutture a capriate composte

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture

- Strutture a falsi puntoni (travi inclinate), arcarecci e travicelli
- Strutture a travi orizzontali e travicelli

Coprono luci fino a 10m circa.

Sono realizzate con legname di conifera e latifoglia



Altre tipologie strutturali

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate decorata (chiesa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate non decorata (chiesa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate (fabbricato rurale)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate con cavalletto (fabbricato rurale)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate su volta di muratura (chiesa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate su solaio (palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate integrate a controsoffitto piano (ex teatro)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a capriate zoppe (semicapriate) (ex convento)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a falsi puntoni e arcarecci (edificio ex rurale)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a falsi puntoni e arcarecci su volta lignea (antica villa di campagna)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a travi orizzontali e travicelli (ex edificio rurale)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Struttura a travi orizzontali con controsoffitto piano (villa di campagna)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Capriata semplice (ex fabbricato rurale)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Capriata tipo “polonceau” (palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Capriate composte (tipo “palladiana”) integrate con solaio piano (teatro)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Coperture



Capriate con catena metallica (scuderia)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai

Strutture a doppia orditura con travi e travicelli, più di rado a semplice orditura con sole travi.

A vista, decorate o rivestite, talora con falsa orditura “a cassettoni”.



Tipologie varie

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



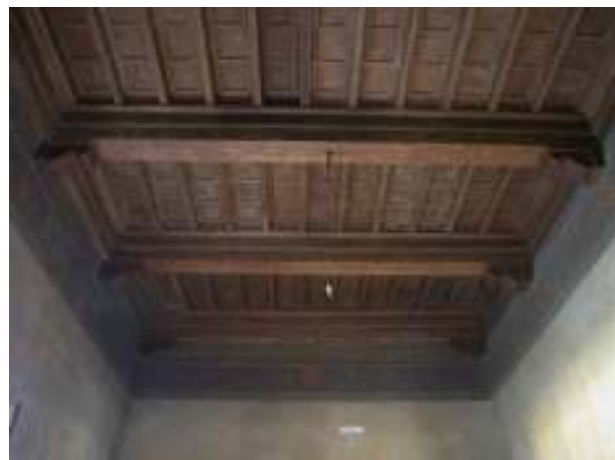
Struttura a travi e travicelli con pianellato (annesso agricolo ex convento)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Struttura a travi e travicelli con pianellato

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Struttura a travi e travicelli con tavolato

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Struttura a travi e travicelli con tavolato decorata

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Solai con struttura "a cassettoni" (Villa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Struttura a travi e travicelli con tavolato, mensole, cornici e coprifili (villa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Struttura a travi e travicelli con tavolato decorata (palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Struttura a travi e travicelli con tavolato decorata (castello)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Struttura a travi e travicelli con tavolato decorata (castello)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Solai con struttura “a cassettoni” (villa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Solai con struttura “a cassettoni” (Villa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Solai con struttura "a cassettoni" (Villa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Solaio con orditura a travi e voltine di muratura (palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Solai vari decorati

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Solai



Solai rivestiti/controsoffittati

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Controsoffitti e volte

Strutture in genere non portanti con funzione prevalentemente estetica.

Di forma piana o curva, più o meno complessa (volte a botte, volte a padiglione, ecc.).

Le parti curve sono sempre realizzate con elementi lignei compositi (centine) in genere di pioppo.



Tipologie varie

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Controsoffitti



Sruttare (controsoffitti) con orditura a soli travicelli e tavolato (villa)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Controsoffitti



Volta lignea classica a centine e cannicciato intonacato (palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Controsoffitti



Volta lignea (Palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Controsoffitti



Volta lignea con relativa struttura di sostegno (Palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Altro



Trave ballatoio scalone monumentale (palazzo)

TIPOLOGIE STRUTTURALI - Altro



Cella campanaria (palazzo)

Indice

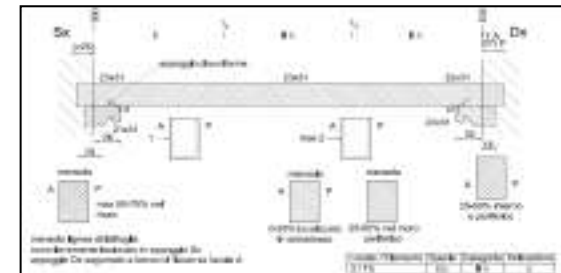
- tipologie strutturali
- **ispezione diagnostica**
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



ISPEZIONE DIAGNOSTICA - Fasi

L'ispezione di una struttura lignea per fini diagnostici comprende le seguenti fasi:

- 1 - pianificazione dell'ispezione
- 2 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
- 3 - elaborazione e restituzione dei risultati



Le fasi sono consequenziali: le fasi 1 e 3 possono essere svolte da una sola persona; la fase 2 viene svolta sempre da una squadra di 2 persone adeguatamente formate e addestrate.

Generalità

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



1 - PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE



PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE

Affinché l'ispezione possa essere eseguita è necessario che siano soddisfatte le seguenti condizioni preliminari:

- accessibilità della struttura (la struttura deve essere raggiungibile in ogni sua parte dai tecnici che eseguono l'ispezione)
- visibilità delle superfici (le superfici degli elementi devono essere pulite ovvero non coperte da polvere, detriti, depositi organici, ecc., e sufficientemente illuminate).

La mancata o parziale soddisfazione di queste condizioni può impedire l'ispezione o limitare la qualità e la quantità delle informazioni da essa ottenibili.



Condizioni di lavoro

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE

Nella pratica può essere necessaria pertanto la realizzazione di opere o interventi preliminari atti a garantire adeguate condizioni di lavoro, quali ad es.:

- per l'accessibilità

allestimento di ponteggi fissi

allestimento di piani di lavoro e passerelle

rimozione di controsoffitti

rimozione di pavimenti

rimozione di manti di copertura



- per la visibilità

asportazione di depositi di polvere, detriti, ecc.

rimozione di pitture e rivestimenti (intonaco, cannicci, ecc.)

illuminazione artificiale degli ambienti di lavoro

Condizioni di lavoro - Interventi

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE

Le condizioni di lavoro hanno inevitabile ricaduta sulla sicurezza degli operatori (tecnici che eseguono l'ispezione) la quale deve sempre essere (non solo per legge) salvaguardata.

Per conseguenza, a seconda delle condizioni di lavoro, devono essere utilizzati adeguati dispositivi di sicurezza e adeguati metodi di lavoro, e il personale (tecnici) deve essere specificamente formato e addestrato.

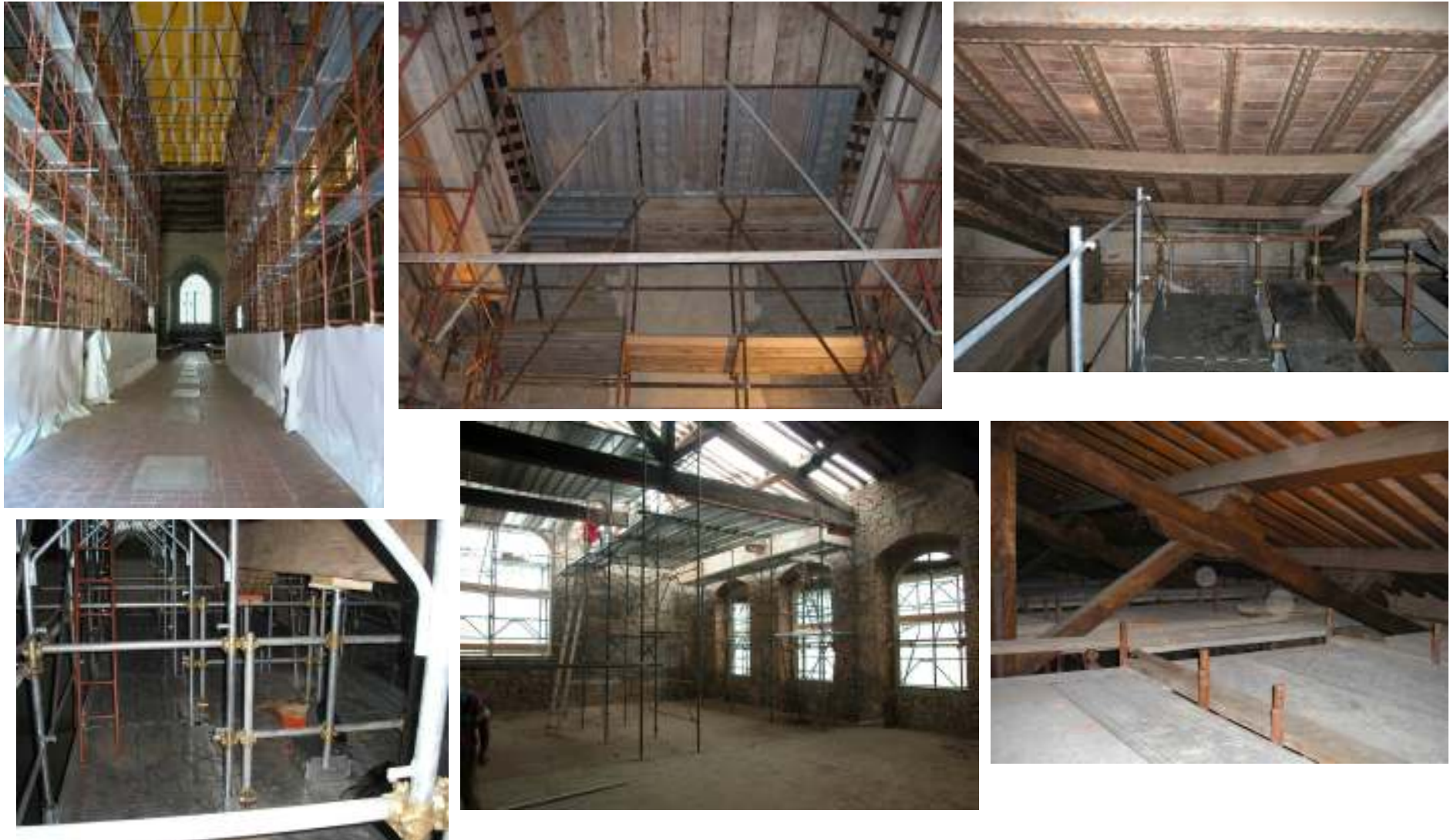
Nella pratica si ricerca il miglior compromesso tra:

- condizioni di lavoro
- modalità di ispezione
- sicurezza



Condizioni di lavoro - Sicurezza

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Ponteggi fissi

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Ponteggi mobili e scale

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Passerelle fisse e camminamenti temporanei

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Condizioni di lavoro difficili (spazio di lavoro ristretto)

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Controsoffitti di valore - Rimozione del pavimento

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Rimozione localizzata del pavimento

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Rimozione andante del pavimento

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Condizioni di accessibilità



Rimozione di controsoffitti

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Sicurezza



Dispositivi di sicurezza - Linee vita

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Problemi di visibilità



Rivestimenti: intonaco (a Sx) cannicciato (a Dx)

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Problemi di visibilità



Rivestimento con tavole decorate (parzialmente rimosse in passato)

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Problemi di visibilità



Superfici decorate

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Problemi di visibilità



Rincalzo con muratura e rivestimento con pittura coprente

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Problemi di visibilità



Cassettatura di travi (tavola laterale rimossa per consentire l'ispezione)

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Problemi di visibilità



Giunto puntone-catena non visibile (a Sx) e visibile (a Dx)

PIANIFICAZIONE DELL'ISPEZIONE - Problemi di visibilità



Appoggi parzialmente accessibili dall'interno

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - **esecuzione dell'ispezione**
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



2 - ESECUZIONE DELL'ISPEZIONE



ESECUZIONE DELL'ISPEZIONE - Norma UNI 11119

| | | |
|---------------------------------|---|------------------|
| NORMA ITALIANA | Beni culturali Manufatti lignei Strutture portanti degli edifici - Ispezione <i>in situ</i> per la diagnosi degli elementi in opera | UNI 11119 |
| | | LUGLIO 2004 |
| | Cultural heritage Wooden artefacts Load-bearing structures - On site inspections for the diagnosis of timber members | |
| CLASSIFICAZIONE ICS | 91.080.20 | |
| SOMMARIO | 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. | |
| RELAZIONI NAZIONALI | | |
| RELAZIONI INTERNAZIONALI | | |
| ORGANO COMPETENTE | Commissione "Beni culturali - NORMAL" | |
| RATIFICA | Presidente dell'UNI, delibera dell'8 giugno 2004 | |

Procedimento - Riferimento normativo

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



ISPEZIONE VISIVA - Operazioni

L'ispezione visiva comprende le seguenti operazioni:

- rilievo geometrico della struttura
- identificazione della specie
- valutazione del degrado
- valutazione della qualità meccanica (classificazione)
- valutazione della efficienza delle unioni



Procedimento

ISPEZIONE VISIVA - Rilievo geometrico

Il rilievo geometrico è indispensabile per

- analizzare e comprendere correttamente il funzionamento della struttura e delle sue parti
- identificare le parti e gli elementi da ispezionare
- riportare in maniera semplice e intuitiva i dati rilevati durante l'ispezione
- restituire in forma grafica i risultati dell'indagine
- consentire l'effettuazione degli eventuali calcoli di verifica statica
- consentire l'elaborazione di un eventuale progetto di consolidamento



Generalità

ISPEZIONE VISIVA - Rilievo geometrico

Devono essere rilevati:

- geometria generale della struttura (luci, interassi) e delle eventuali unità strutturali (ad es. capriate)
- geometria delle unioni (in special modo nelle capriate)
- forma e dimensioni delle sezioni
- deformazioni eventuali



Procedimento

ISPEZIONE VISIVA - Rilievo geometrico



Esempio

ISPEZIONE VISIVA - Identificazione della specie

Specie legnose più ricorrenti nelle strutture antiche:

CONIFERE

abete (rosso e bianco)

larice

pino (pini mediterranei, pino silvestre)

cipresso



LATIFOGLIE

pioppo

castagno

quercia (caducifoglia)

olmo

Altre specie legnose (occasionali):
noce, cedro, specie “esotiche” varie, ecc.

Specie legnose

ISPEZIONE VISIVA - Identificazione della specie

Si effettua sulla base delle

caratteristiche macroscopiche

(quelle visibili ad occhio nudo o con l'ausilio di una lente di ingrandimento) oppure delle

caratteristiche microscopiche

(quelle osservabili mediante microscopio)



Necessario pulire bene la superficie del legno e/o prelevare un piccolo campione da osservare attentamente in laboratorio. Il legno deve essere quanto più possibile esente da difetti e/o degrado.

Procedimento

ISPEZIONE VISIVA - Identificazione della specie



Casi pratici

ISPEZIONE VISIVA - Identificazione della specie



Casi pratici

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione del degrado

Dal punto di vista statico, per degrado si intende qualsiasi alterazione che comporti uno scadimento delle caratteristiche meccaniche (resistenze, elasticità) dell'elemento ligneo.



A seconda della gravità può

- diminuire l'efficienza di un elemento o di una struttura,
- compromettere la funzionalità e la sicurezza della struttura
- determinare il dissesto o il crollo della struttura.

Nel caso del legno il degrado si distingue in :

- degrado biologico (quando è causato da organismi)
- degrado meccanico (quando è causato da sollecitazioni)

Generalità

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Note integrative

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO

Dal punto di vista pratico il degrado biologico comporta sempre una riduzione della sezione resistente dell'elemento o una riduzione delle sue proprietà fisico-meccaniche.

La prima cosa da fare su un elemento ligneo in opera è
- accertare se è presente o meno degrado biologico.



Quando è accertata la presenza di degrado biologico, esso deve essere

- identificato (se possibile)
- valutato nella sua estensione all'interno della sezione (gravità) e secondo la lunghezza dell'elemento

Generalità - procedimento

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO

Il degrado biologico può essere causato da diversi agenti biologici.

Dal punto di vista pratico i più ricorrenti e importanti per le conseguenze che possono produrre sono:

- gli insetti xilofagi (anobidi, cerambicidi, termiti)
- i funghi della carie

L'alterazione prodotta nei due casi è diversa come

- aspetto macroscopico
- meccanismo di azione



Generalità - agenti di degrado biologico

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO

L'alterazione prodotta dagli insetti consiste nella riduzione della sezione resistente a causa delle gallerie scavate dall'insetto per il suo nutrimento.



L'aspetto esteriore degli elementi non è alterato salvo, in fase avanzata dell'attacco, la comparsa dei caratteristici fori di sfarfallamento (la forma e le dimensioni dei quali possono aiutare a identificare il tipo di insetto).

Fanno eccezione le termiti le quali non producono fori di sfarfallamento; pertanto, di regola, non vi è alterazione dell'aspetto esteriore se non per la presenza occasionale delle cosiddette “gallerie artificiali”.

Generalità - insetti xilofagi

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Attacco da Cerambicidi

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Attacco da Cerambicidi

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Attacco da Cerambicidi

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Attacco da cerambicidi

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Attacco da termiti - in genere tuttavia non si hanno manifestazioni esteriori

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO

L'alterazione prodotta dalla carie consiste nella decomposizione bio-chimica dei componenti fondamentali della sostanza legnosa (lignina e cellulosa) con conseguente diminuzione delle proprietà fisico-meccaniche.



Oltre la fase iniziale di sviluppo (nessuna alterazione o solo alterazione di colore), il legno viene considerato degradato e non collaborante.

L'aspetto esteriore del legno degradato per carie è diverso dal legno "sano" e dipende dalla fase di sviluppo della carie (variazione di colore, comparsa di cretti ortogonali alla fibratura, fino alla totale scomparsa del legno)

Generalità - funghi della carie

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Consistenza e aspetto del legno cariato

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Degrado per carie agli appoggi sulle murature e in luce

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Schiacciamento della testa del monaco a causa di degrado grave per carie

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Elemento particolarmente inflesso a causa di degrado grave per carie

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Testa del monaco schiacciata a causa di degrado grave per carie e insetti

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Non sempre il degrado biologico è così evidente nelle parti a vista. A volte non lo è affatto.

Per questo è indispensabile non solo una attenta osservazione di tutti i dettagli ma anche l'uso del martello (percussione) e del cacciavite (infissione).

Quando questi mezzi evidenziano il degrado o il sospetto di degrado ma non sono sufficienti a valutarne la gravità (estensione in sezione e lunghezza) è necessario passare all'ispezione strumentale (prove resistografiche)

Considerazioni

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO



Nel caso degli appoggi sulle murature è sempre possibile che vi sia degrado interno anche se non vi sono manifestazioni esteriori o segni di percolazione d'acqua.

La presenza eventuale di questi ultimi accresce il sospetto che vi sia degrado interno ma non dà nessuna certezza.

Per questo è sempre necessaria l'ispezione strumentale.

Considerazioni

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO

Nella pratica si applicano i seguenti criteri di valutazione:

- soglia di trascurabilità

Dal punto di vista pratico, al di sotto di certi livelli di intensità il degrado viene considerato trascurabile (ad es. 1cm di profondità nel caso di degrado esterno; per il degrado interno il limite è più difficilmente quantificabile)

- sezione resistente residua (sezione efficace)

Quando il degrado supera la soglia di trascurabilità viene valutata la sua estensione rispetto alla sezione geometrica dell'elemento. Se non è possibile definire i limiti della zona degradata, il degrado si esprime in percentuale.

Criteri di valutazione

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO

Insetti:

Se il degrado è concentrato nella porzione esterna della sezione (gallerie ubicate prevalentemente nell'alburno) si valuta la profondità, cioè lo spessore della parte degradata (sezione geometrica ridotta).

Se il degrado è diffuso anche all'interno (gallerie sparse in tutta la sezione) si valuta una percentuale di riduzione della sezione o delle proprietà meccaniche.

Carie:

A seconda di come è distribuito il legno degradato nella sezione, il degrado viene valutato come sezione geometrica ridotta e come percentuale di riduzione della sezione.

Criteri di valutazione - Applicazione a seconda del tipo di degrado

Note di approfondimento: DEGRADO BIOLOGICO

Il degrado biologico può avere manifestazioni esteriori oppure no.

Per questo è necessaria l'osservazione attenta e minuziosa di tutti gli eventuali segni esteriori; ma non basta: bisogna anche eseguire prove con mezzi semplici (percussione con il martello, infissione del cacciavite) e con apposite apparecchiature che utilizzano tecniche non-distruttive (prove resistografiche).

Queste attività costituiscono il nucleo essenziale della ispezione per scopi diagnostici.

Procedimento - Tecniche di valutazione

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Note integrative

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO

Per degrado meccanico si intende il danno prodotto a causa di sollecitazioni eccessive rispetto alla resistenza dell'elemento.

Le rotture e le lesioni in genere sono il danno meccanico che capita più frequentemente di osservare. Spesso sono associate a degrado biologico e/o difetti particolari.



Anche le deformazioni eccessive (quando sono dovute alle sollecitazioni agenti) sono considerate degrado meccanico in quanto indice di uno stato di sollecitazione elevato che nel lungo tempo può provocare la rottura dell'elemento.

Al massimo livello di gravità si ha il dissesto o il crollo della struttura.

Generalità

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Rottura di catena in corrispondenza di giunto a dardo di giove

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Rottura di trave in corrispondenza di nodo cipollato

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Rottura di puntone di capriata in corrispondenza di nodo intradossale

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Rottura (frattura) di trave nuova (a Sx) e di trave in opera (a Dx)

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Lesioni varie dovute a funzionamento inadeguato della cuffia metallica

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Rottura di puntone favorita da cipollatura

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Trave di copertura rotta e puntellata

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Rottura su catena

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Rottura su puntone (a Sx) su travicello e all'unione saetta-monaco (a Dx)

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Deformazione (freccia di inflessione) eccessiva causa sottodimensionamento

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO



Dissesto di capriata a causa della rottura della catena

Note di approfondimento: DEGRADO MECCANICO

La valutazione del degrado meccanico è sostanzialmente affidata all'esperienza del tecnico che esegue l'ispezione. La valutazione è pertanto tendenzialmente soggettiva.

A volte le rotture non sono immediatamente riconoscibili, specialmente se non sono associate a deformazioni evidenti.

Per questo è necessario osservare con la massima attenzione tutti i dettagli, in modo particolare nelle zone più sollecitate e in corrispondenza delle unioni. La presenza di difetti e la loro ubicazione in zone particolarmente sollecitate aumenta la probabilità di rottura in tali zone.

In linea generale la gravità della lesione dipende dalla sua ubicazione ed estensione (quest'ultima non sempre valutabile).

Criteria di valutazione - Procedimento

ISPEZIONE VISIVA - Classificazione

La valutazione della qualità meccanica è necessaria fini dei calcoli di verifica statica.

La qualità meccanica dipende dalla difettosità del singolo elemento e si determina mediante la classificazione a vista in base ai difetti.



Generalità

ISPEZIONE VISIVA - Classificazione

Tabella 1 - Regole di classificazione per elementi strutturali lignei in opera, secondo UNI 11119.

| 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, se limitate |
| Nodi singoli | | $\leq 1/5 = 50 \text{ mm}$ | $\leq 1/3 = 70 \text{ mm}$ | $\leq 1/2$ |
| Gruppi di nodi | | $\leq 2/5$ | $\leq 2/3$ | $\leq 3/4$ |
| Inclinazione della fibratura (pendenza %) | in sez. radiale | $\leq 1/14 (7\%)$ | $\leq 1/8 (12\%)$ | $\leq 1/5 (20\%)$ |
| | in sez. tangenziale | $\leq 1/10 (10\%)$ | $\leq 1/5 (20\%)$ | $\leq 1/3 (33\%)$ |
| Fessurazioni radiali da ritiro | | ammissibili, purché non passanti | | |

Procedimento

ISPEZIONE VISIVA - Classificazione

Tabella 2 - Tensioni ammissibili per i principali tipi di elementi strutturali lignei, classificati in opera, applicabili per umidità del legno = 12%, secondo UNI 11119. I profili resistenti dei legnami espressi in termini di valori caratteristici sono riportati nella norma UNI 11035, che prevede però la visibilità di almeno tre lati ed una testata dell'elemento (condizione che in pratica non si verifica quasi mai).

| SPECIE | CATEGORIA IN OPERA | TENSIONI AMMISSIBILI (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 (Abies alba 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 (Picea abies 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 (Larix 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 (Pinus 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 (Castanea sativa 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 (Populus 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 (Quercus 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 |

Procedimento

Note di approfondimento: DIFETTI



Cipollatura

Note di approfondimento: DIFETTI



Cipollatura

Note di approfondimento: DIFETTI



Deviazione della fibratura

Note di approfondimento: DIFETTI



Nodi

Note di approfondimento: DIFETTI



Difetti vari

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione delle unioni

Il buon funzionamento e la sicurezza statica di una struttura dipendono anche dallo stato e dall'efficienza delle unioni.

Questo vale per tutte le strutture complesse e in modo particolare per le capriate.



Le unioni possono non essere efficienti per varie cause: degrado (biologico e/o meccanico), insufficienza originaria, cattiva realizzazione, difettosità localizzata, degrado/allentamento dei dispositivi di collegamento e/o serraggio (staffe, bulloni, chiodi, cavicchi, ecc.)

Generalità

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione delle unioni



Unione a tenone e mortasa con zeppa di serraggio e staffa metallica di tenuta

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione delle unioni



Tipologie varie di unione

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione delle unioni



Tipologie varie di unione

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione delle unioni



Unione puntone-catena nascosta (a tenone e mortasa) fissata con viti

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione delle unioni



Unione monaco-catena nascosta (a tenone e mortasa)

ISPEZIONE VISIVA - Valutazione delle unioni



Staffe a muro con chiave esterna

ISPEZIONE VISIVA - Altre valutazioni



Esempi di interventi eseguiti in passato

ISPEZIONE VISIVA - Rilievo di altre informazioni



Ad es. tecniche di lavorazione, eventuali iscrizioni, datazione dendrocron. ecc.

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - **ispezione strumentale**
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche

L'ispezione strumentale è necessaria per accertare lo stato del legno all'interno degli elementi.

In particolare è indispensabile per:

- accertare la eventuale presenza di degrado biologico interno negli elementi apparentemente sani (degrado non visibile dall'esterno)
- accertare la eventuale presenza di degrado biologico nelle parti non accessibili all'ispezione visiva diretta (ad es. gli appoggi nelle murature)
- accertare la dimensione delle sezioni quando non sono rilevabili in altro modo



Generalità

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche

L'ispezione si esegue mediante apparecchiature di tipo non distruttivo che perforano il legno e forniscono dati sulla resistenza che il legno oppone alla perforazione (analisi resistografica).



L'apparecchiatura è dotata di una punta speciale (\varnothing 3 mm) e di una unità elettronica per l'alimentazione, l'immagazzinamento dei dati e la stampa dei risultati in tempo reale.

Il numero di prove necessarie su ciascuna estremità di un elemento dipende dalle dimensioni dell'elemento (sezione trasversale), dal tipo e dalla localizzazione del degrado. Generalmente l'operatore inizia con un minimo di tre prove per estremità. Qualche volta sono necessarie fino a 10-15 prove. Dipendentemente dalle condizioni di accessibilità le prove sono eseguite secondo differenti direzioni di penetrazione.

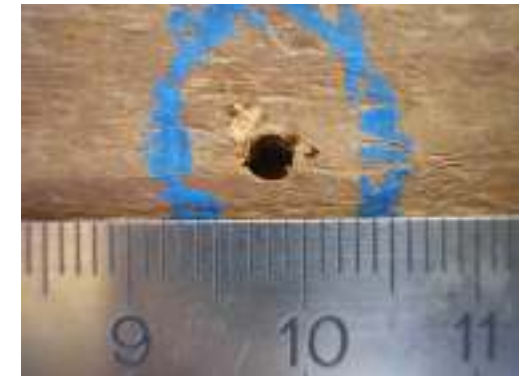
Procedimento

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di una trave di solaio

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Dettagli dell'apparecchiatura

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Dettagli dell'apparecchiatura

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova alla base di un pilastro

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di una capriata

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di una capriata

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di un falso puntone

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di un falso puntone

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di un falso puntone

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di una trave di solaio (accessibilità dall'estradosso)

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



Prova all'appoggio di una trave di solaio (accessibilità dall'estradosso)

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



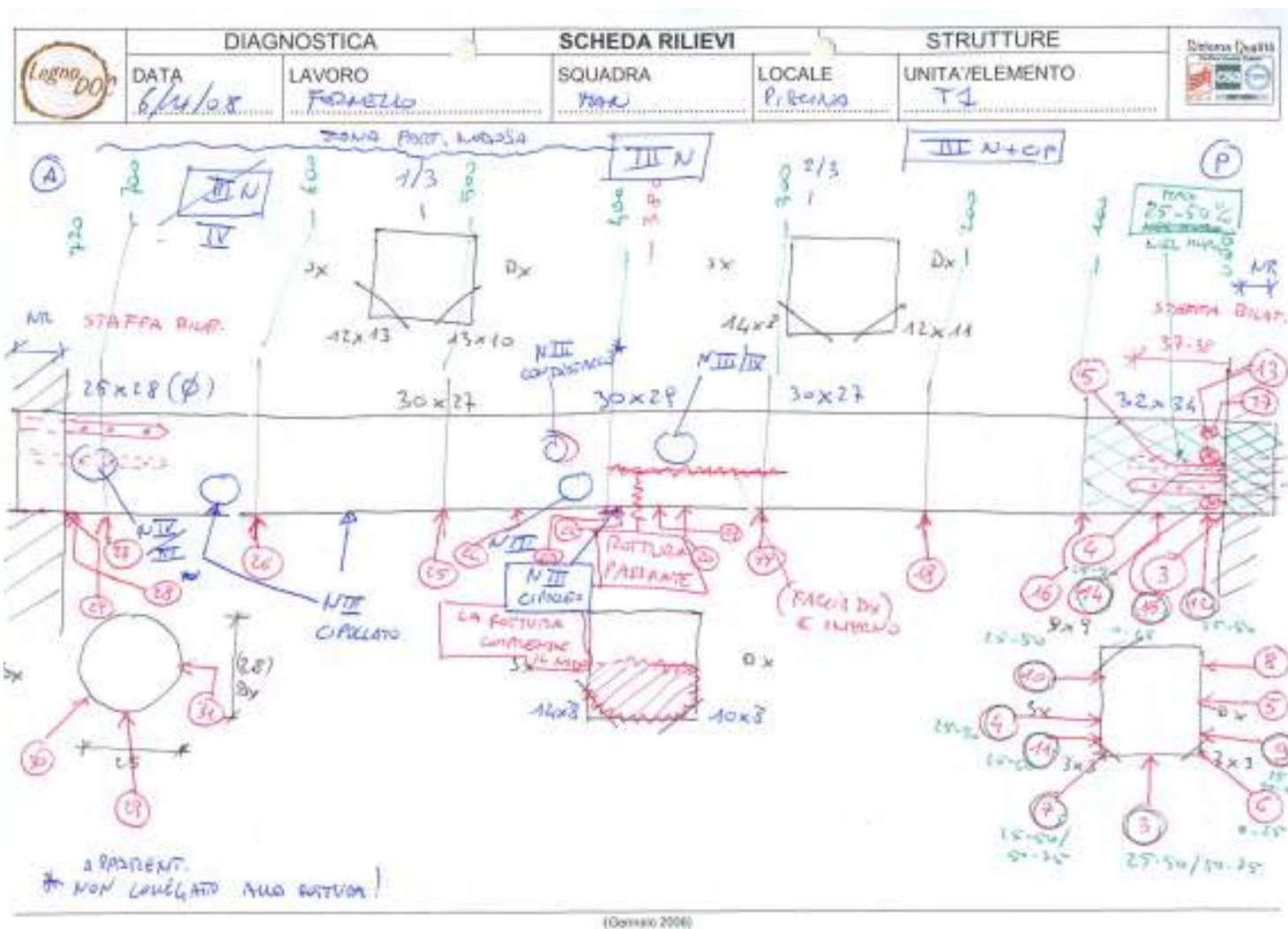
Prova all'appoggio di una trave previa foratura preliminare del rivestimento

ISPEZIONE STRUMENTALE - Prove resistografiche



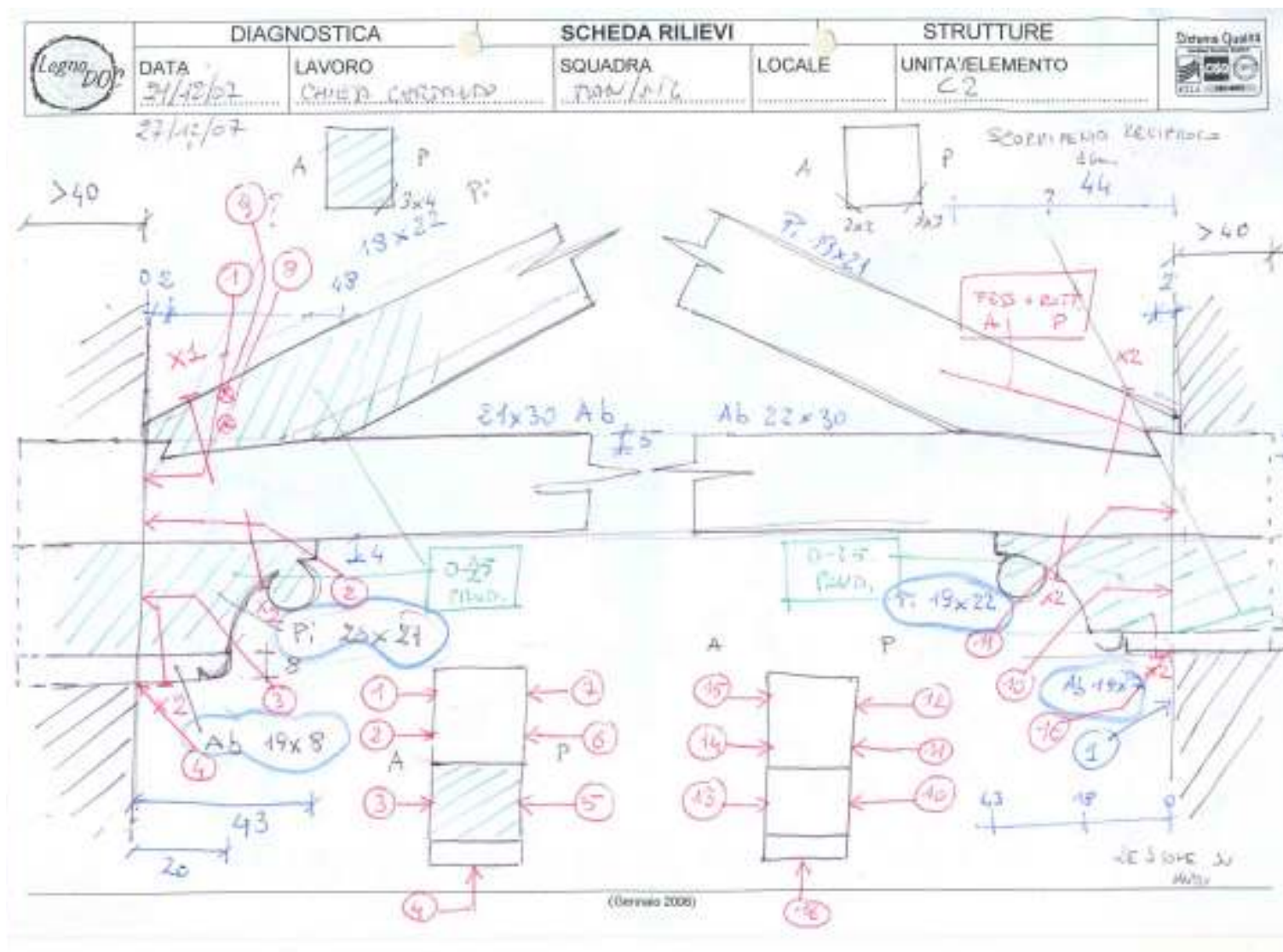
Prova all'appoggio di una trave di solaio (accessibilità dall'estradosso)

ISPEZIONE DIAGNOSTICA - Annotazione dei dati



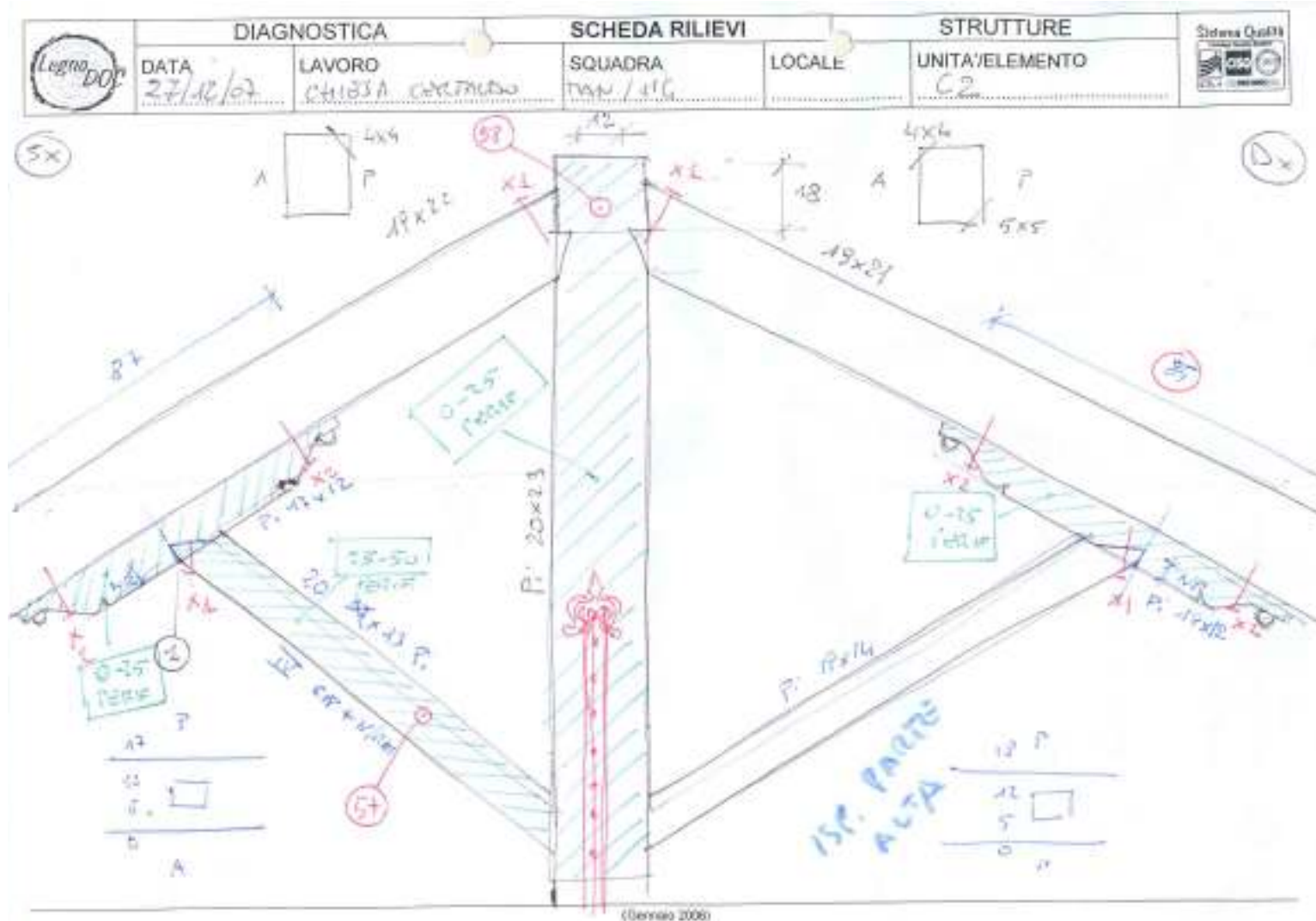
Scheda rilievo - trave

ISPEZIONE DIAGNOSTICA - Annotazione dei dati



Scheda rilievo - capriata (appoggi)

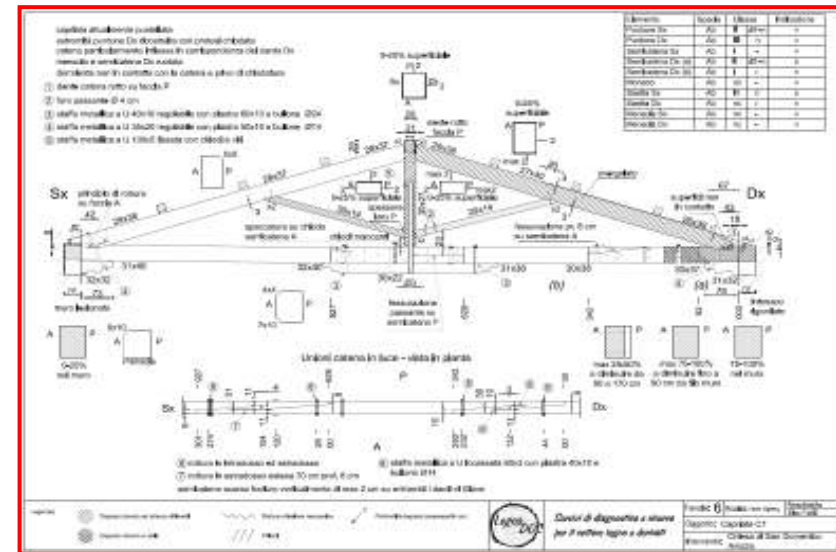
ISPEZIONE DIAGNOSTICA - Annotazione dei dati



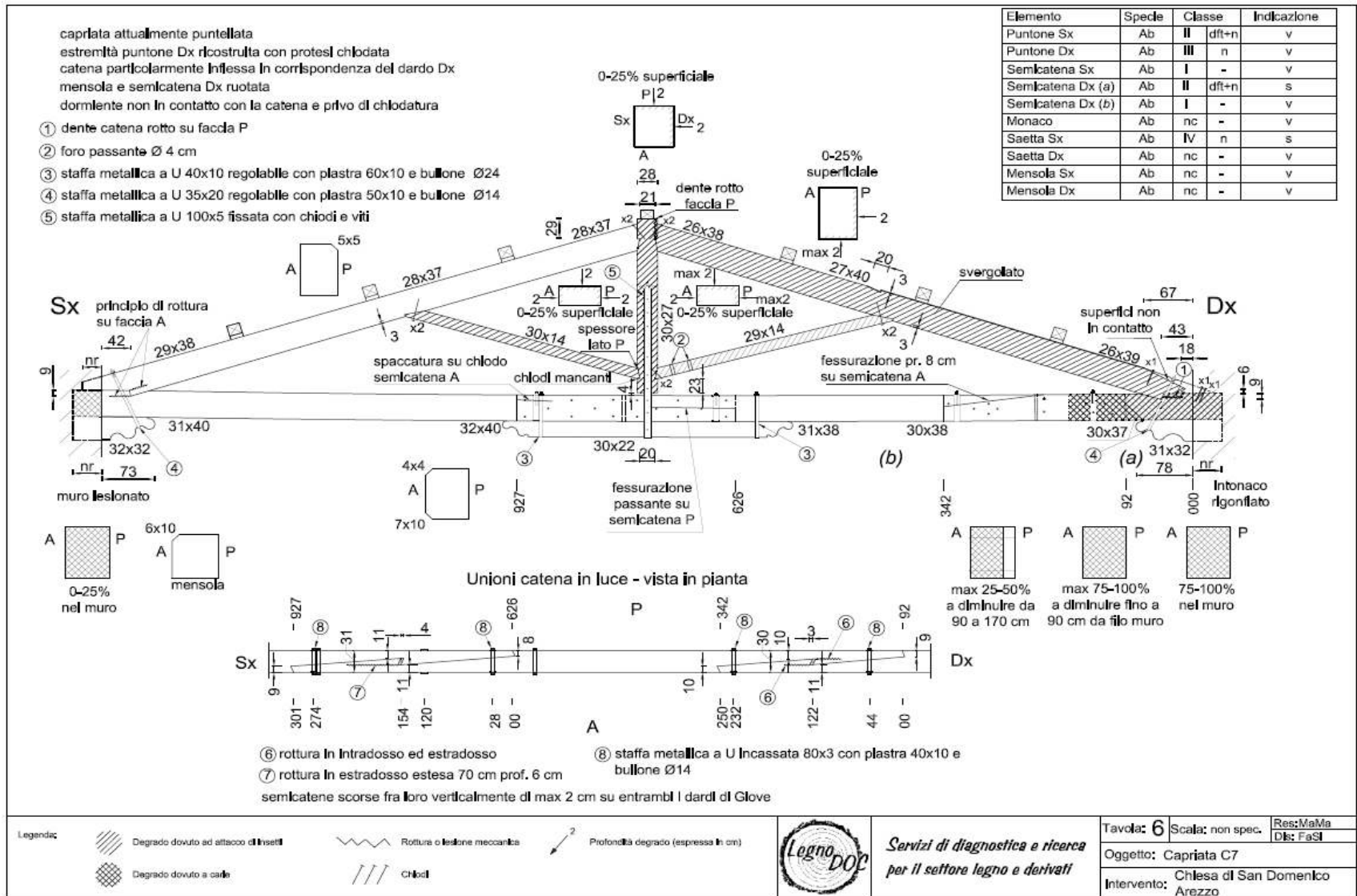
Scheda rilievo - capriata (parte centrale)

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



3 - RESTITUZIONE DEI RISULTATI



Generalità

3 - RESTITUZIONE DEI RISULTATI

E' la parte conclusiva del lavoro di ispezione.

Deve essere improntata alla massima semplicità e chiarezza poiché deve potere essere compresa sia da tecnici non specialisti (architetto, ingegnere, geometra) che da personale non tecnico (carpentiere, titolare impresa, ecc.)

Viene solitamente fornita in forma grafica o tabulare.

Nel caso della forma grafica si cerca di rappresentare la struttura e/o le sue parti in maniera semplice e intuitiva con opportune simbologie e convenzioni grafiche.

Spesso si usa la forma combinata grafica/tabulare.

Generalità

RESTITUZIONE DEI RISULTATI

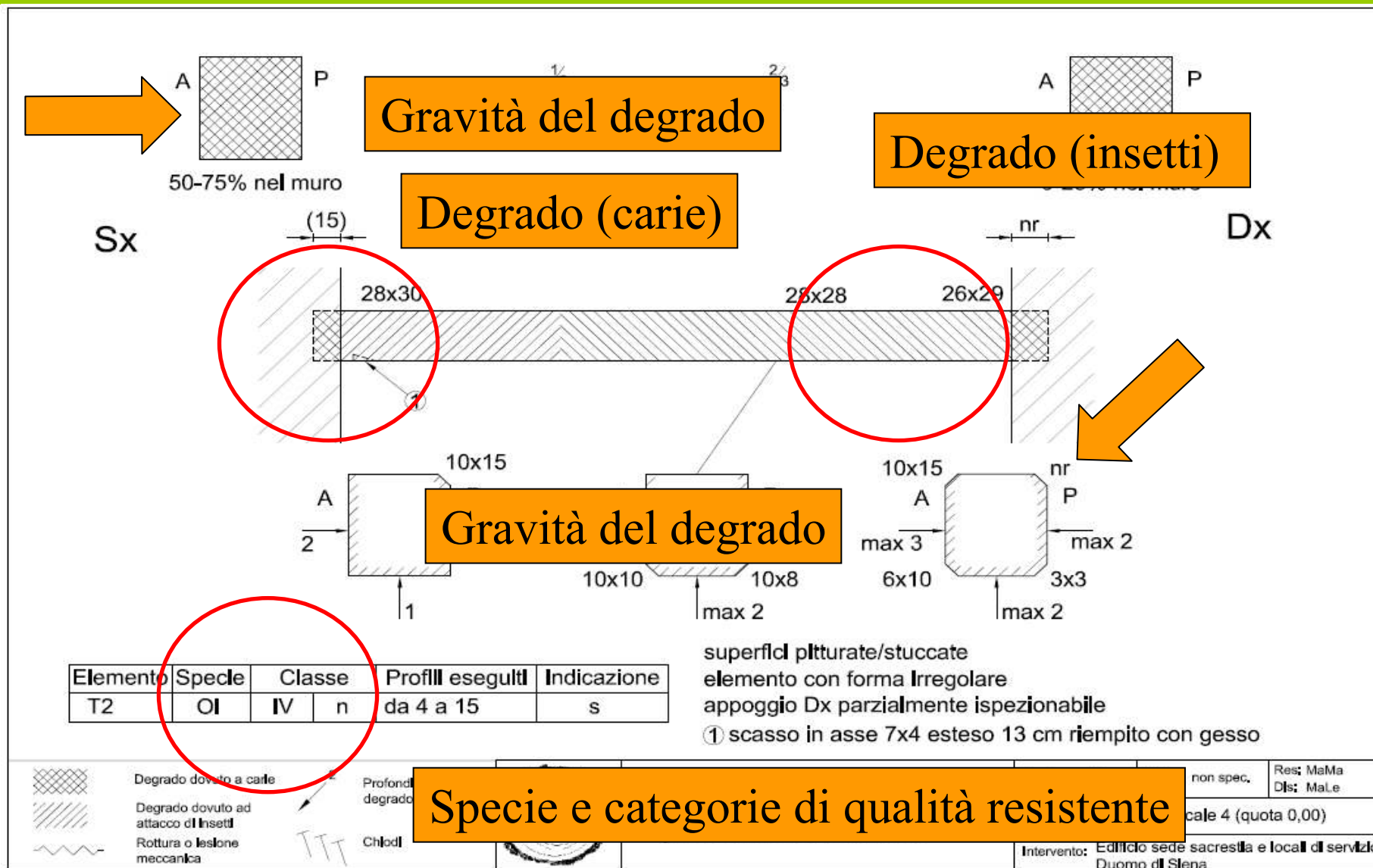


Tavola restituzione grafica - trave

RESTITUZIONE DEI RISULTATI

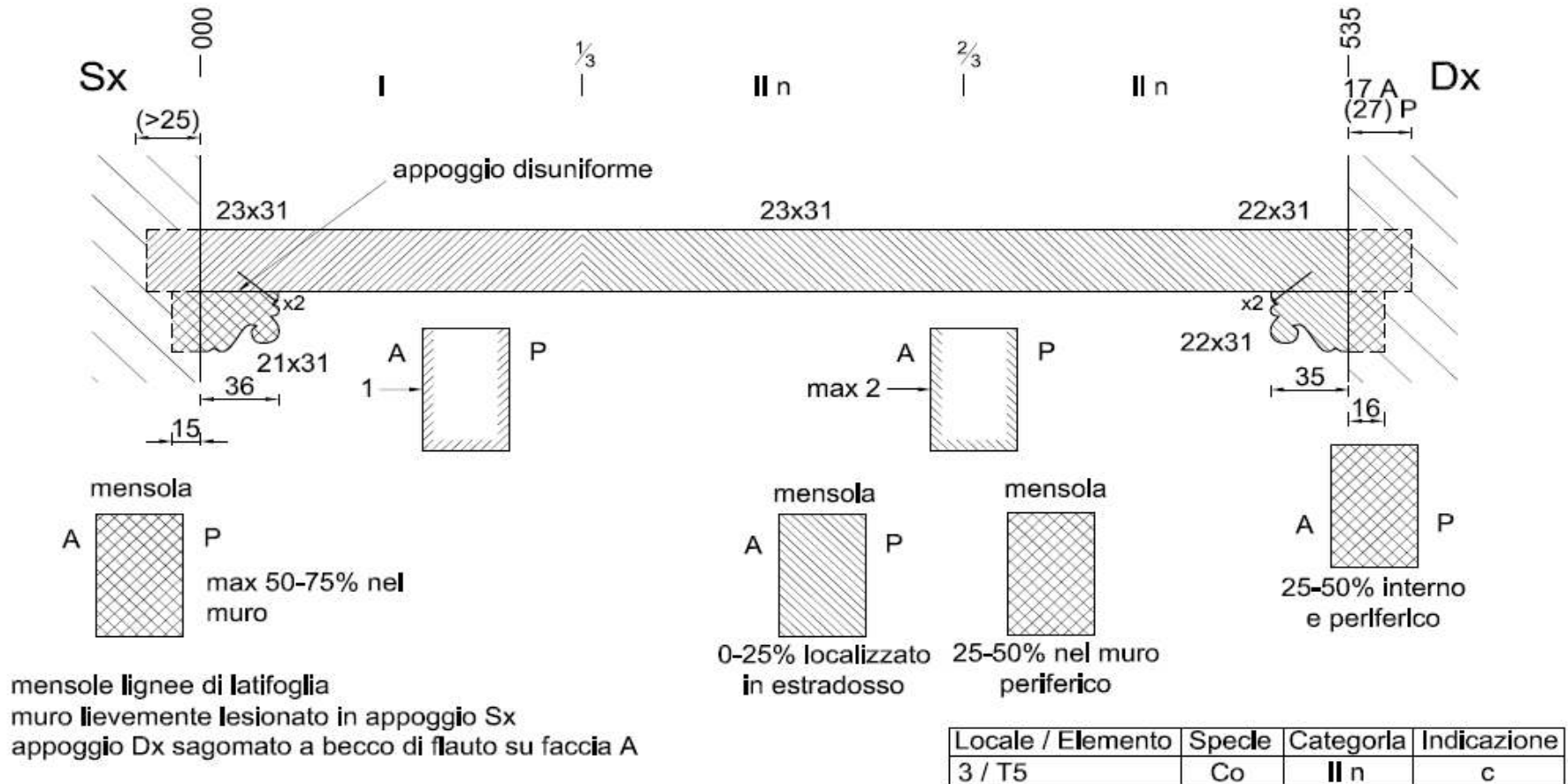


Tavola restituzione grafica - trave

RESTITUZIONE DEI RISULTATI

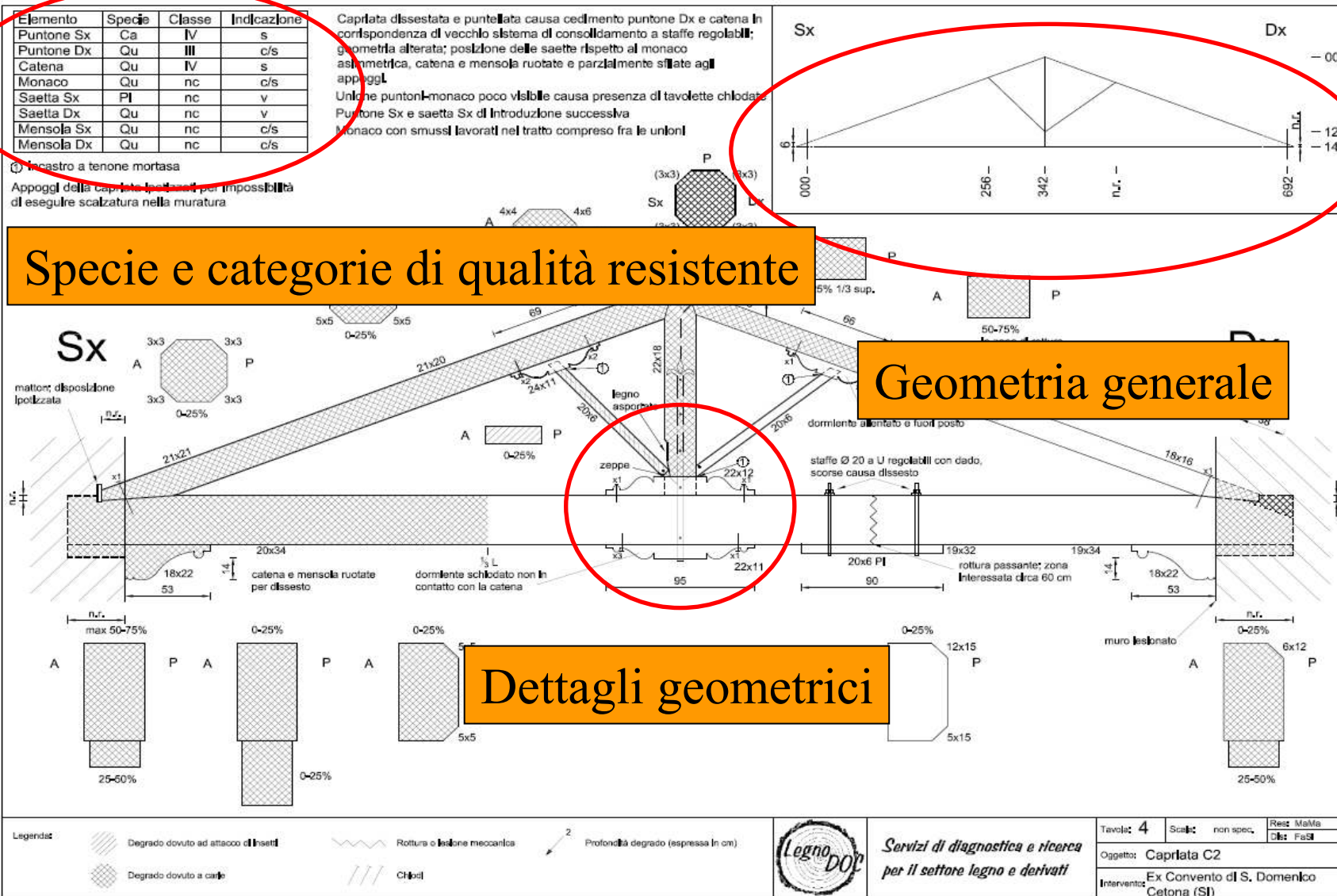


Tavola restituzione grafica - capriata

RESTITUZIONE DEI RISULTATI

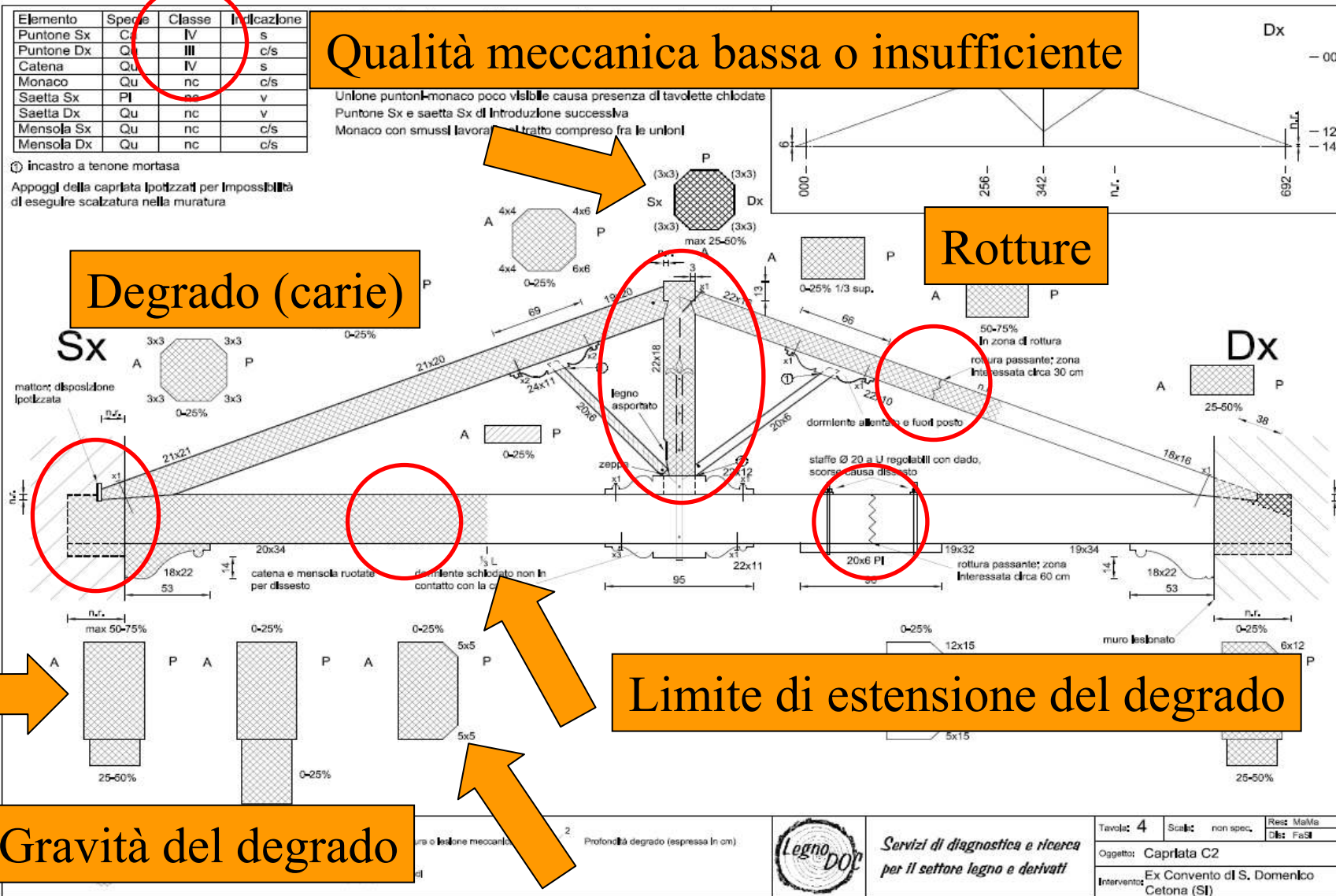


Tavola restituzione grafica - capriata

RESTITUZIONE DEI RISULTATI

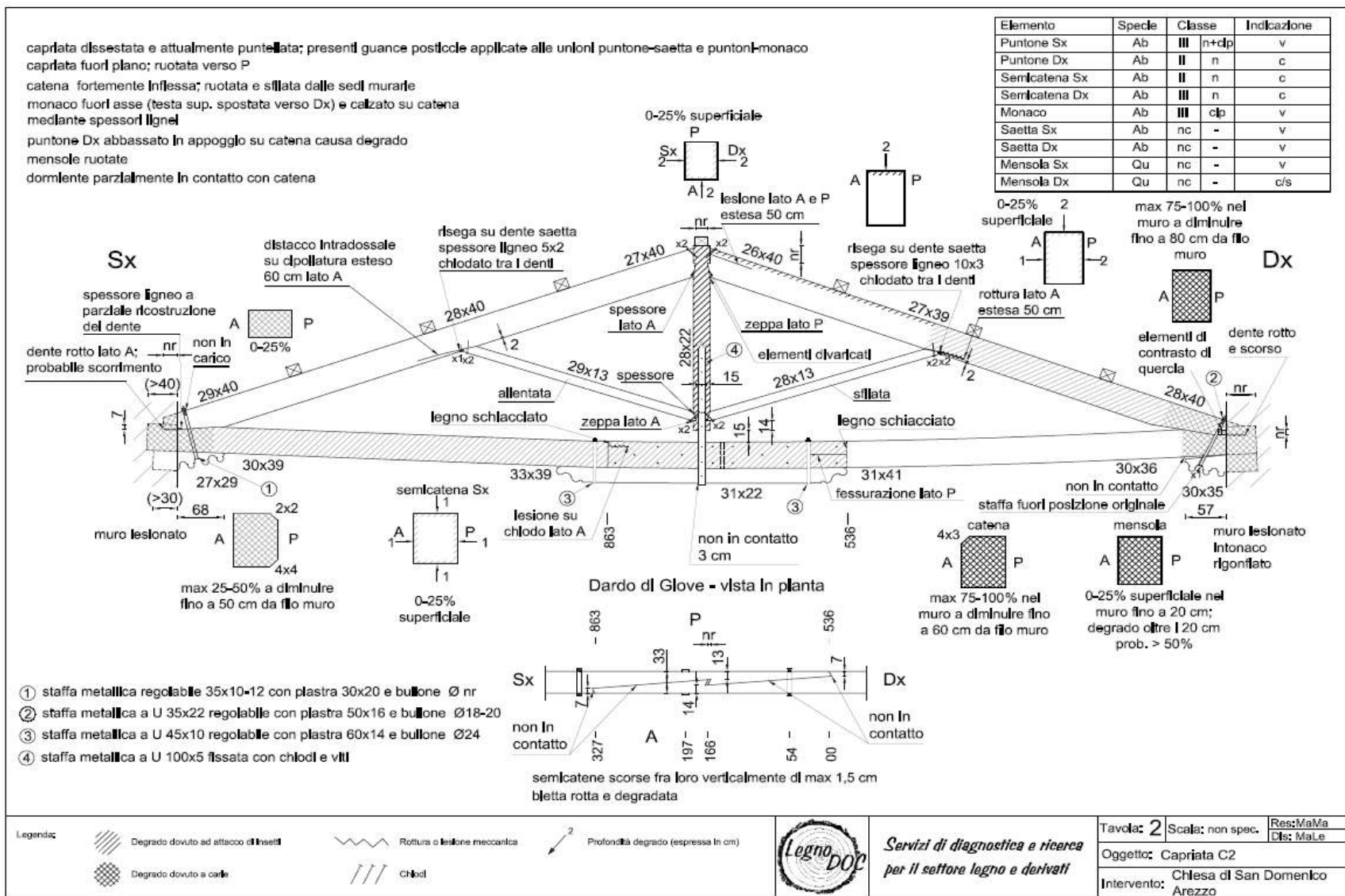


Tavola restituzione grafica - capriata

RESTITUZIONE DEI RISULTATI

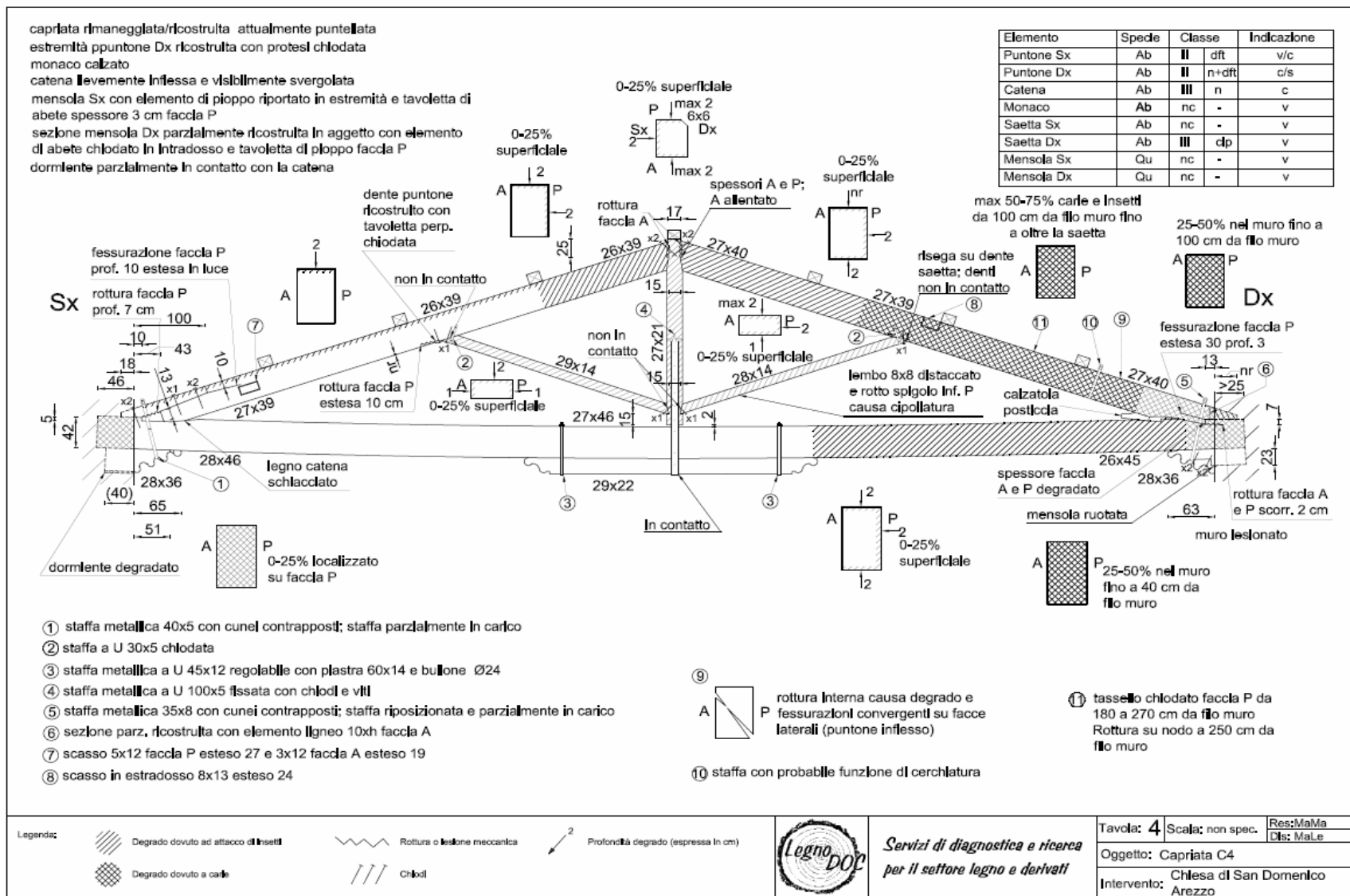


Tavola restituzione grafica - capriata

RESTITUZIONE DEI RISULTATI

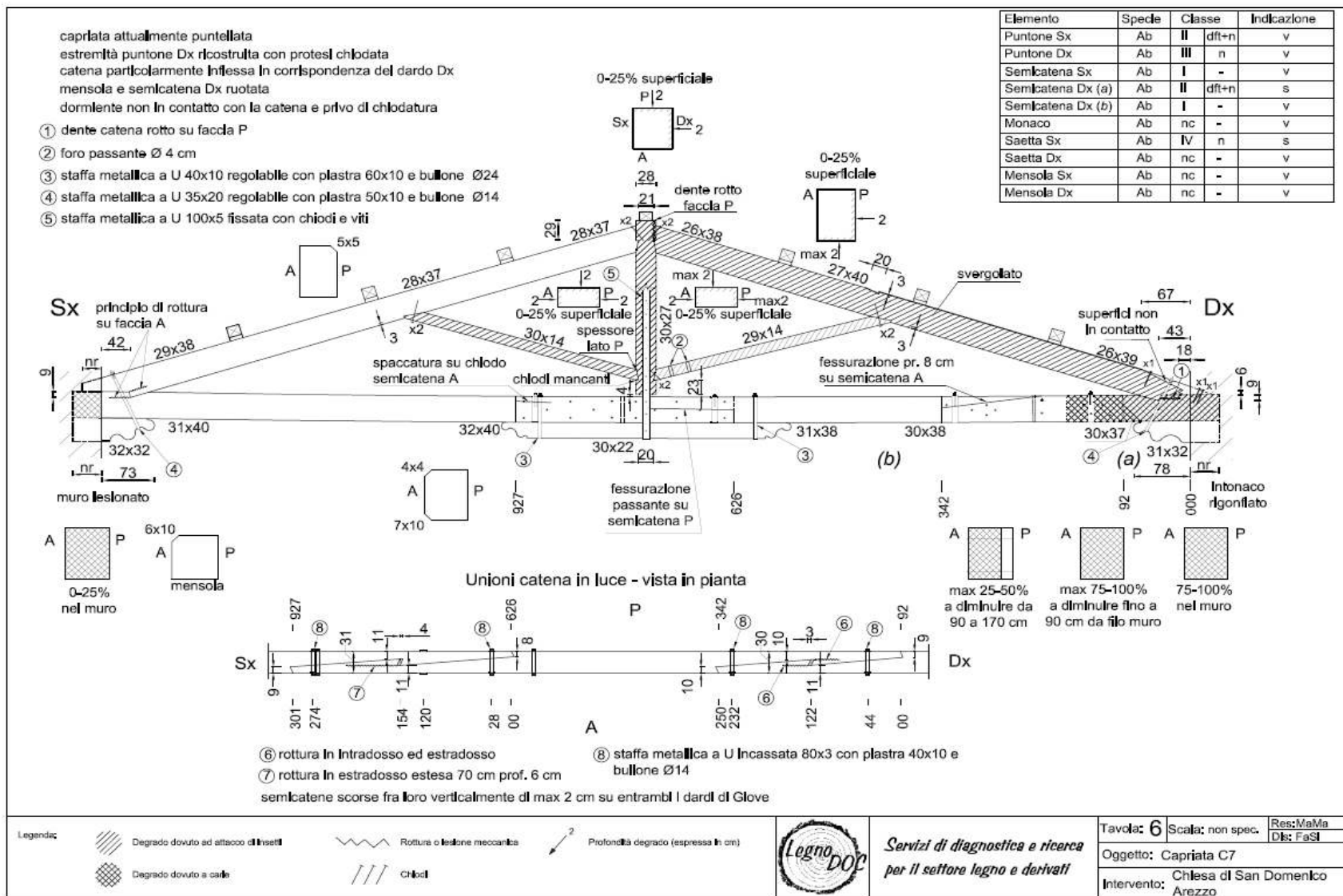
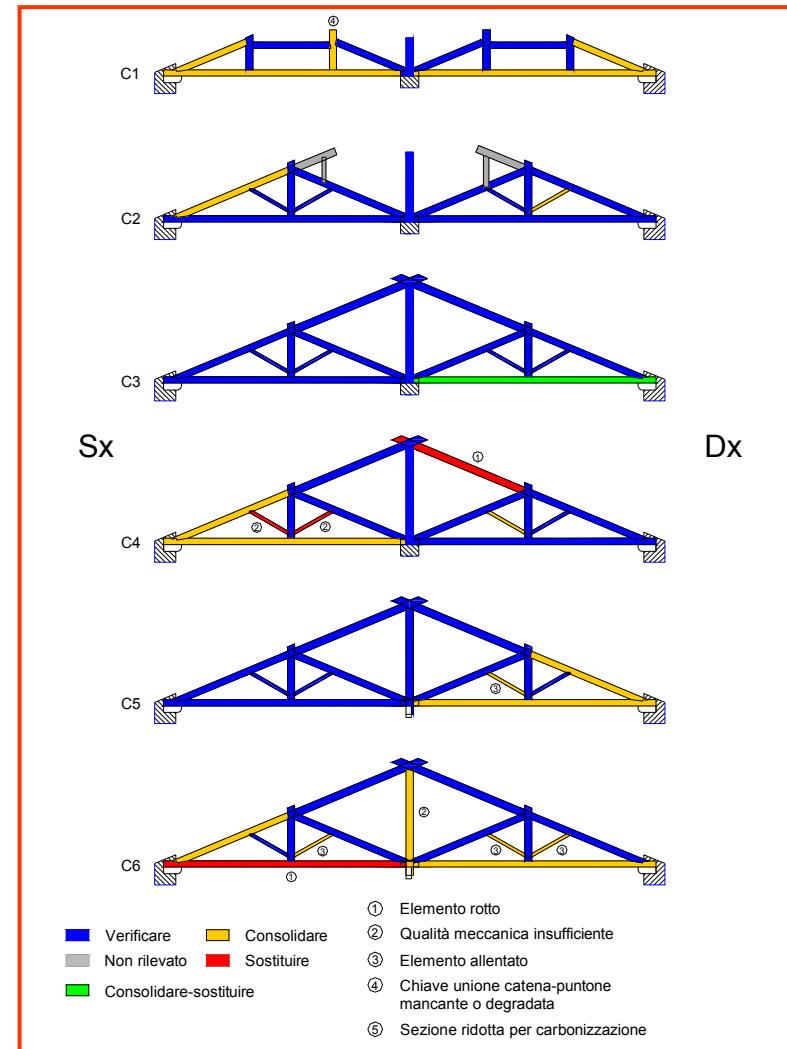


Tavola restituzione grafica - capriata

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento



CRITERI DI INTERVENTO

| | | |
|---------------------------------|--|------------------|
| NORMA ITALIANA | Beni culturali Manufatti lignei Strutture portanti degli edifici - Criteri per la valutazione preventiva, la progettazione e l'esecuzione di interventi | UNI 11138 |
| | | NOVEMBRE 2004 |
| | Cultural heritage Wooden artefacts Building load bearing structures - Criteria for the preliminary evaluation, the design and the execution of works | |
| CLASSIFICAZIONE ICS | 91.080.20 | |
| SOMMARIO | La norma fornisce indicazioni sui criteri da seguire per la valutazione preventiva, l'elaborazione dei progetti e l'eventuale esecuzione di interventi volti alla conservazione, manutenzione, restauro di manufatti lignei costituenti elementi portanti di edifici di interesse culturale. | |
| RELAZIONI NAZIONALI | | |
| RELAZIONI INTERNAZIONALI | | |
| ORGANO COMPETENTE | Commissione "Beni culturali - NORMAL" | |
| RATIFICA | Presidente dell'UNI, delibera del 5 ottobre 2004 | |

Norma UNI 11138

CRITERI DI INTERVENTO

Classi di degrado (gravità)

- trascurabile (non valutato quantitativamente)
- moderato = 0-25%
- grave = 25-50%
- molto grave >50%

La eventuale necessità di intervento si valuta esclusivamente in base ai calcoli di verifica statica nei quali entrano in gioco, oltre alla gravità del degrado, anche altri parametri:

- dimensioni (sezione, luce)
- caratteristiche tecnologiche (specie, categoria)
- condizioni di carico/sollecitazioni
- posizione ed estensione del degrado (sezione critica)

Criteria di intervento utilizzati nella pratica per un singolo elemento strutturale

CRITERI DI INTERVENTO

Possibilità di intervento:

- nessun intervento
- consolidamento (con una delle tecniche correnti)
- sostituzione (reale o funzionale)

In genere, se l'elemento è di qualità meccanica accettabile (categoria I, II o III) e la struttura è ben dimensionata, è quasi sempre necessario intervenire se il degrado è molto grave (>50%).

Qualora sia necessario intervenire, l'alternativa sostituzione/consolidamento dipende essenzialmente dalla ubicazione e dalla estensione (in lunghezza) della parte degradata (vedi esempi successivi).

Criteria di intervento utilizzati nella pratica

CRITERI DI INTERVENTO

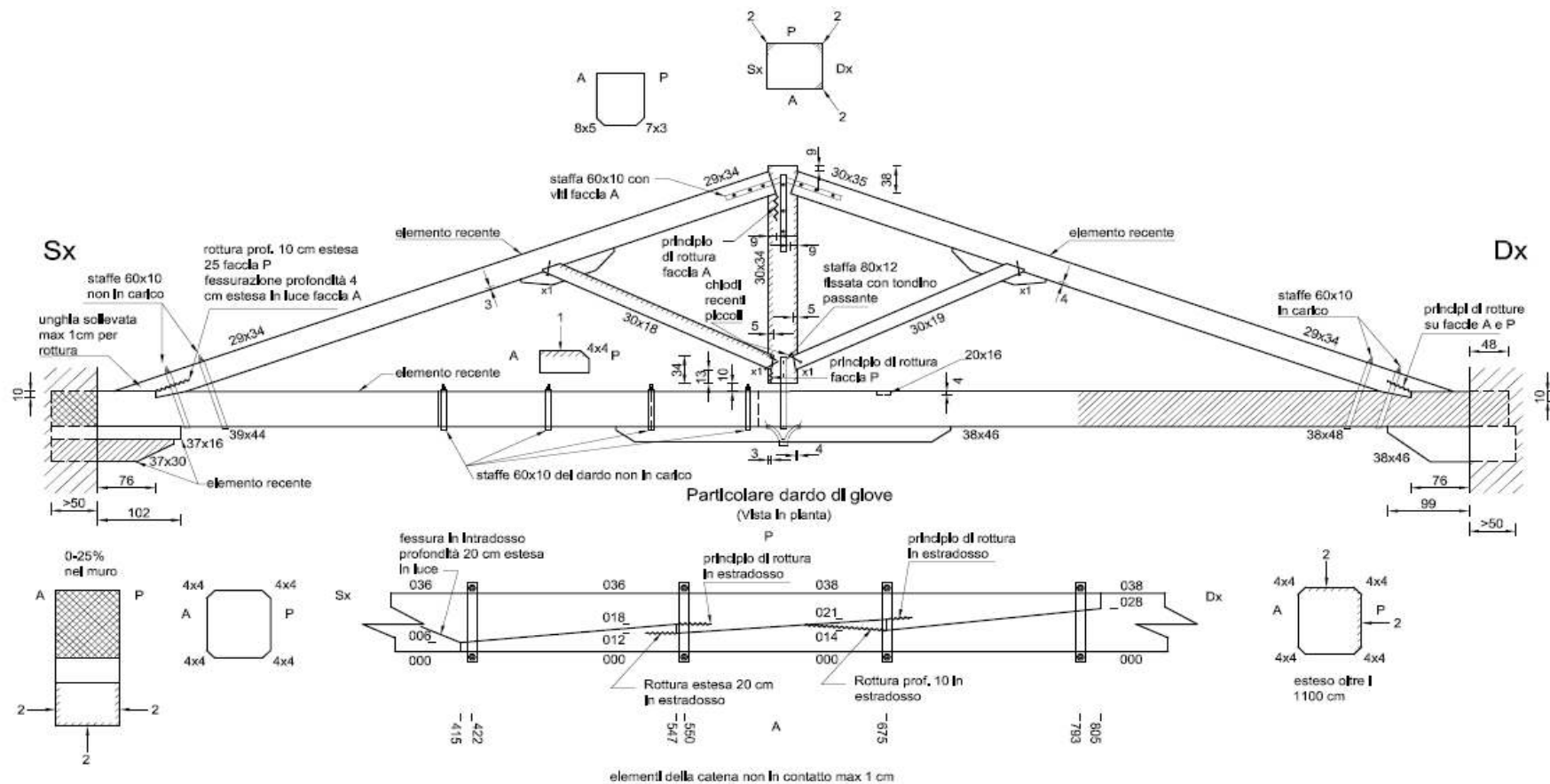
Tutto questo a prescindere da considerazioni economiche e di contesto (costo dell'intervento, valore culturale della struttura, vincoli di conservazione, stato degli altri elementi, ecc.).

Nella pratica, la decisione di sostituire o consolidare non si prende soltanto sulla base dei dati tecnici, sebbene questi ne costituiscano il presupposto indispensabile. Infatti nel processo decisionale intervengono normalmente altre figure (architetto conservatore, committente, restauratore, ecc.) ciascuna contraddistinta da specifiche esigenze le quali vanno necessariamente tenute in considerazione e, possibilmente, soddisfatte.

Non esiste pertanto una regola decisionale applicabile in generale.

Criteria di intervento utilizzati nella pratica

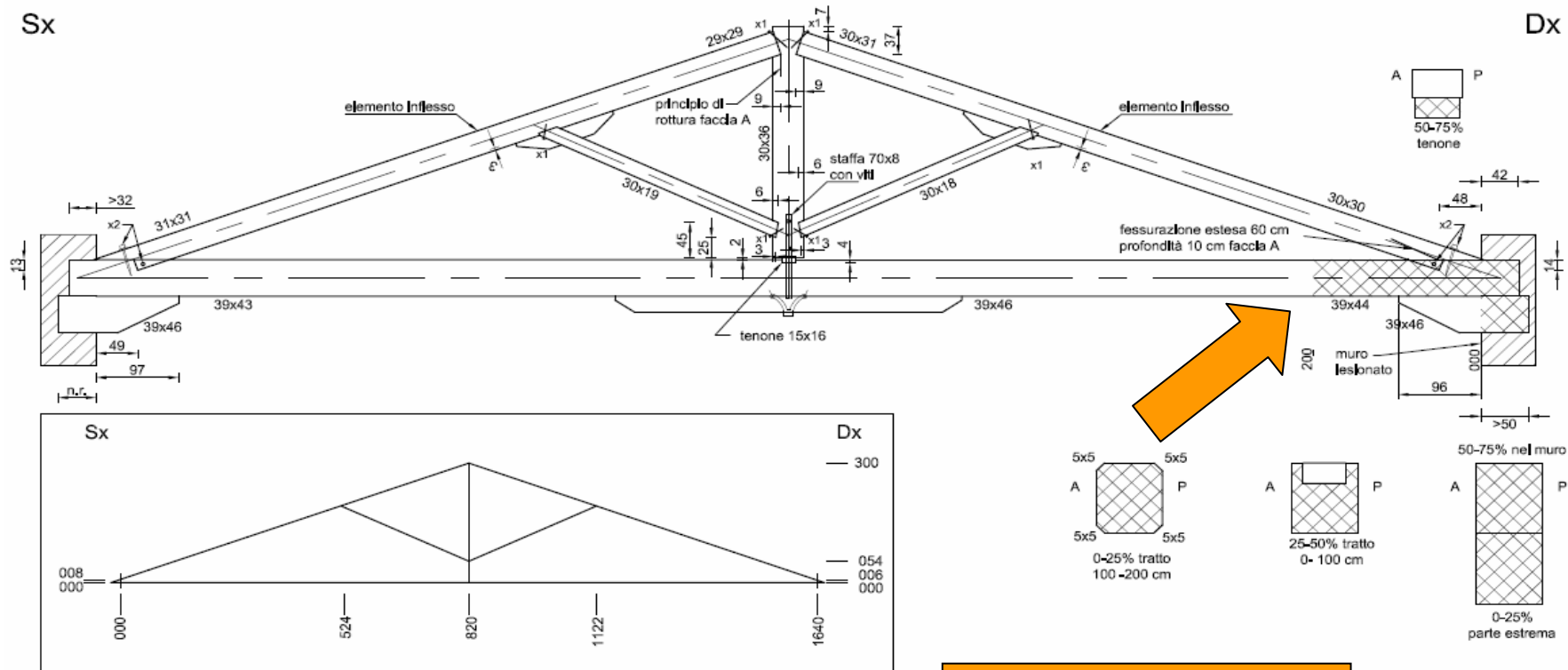
CRITERI DI INTERVENTO



Nessun intervento

Criteria di intervento utilizzati nella pratica

CRITERI DI INTERVENTO

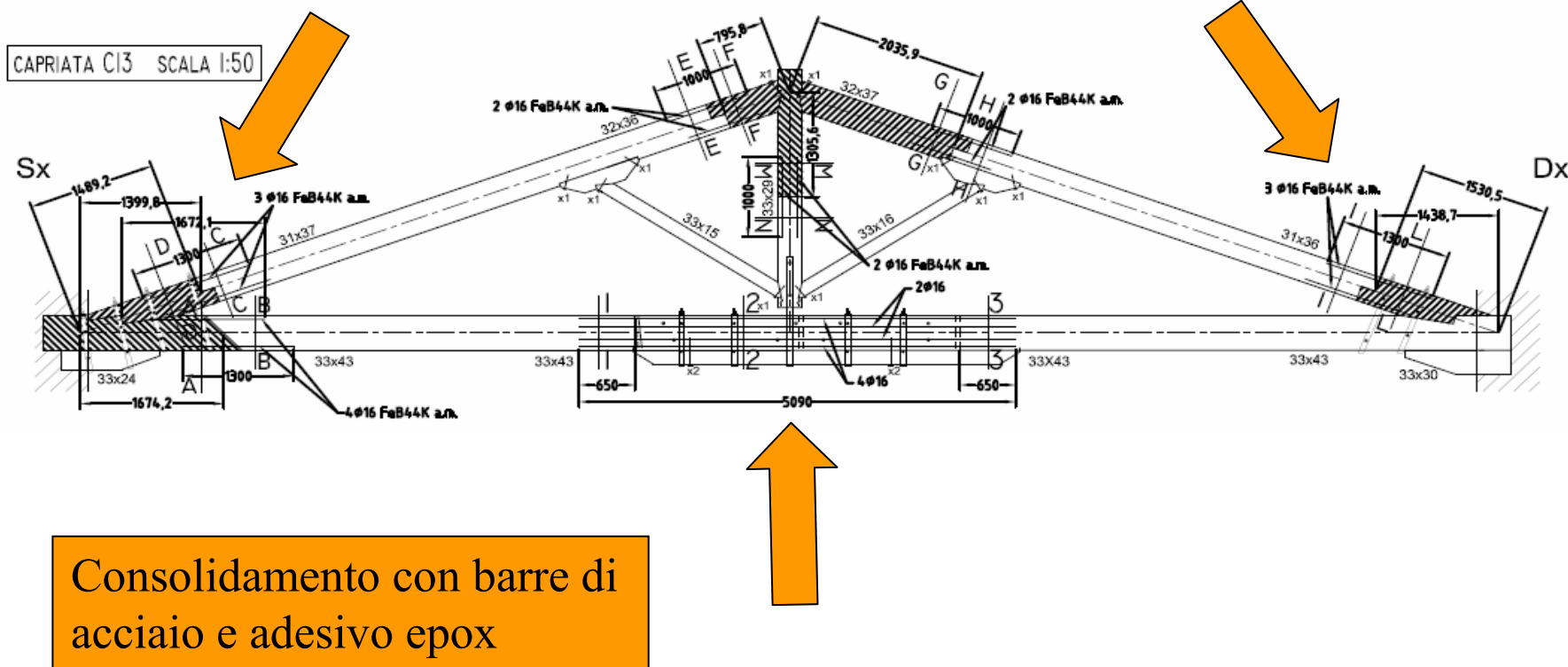


Consolidamento

Criteria di intervento utilizzati nella pratica

CRITERI DI INTERVENTO

Ricostruzione parti degradate con lamellare e collegamento con barre di acciaio e adesivo epox



Criteria di intervento utilizzati nella pratica

CASI ESEMPLIFICATIVI - 1

Descrizione

Edificio in uso (scuola)

Superficie copertura circa 3500 m²

Struttura a capriate (semplici), falsi puntoni, arcarecci

Separata dai locali all'ultimo piano da controsoffitti

Struttura di età <1 secolo (primi '900)

Consistenza: 52 capriate luce 10-11m, 45 falsi puntoni 5-10m, 426 arcarecci 4-5m

Specie legnose: abete

Accessibilità: difficile

Ispezione: circa 38 giornate/squadra 2 persone

Elaborazione: circa 20 giornate/1 persona

Edificio ad uso pubblico con copertura di grande estensione (scuola)

CASI ESEMPLIFICATIVI - 1

Problemi

- insufficienza generale unioni puntone-catena delle capriate (sottodimensionamento)
- insufficienza dimensionale di arcarecci e puntoni
- degrado da insetti, degrado da carie, rotture, difetti (oltre la III categoria)

Interventi

- interventi immediati d'urgenza per la messa in sicurezza (puntellamenti) su 3 falsi puntoni e 4 arcarecci
- interventi programmati (di sostituzione/consolidamento) su circa il 35% delle capriate, il 90% dei falsi puntoni, il 46% degli arcarecci.

Edificio ad uso pubblico con copertura di grande estensione (scuola)

CASI ESEMPLIFICATIVI - 2

Descrizione

Edificio rimasto abbandonato per molto tempo (alcuni decenni)

Superficie copertura circa 800 m²

Struttura a capriate (semplici), falsi puntoni, arcarecci

Struttura di età > 6 secoli (seconda metà del XIV secolo)

Consistenza: 24 capriate semplici luce 10m, 24 falsi puntoni 5-10m,
10 montanti

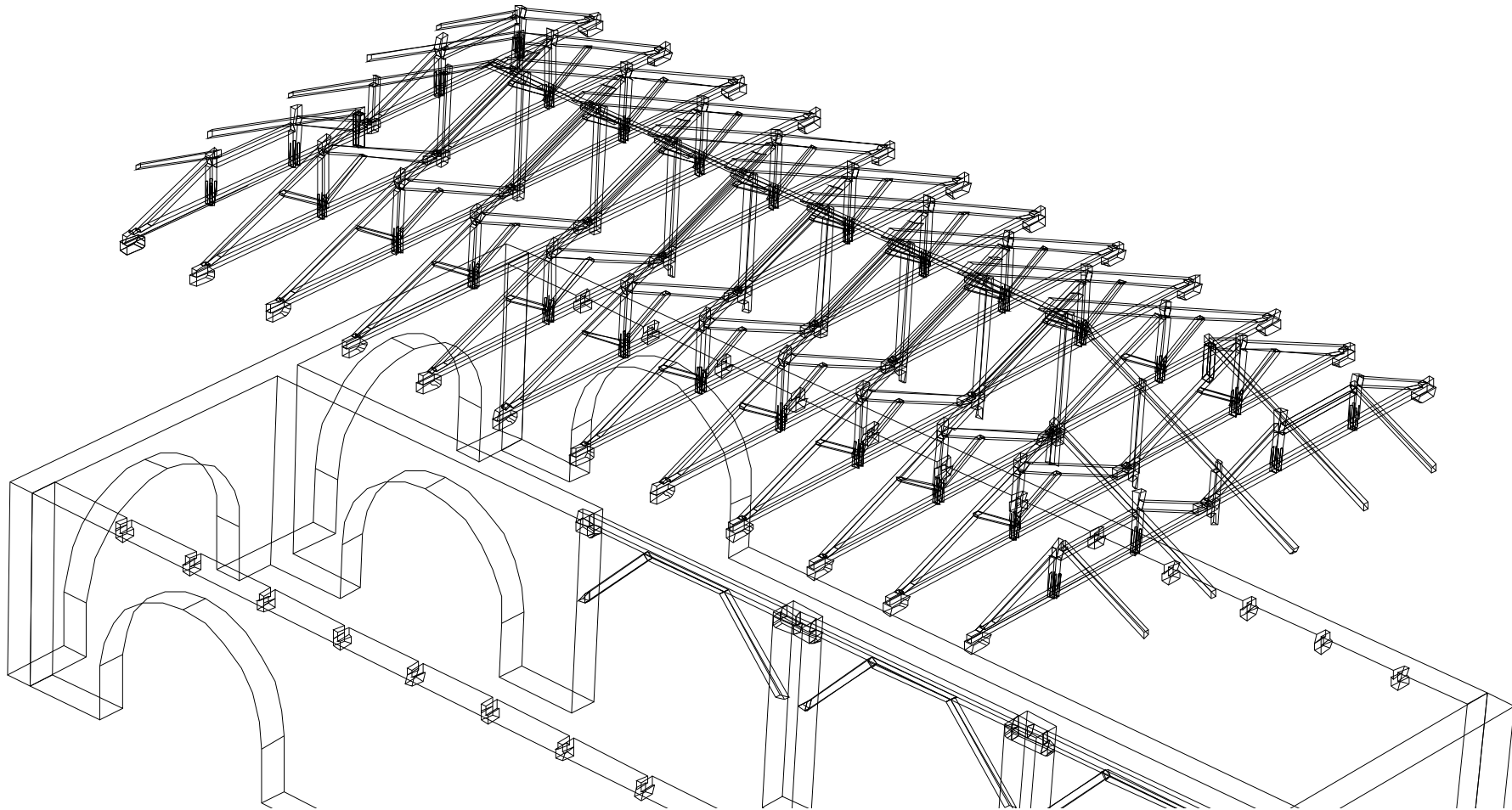
Specie legnose: abete/larice

Accessibilità: mediamente facile

Ispezione: circa 8 giornate/squadra 2 persone

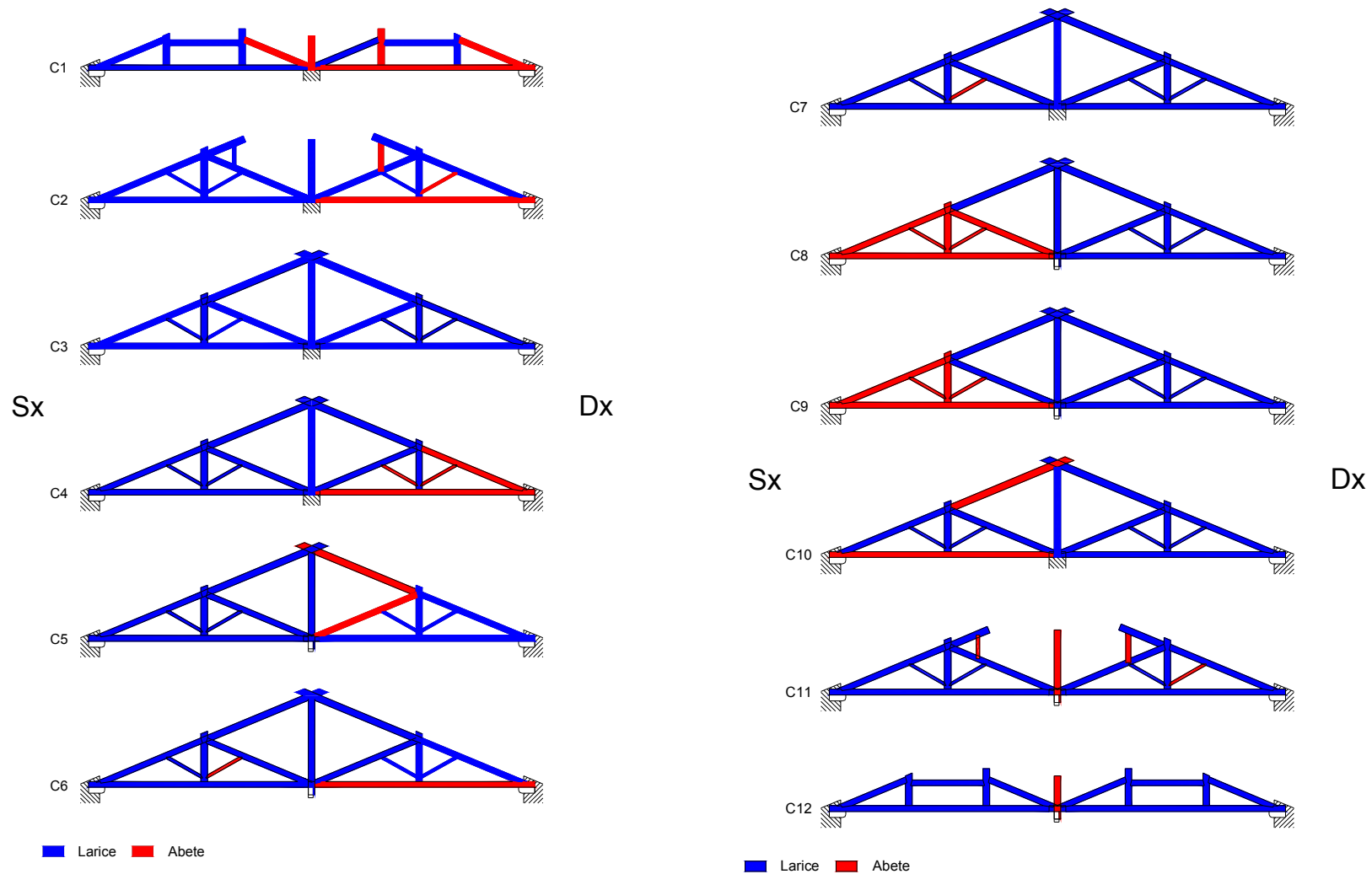
Edificio storico abbandonato da recuperare per uso pubblico polivalente

CASI ESEMPLIFICATIVI - 2



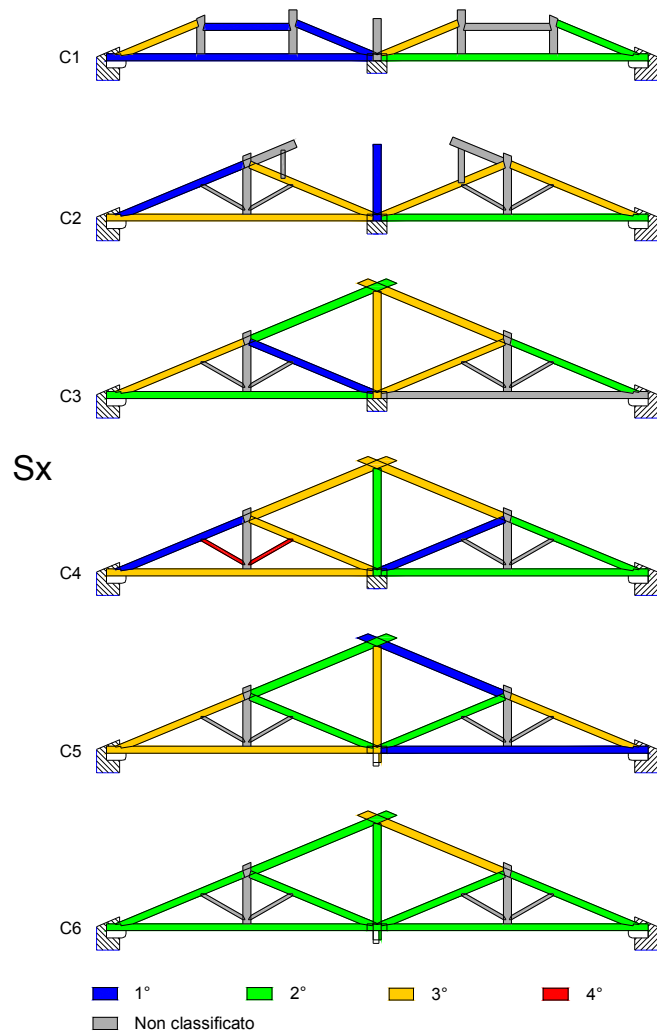
Edificio storico abbandonato da recuperare per uso pubblico polivalente

CASI ESEMPLIFICATIVI - 2

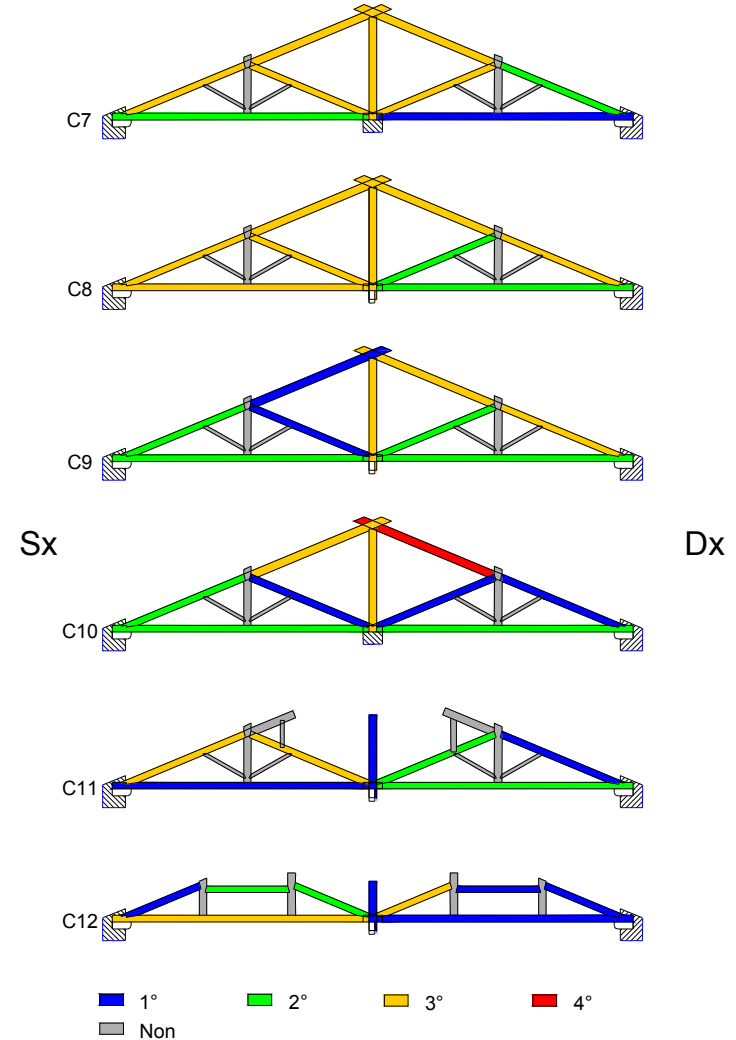


Edificio storico abbandonato da recuperare per uso pubblico polivalente

CASI ESEMPLIFICATIVI - 2

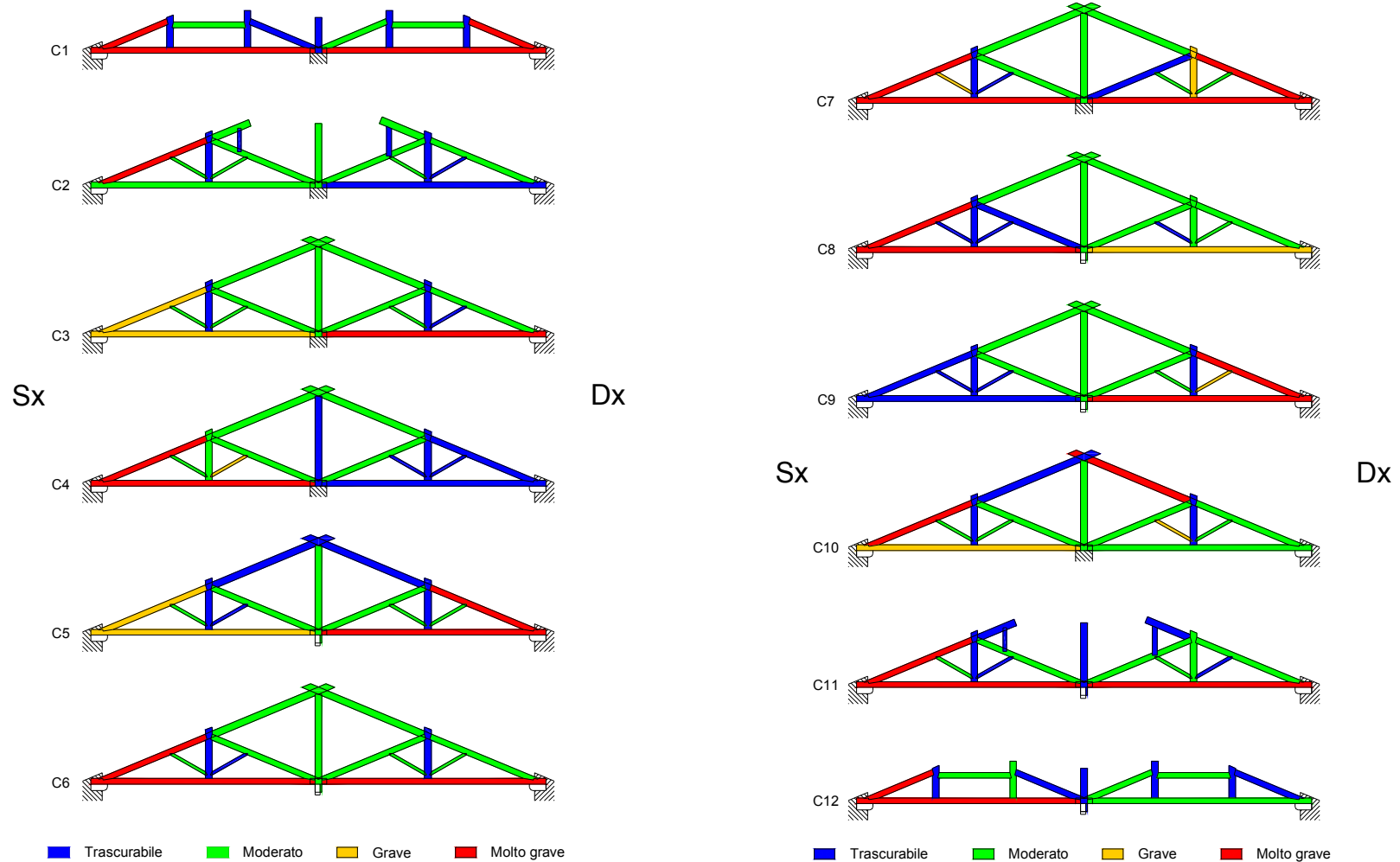


Dx



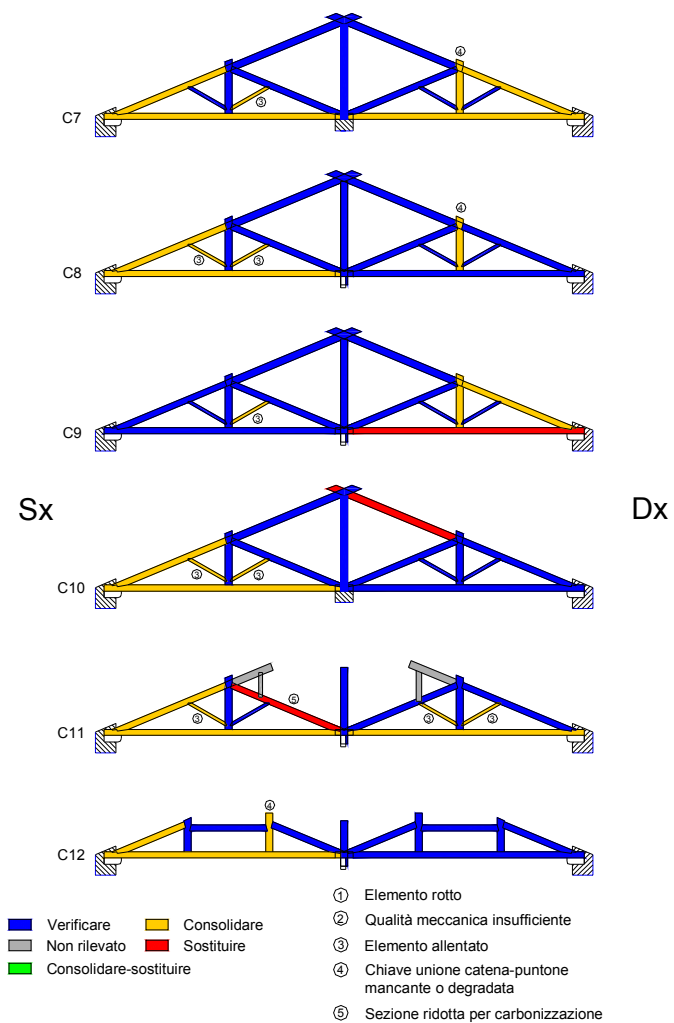
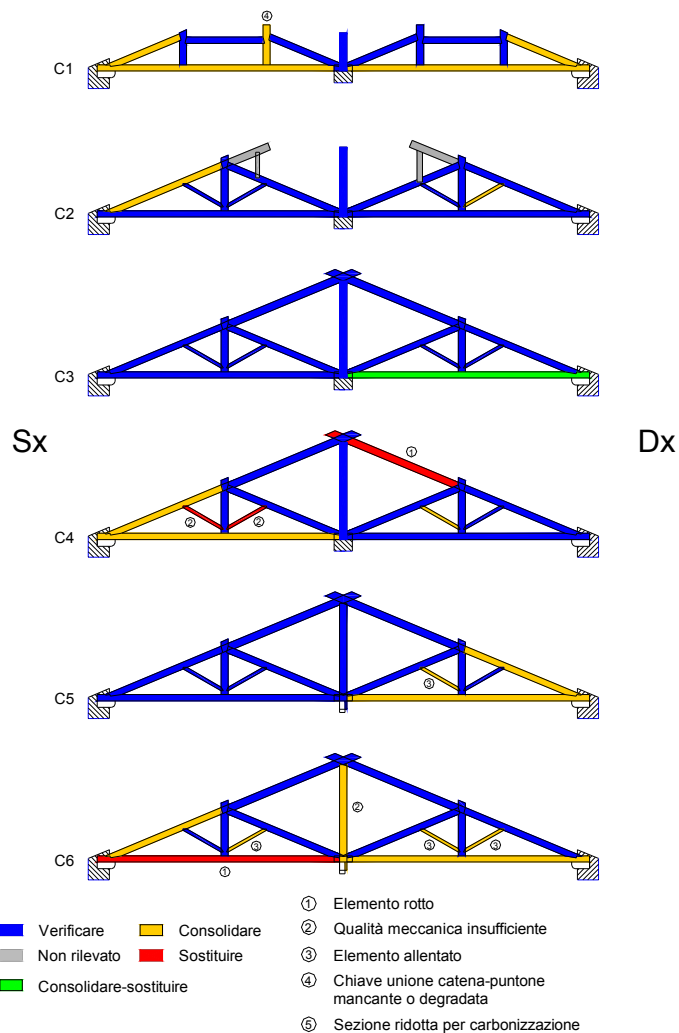
Edificio storico abbandonato da recuperare per uso pubblico polivalente

CASI ESEMPLIFICATIVI - 2



Edificio storico abbandonato da recuperare per uso pubblico polivalente

CASI ESEMPLIFICATIVI - 2



Edificio storico abbandonato da recuperare per uso pubblico polivalente

CASI ESEMPLIFICATIVI - 2

Riepilogo risultati

specie legnosa: 19% abete, 81% larice

qualità meccanica: 98% accettabile (classe uguale o migliore della 3^a)

degrado: 66% degrado moderato o grave; 16% molto grave (>50%)
localizzato prevalentemente in corrispondenza degli appoggi esterni

classi di intervento: 26% recuperabile mediante intervento di consolidamento; 4% da sostituire; 70% da valutare in base ad appositi calcoli di verifica statica

Edificio storico abbandonato da recuperare per uso pubblico polivalente

CASI ESEMPLIFICATIVI - 3

Descrizione

Edificio Ex Scuderie Reali attualmente sede di istituto scolastico superiore

Copertura ex galoppatoio

Superficie copertura circa 800 m²

Struttura a capriate (composte) e arcarecci

Struttura di età > 1 secolo (1860 circa)

Consistenza: 6 capriate di luce 19m

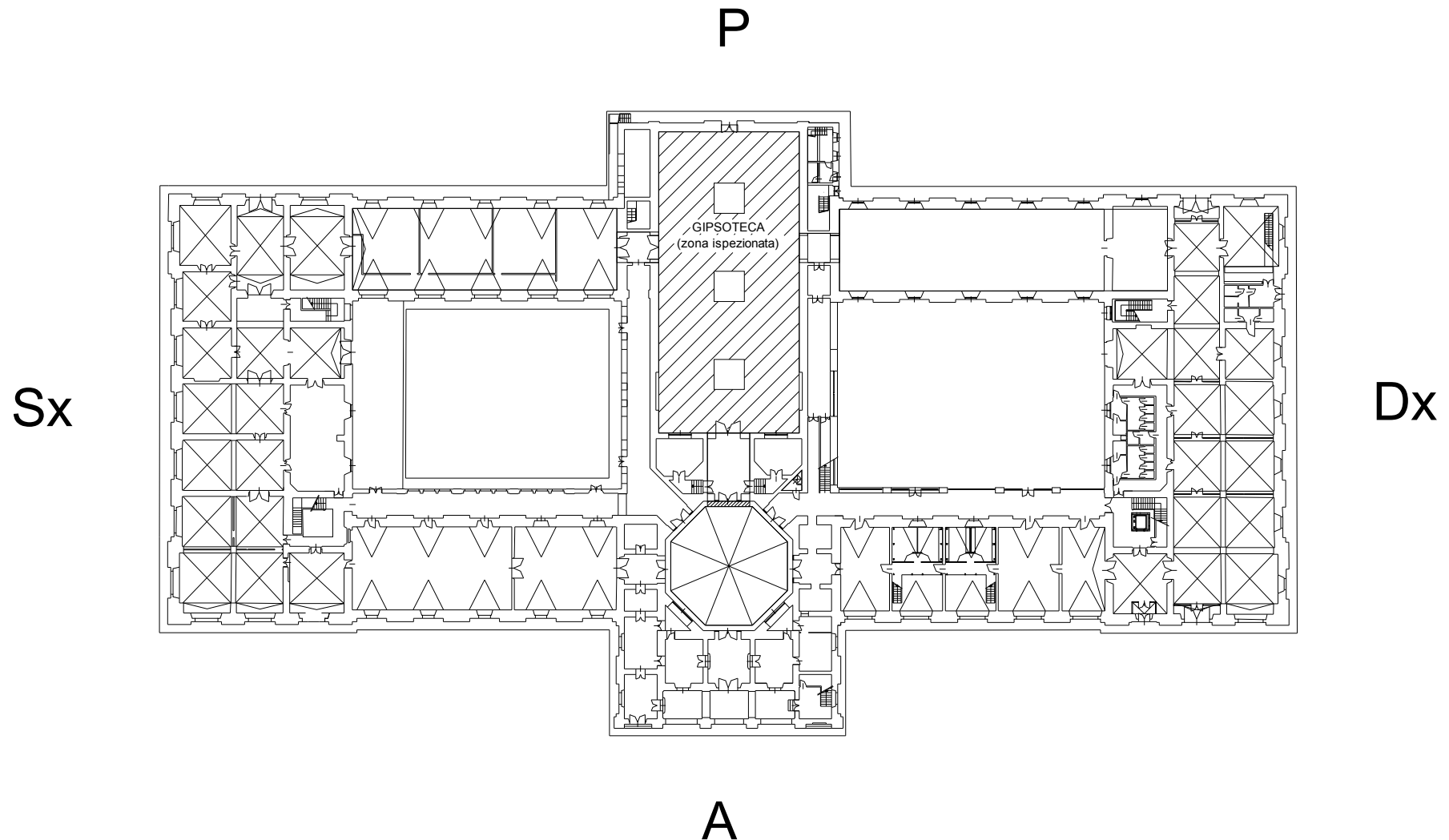
Specie legnose: abete

Accessibilità: mediamente facile

Ispezione: circa 10 giornate/squadra 2 persone

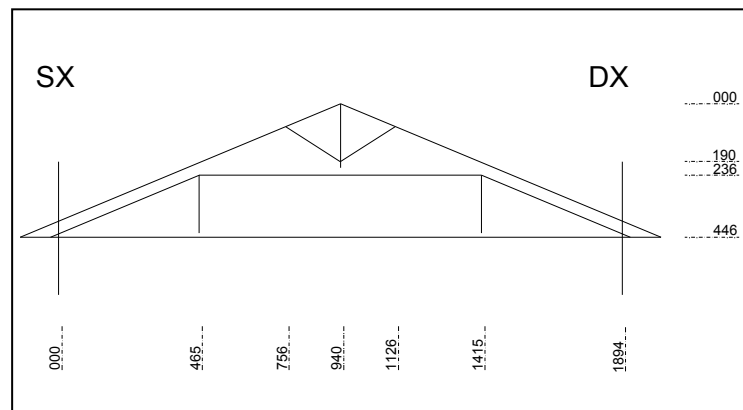
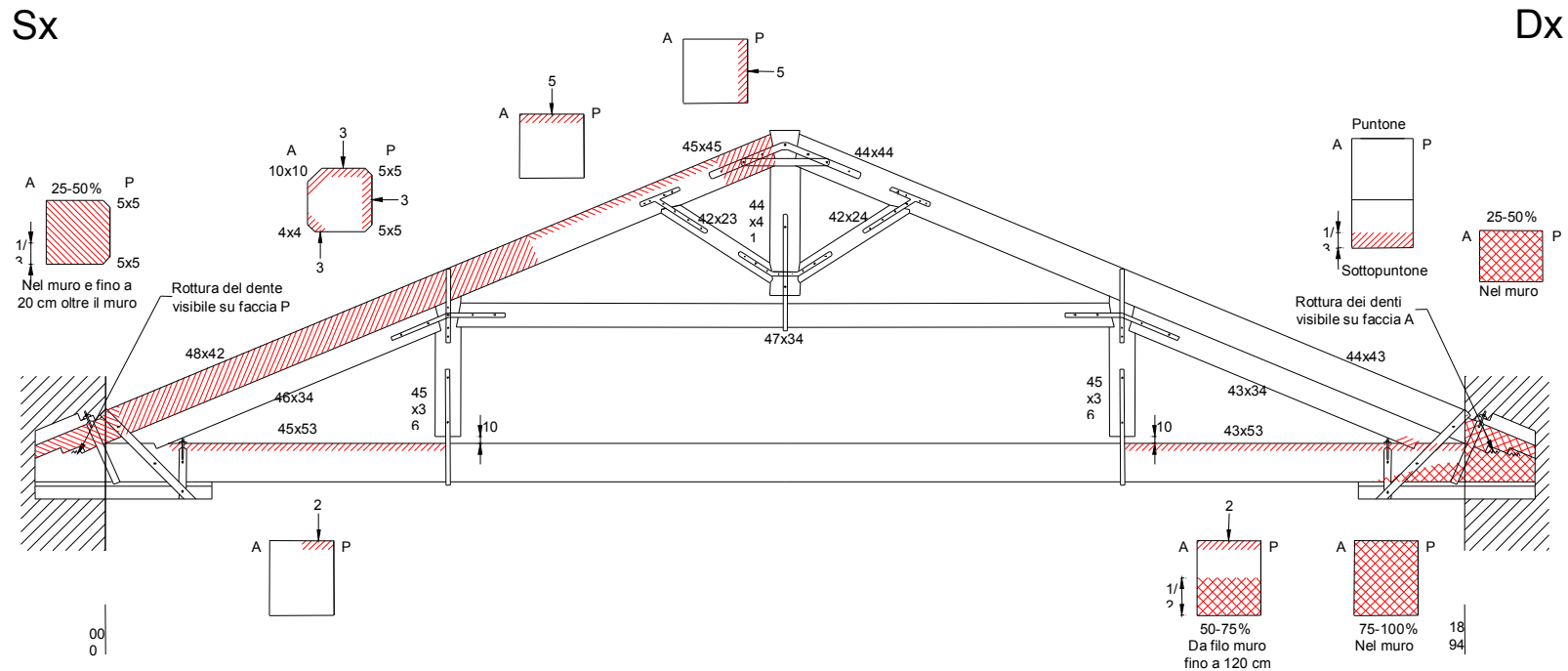
Edificio storico in uso (scuola)

CASI ESEMPLIFICATIVI - 3



Edificio storico in uso (scuola)

CASI ESEMPLIFICATIVI - 3



| Elemento | Specie | Categoria | Indicazioni |
|-----------------|--------|----------------|-------------|
| Puntone Sx | Abete | 3 ^a | consolidare |
| Puntone Dx | Abete | 2 ^a | verificare |
| Sottopuntone Sx | Abete | 1 ^a | consolidare |
| Sottopuntone Dx | Abete | 1 ^a | consolidare |
| Controcattena | Abete | 2 ^a | verificare |
| Cattena | Abete | 2 ^a | consolidare |
| Saetta Sx | Abete | - | verificare |
| Saetta Dx | Abete | - | verificare |
| Monaco Centr. | Abete | - | verificare |
| Monaco Sx | Abete | - | verificare |
| Monaco Dx | Abete | - | verificare |

Edificio storico in uso (scuola)

CASI ESEMPLIFICATIVI - 3

Problema metodologico:

- affidabilità dell'indagine agli appoggi sulle murature a causa della notevole profondità di inserimento delle capriate nella muratura (circa 1m)
- inevitabili limitazioni della tecnica di indagine strumentale utilizzata (tecnica resistografica) la quale consente la determinazione dello stato di conservazione delle parti inserite nella muratura fino alla profondità max di circa 30 cm, palesemente insufficiente in tale circostanza

Soluzione applicata:

- ispezione, a vista e strumentale, sia da sopra che nello spessore della muratura previa rimozione localizzata della muratura laterale e del manto di copertura

Edificio storico in uso (scuola)

CASI ESEMPLIFICATIVI - 3

Riepilogo risultati

- 9 appoggi su 12 da consolidare
- 1 puntone e 1 catena da sostituire

Conclusioni

- ripristino dello stato di sicurezza
- conservazione della struttura
- inevitabilità dello scalzamento degli appoggi nel caso di elementi di grande luce/sezione

Edificio storico in uso (scuola)

Indice

- tipologie strutturali
- ispezione diagnostica
 - pianificazione dell'ispezione
 - esecuzione dell'ispezione
 - ispezione visiva
 - ispezione strumentale
 - restituzione dei risultati
- criteri di intervento e casi esemplificativi
- **esempio applicativo**



Massimo MANNUCCI / LegnoDOC

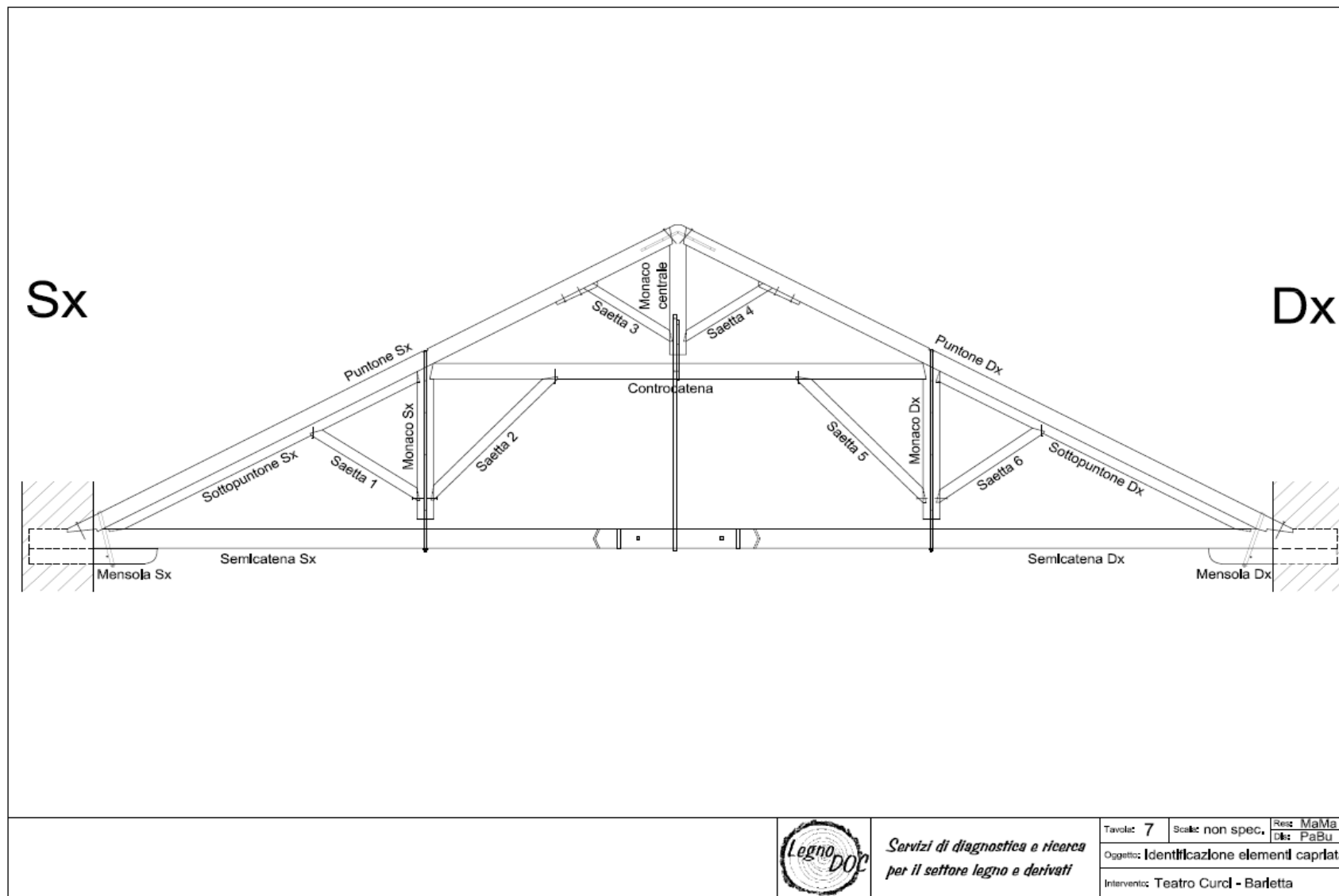
ESEMPIO PRATICO DI INDAGINE DIAGNOSTICA

Teatro Curci - Barletta



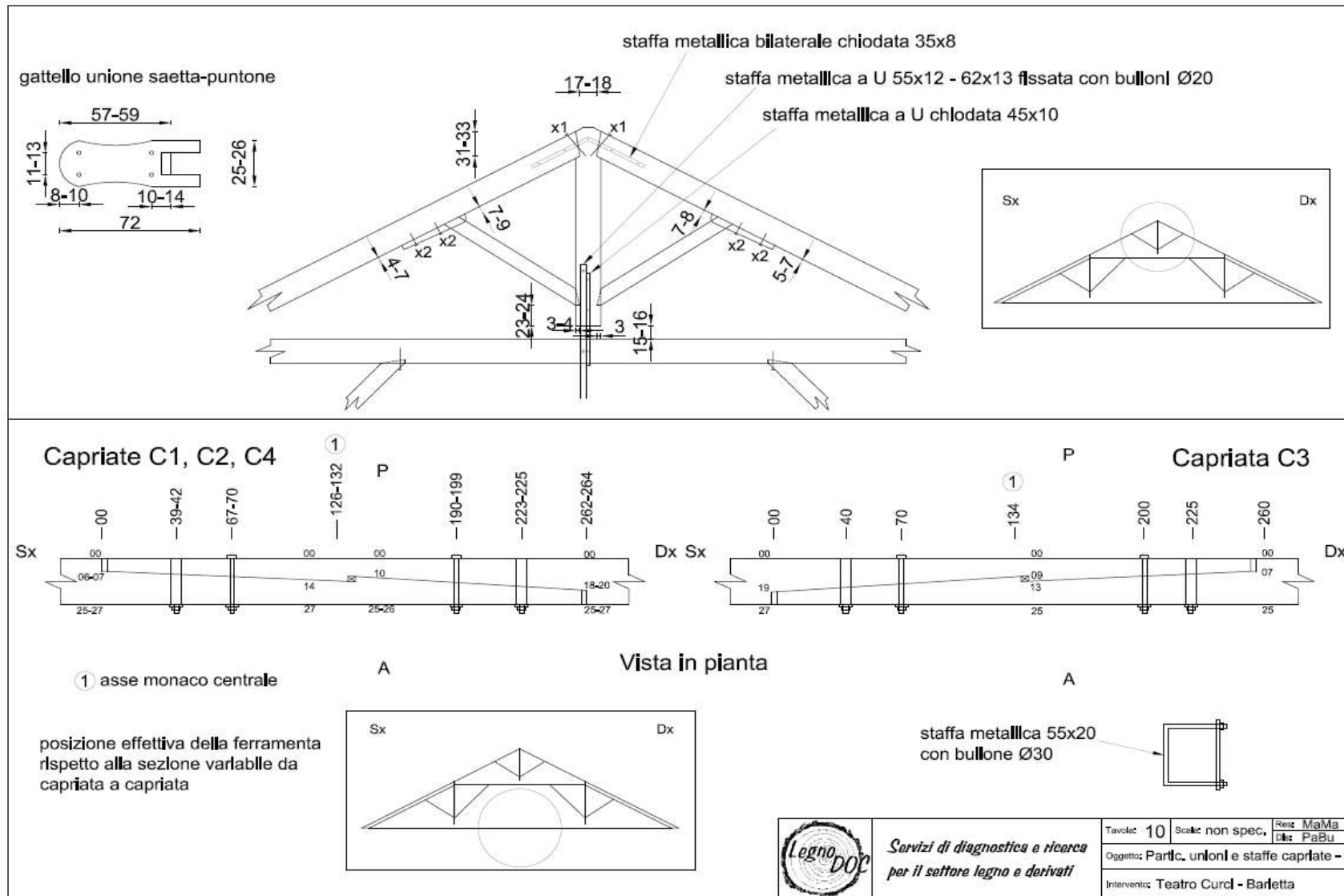
Indagine diagnostica della zona palcoscenico (copertura, graticcia, sottopalco)

Teatro Curci - Barletta



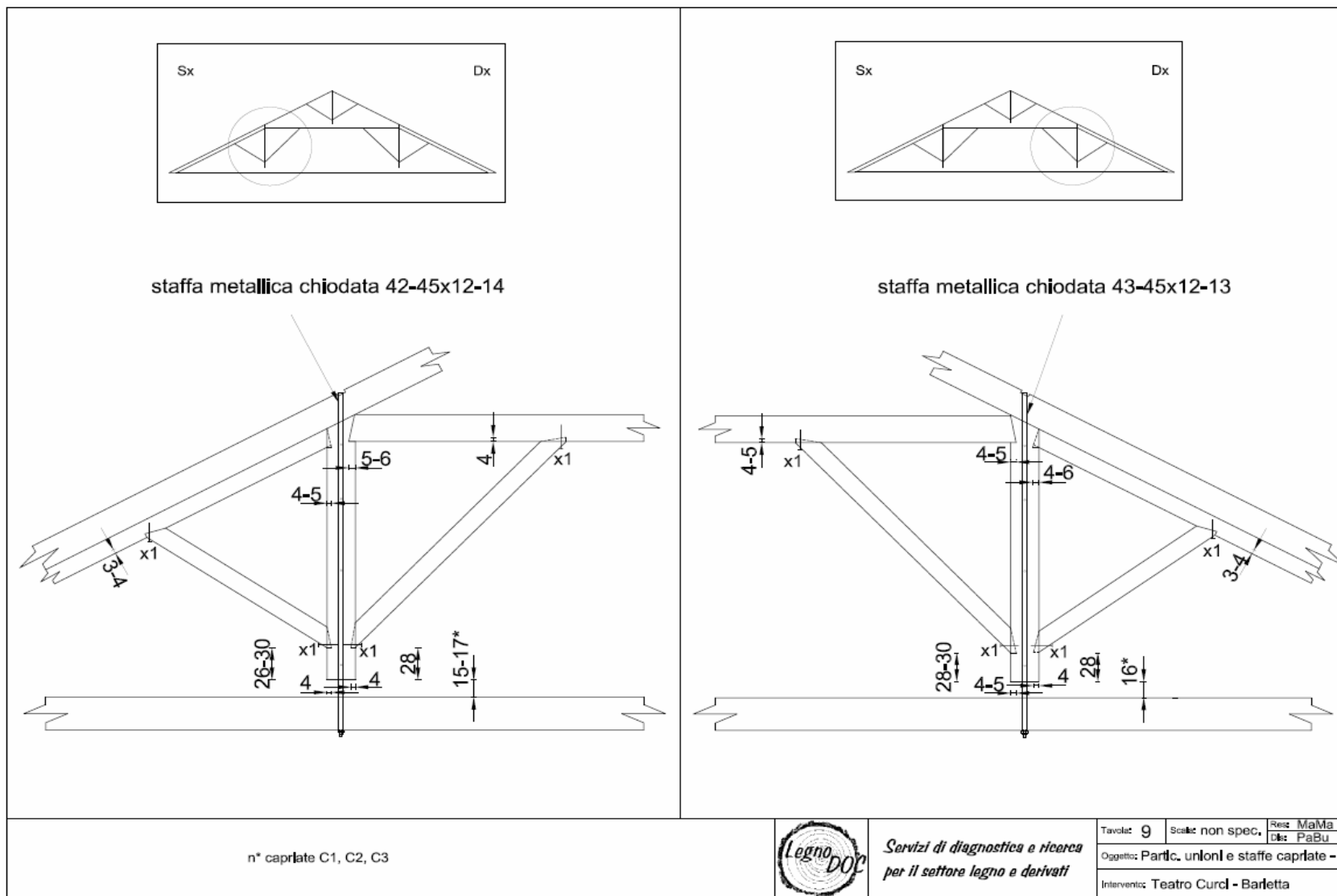
Schema geometrico della capriata tipo della copertura

Teatro Curci - Barletta



Dettaglio geometrico unioni

Teatro Curci - Barletta



Dettaglio geometrico unioni

Teatro Curci - Barletta



Ispezione visiva - Rilievo geometrico

Teatro Curci - Barletta



Ispezione visiva - Valutazione del degrado e della qualità meccanica

Teatro Curci - Barletta



Ispezione visiva - Difetti particolari (cipollatura interna su catena)

Teatro Curci - Barletta



Ispezione degli appoggi dall'esterno

Teatro Curci - Barletta



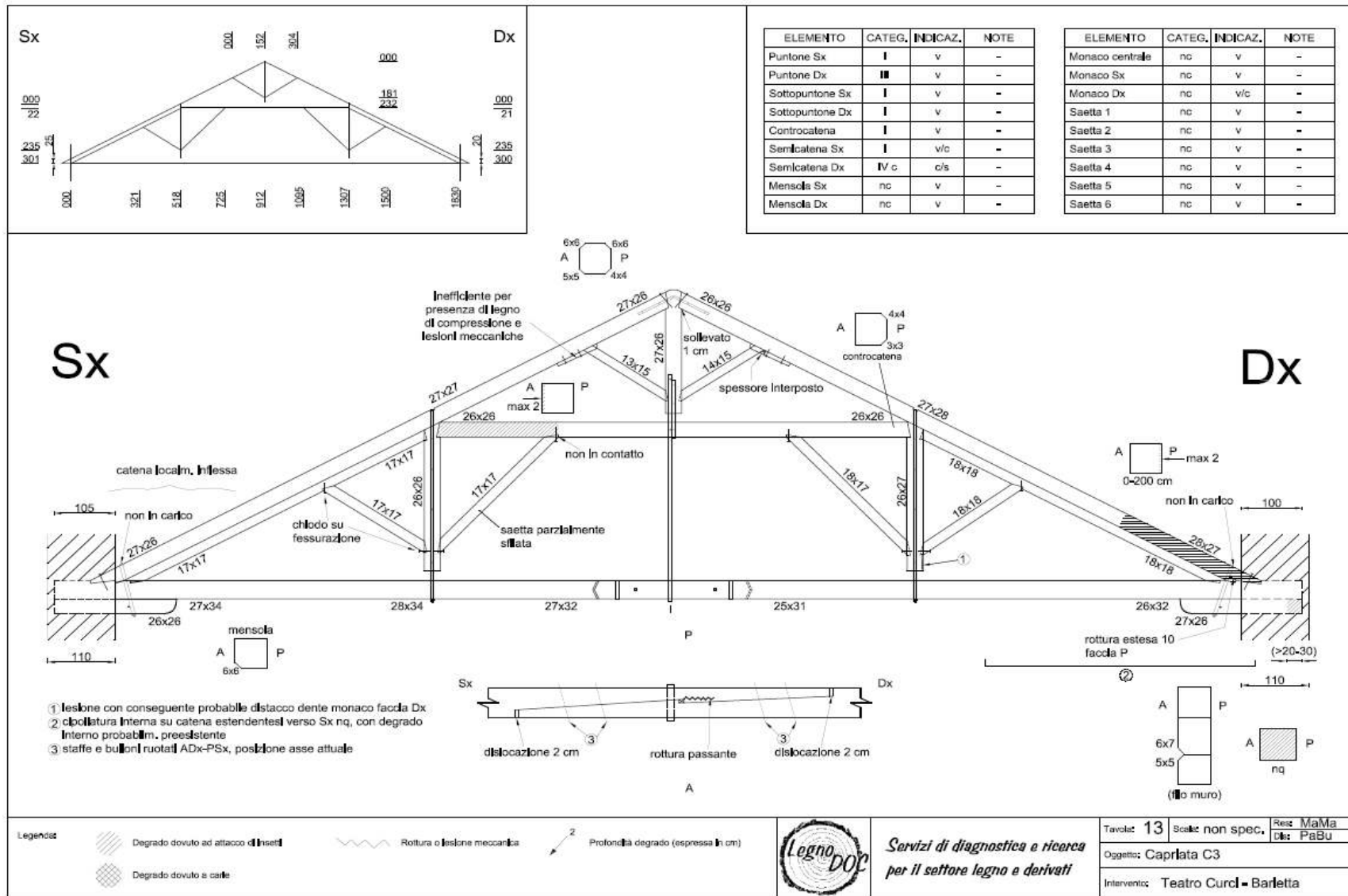
Ispezione strumentale

Teatro Curci - Barletta



Ispezione della struttura del sottopalco

Teatro Curci - Barletta



Restituzione grafica/tabulare dei risultati relativi ad una capriata



**Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Pistoia**

*Corso di aggiornamento professionale
“Progettazione di strutture in legno
massiccio e lamellare secondo NTC 2008”*

*Ordine degli Ingegneri di Pistoia
Venerdì 5 novembre 2010*



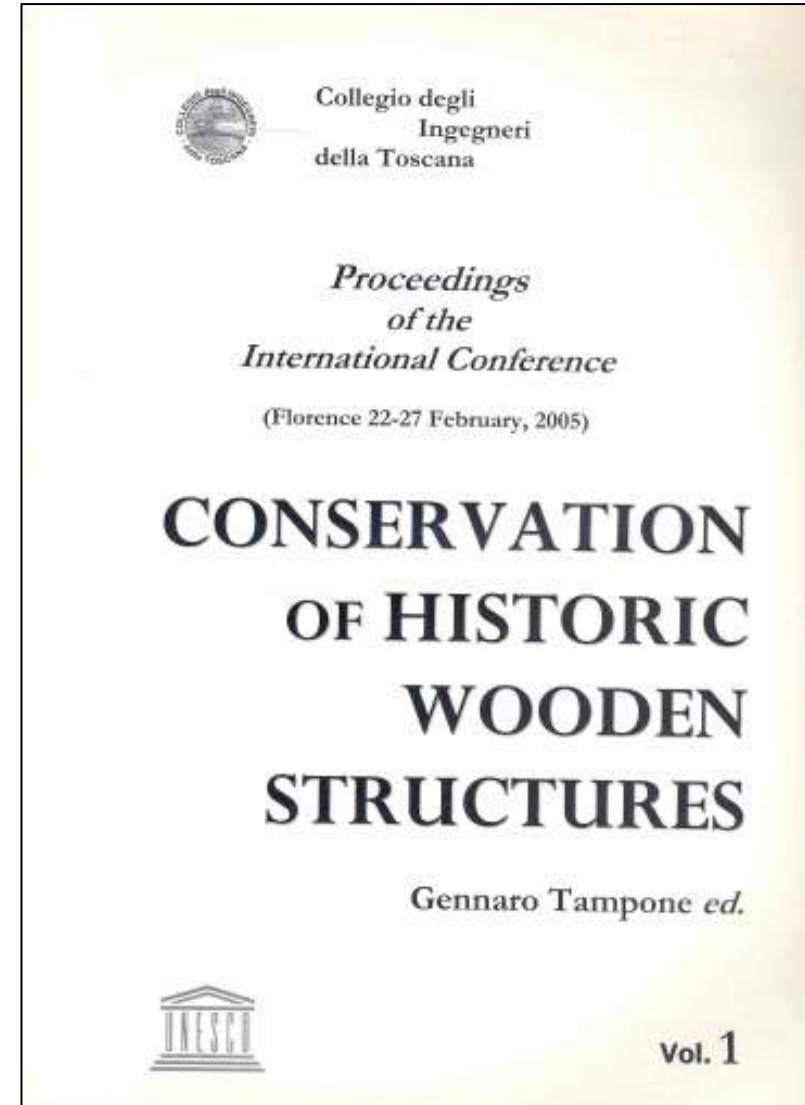
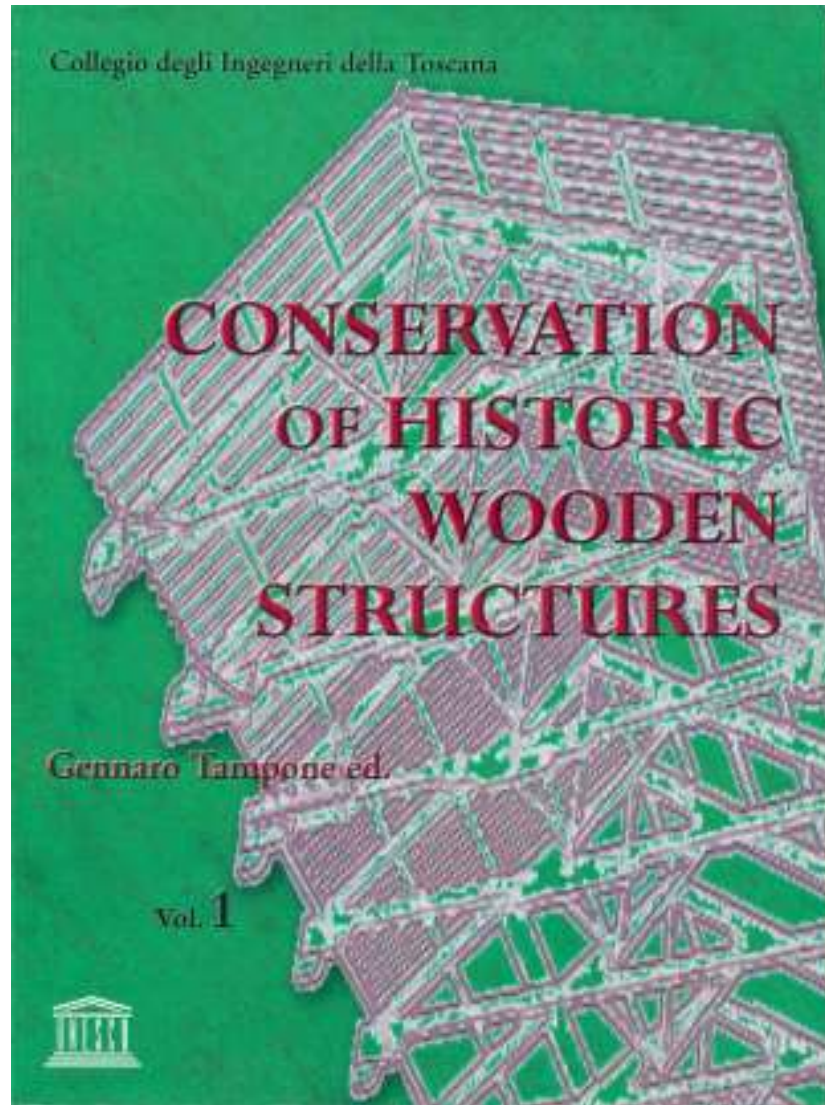
APPROFONDIMENTI



Per approfondimenti sulla conservazione delle strutture lignee antiche

Massimo MANNUCCI - LegnoDOC srl Prato - LA DIAGNOSI DELLE STRUTTURE LIGNEE IN OPERA: CRITERI, MEZZI, OPERATIVITA'

APPROFONDIMENTI



Per approfondimenti sulla conservazione delle strutture lignee antiche